

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

Институт кибернетики
Направление подготовки управление в технических системах
Кафедра автоматики и компьютерных систем

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы				
Индуктивный преобразователь перемещения в задаче позиционирования движущегося объекта				

УДК 681.532.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8АМ41	Е.А. Погадаев		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры АиКС ИК	В. В. Курганов	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. менедж. ИСГТ	В. Ю. Конотопский	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭБЖ ИНК	Ю. В. Анищенко	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
АиКС ИК	А. С. Фадеев	К.Т.Н.		

Планируемые результаты обучения по направлению 27.04.04

«Управление в технических системах»

	Результаты
P1	Применять глубокие естественнонаучные и математические знания для решения научных и инженерных задач в области анализа, синтеза, проектирования, производства и эксплуатации средств автоматизации и систем управления техническими объектами.
P2	Уметь обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации средств автоматизации и систем управления техническими объектами
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с разработкой технических систем управления с использованием аналитических методов и сложных моделей.
P4	Выполнять инновационные инженерные проекты по разработке программно-аппаратных средств автоматизированных систем различного назначения с использованием современных методов проектирования, систем автоматизированного проектирования, передового опыта разработки конкурентно способных изделий.
P5	Планировать и проводить теоретические и экспериментальные исследования в области проектирования аппаратных и программных средств автоматизированных систем с использованием новейших достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта. Критически оценивать полученные данные и делать выводы.
P6	Осуществлять авторское сопровождение процессов проектирования, внедрения и эксплуатации программно-аппаратных средств автоматизированных систем различного назначения.
P7	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной профессиональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий партнеров
P8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, активно владеть иностранным языком, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке.
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена и руководителя группы, в том числе междисциплинарной и международной, при решении инновационных инженерных задач.
P10	Демонстрировать личную ответственность и ответственность за работу возглавляемого коллектива, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения инновационной инженерной деятельности. Демонстрировать глубокие знания правовых, социальных, экологических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности.
P11	Демонстрировать способность к самостоятельному обучению, непрерывному самосовершенствованию в инженерной деятельности, способность к педагогической деятельности.

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

Институт кибернетики
Направление подготовки стандартизация и метрология
Кафедра компьютерных измерительных систем и метрологии

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
8AM41	Погадаеву Егору Андреевичу

Тема работы:

Индуктивный преобразователь перемещения в задаче позиционирования движущегося объекта

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 701/с от 04.02.2016 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

01.06.2016

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.).	Наименование объекта исследования: индуктивный преобразователь перемещения. Требования к объекту исследования: исследовать индуктивный преобразователь перемещения для решения задачи позиционирования движущегося объекта. Требования к особенностям функционирования (эксплуатации): определить рекомендации по использованию индуктивных преобразователей перемещения.
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,	Проведение аналитического обзора Выбор аппаратно-технических средств и разработка стенда для исследования Разработка программного обеспечения нижнего уровня (для программируемого логического контроллера) Исследование чувствительности индуктивного датчика Исследование методов повышения точности позиционирования Разработка программного обеспечения нижнего уровня (для программируемого логического контроллера)

подлежащих разработке; заключение по работе).	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение Социальная ответственность Выводы по результатам работы.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Презентация
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	В. Ю. Конотопский
Социальная ответственность	Ю. В. Анищенко
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Объект и методы исследования	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры АиКС ИК	В. В. Курганов	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM41	Погадаев Егор Андреевич		

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

Институт кибернетики

Направление подготовки стандартизация и метрология

Уровень образования магистратура

Кафедра компьютерных измерительных систем и метрологии

Период выполнения осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2016
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.11.15	Проведение аналитического обзора.	
24.01.16	Разработка стенда для исследований индуктивного датчика	
28.02.16	Исследование методов позиционирования движущегося объекта в реальном масштабе времени	
20.03.16	Разработка алгоритма программы для реализации позиционирования движущегося объекта	
25.03.16	Сравнение методов повышения точности позиционирования	
03.04.16	Разработка алгоритма программы для реализации исследованных методов позиционирования	
15.04.16	Обработка результатов исследования	
02.05.16	Социальная ответственность.	
09.05.16	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	
15.05.16	Выводы по результатам работы.	
23.05.16	Оформление расчётно – пояснительной записки.	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры АиКС ИК	В. В. Курганов	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
АиКС ИК	А. С. Фадеев	К.Т.Н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8AM41	Е. А. Погадаев

Институт		Кафедра	
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Управление в технических системах

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
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования

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 каф. менедж. ИСГТ	В. Ю. Конотопский	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM41	Е. А. Погадаев		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8АМ41	Погадаеву Егору Андреевичу

Институт	Кибернетики	Кафедра	АиКС
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Управление в технических системах

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Индуктивный преобразователь перемещения. Разработка посвящена использованию ИПП в системах позиционирования движущегося объекта.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:	- недостаточная освещенность; - повышенный уровень шума; - повышенный уровень электромагнитного и электрического излучения. - электрический ток.
2. Экологическая безопасность:	- анализ воздействия разработки на литосферу.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	- пожар.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	- правовые нормы трудового законодательства; - нормы времени работы и отдыха с использованием ПК; - конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов;

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭБЖ ИНК	Ю. В. Анищенко	К.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8АМ41	Погадаев Егор Андреевич		

Реферат

Выпускная квалифицированная работа содержит 103 страниц текста, 40 рисунков, 23 таблиц, 1 приложения, 45 литературных источников.

Ключевые слова: индуктивный преобразователь перемещения, программно-технический комплекс Siemens, позиционирование, рабочий зазор, измерение.

Объектом исследования является индуктивный преобразователь перемещения с аналоговым выходом.

Цель работы – исследовать применение индуктивного преобразователя перемещения в задаче позиционирования САУ.

В процессе исследования проводился анализ существующих способов и принципов измерения линейных перемещений объекта, методов позиционирования объектов в режиме реального времени. Для исследования индуктивного преобразователя перемещения разработан специальный стенд для исследований на базе программно-технического комплекса в SimaticS7-300 компании Siemens. Были разработаны алгоритмы управления, реализующие позиционирование перемещающегося объекта. Даны рекомендации по применению индуктивных преобразователей перемещения в составе систем позиционирования, обеспечивающие надежную работу данных систем.

В результате исследования экспериментально обоснованы рекомендации, предъявляемые к индуктивным датчикам, проведен экспериментальный анализ методов позиционирования в условиях электромагнитных помех при эксплуатации датчиков. Доказано преимущество метода взвешенного скользящего среднего в сравнении с другими методами позиционирования, написана программа реализации исследованных методов в программном пакете Simatic Step7.

Область применения: системы позиционирования движущихся объектов в составе САУ технологическим процессом.

Были использованы базовые и профессиональные знания в области проектного и финансового менеджмента, в том числе менеджмента рисков и

изменений для управления комплексной инженерной деятельностью, соответствующей направлению подготовки.

Экономическая эффективность/значимость работы: экономический эффект выражен через точность и надежность системы в сравнении с другими возможными методами и принципами позиционирования.

Проанализированы проектируемая технология, рабочие места на предмет выявления основных техносферных опасностей и вредностей, оценена степень их воздействия на человека, окружающую среду, сформулированы методы защиты от них.

Обозначения и сокращения

ИПП – индуктивный преобразователь перемещения;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

ПО – программное обеспечение;

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом.

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы нормативные ссылки на следующие документы:

1. ГОСТ 12.0.003-74 Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
2. ГОСТ Р 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.
3. ГОСТ 12.1.019-79 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
4. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

Оглавление

	С.
Введение	15
1 Обзор литературы	17
2 Объект и методы исследования	19
2.1 Обзор принципов действия датчиков линейного перемещения	19
2.1.1 Индуктивный преобразователь перемещения	20
2.1.2 Емкостной преобразователь перемещения	22
2.1.3 Оптический преобразователь перемещения	25
2.1.4 Ультразвуковой преобразователь перемещения	28
2.1.5 Магниторезистивные датчики перемещения	29
2.1.6 Потенциометрические датчики перемещения	32
2.2 Методы поиска экстремума функции	32
2.2.1 Методы поиска экстремума в известном массиве данных	32
2.2.2 Методы поиска экстремума в реальном масштабе времени	36
2.3 Сравнение методов позиционирования	37
3 Разработка системы позиционирования и анализ применимости ИПП	39
3.1 Разработка стенда для исследований	39
3.1.1 Индуктивный преобразователь перемещения	41
3.1.2 Программируемый логический контроллер	43
3.1.2.1 Модуль блока питания	44
3.1.2.2 Модуль центрального процессора	45
3.1.2.3 Модуль аналогового ввода	47
3.1.2.4 Модуль дискретного ввода/вывода	48
3.1.3 Компоненты стенда для исследования	48
3.2 Описание работы стенда для исследований	49
3.3 Исследование работы ИПП	51
3.3.1 Определение степени чувствительности ИПП	51
3.3.2 Влияние скорости подвижного объекта на точность позиционирования	57

3.3.3 Влияние скорости подвижного объекта на ошибку позиционирования	59
3.4 Методы увеличения точности и снижения ошибки позиционирования	61
4 Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение	72
4.1 Определение себестоимости разработки системы позиционирования движущегося объекта	72
4.1.1 Расчет материальных затрат	73
4.2 Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	73
4.2.1 Определение трудоемкости выполнения работ основными исполнителями темы.	74
4.2.2 Расчет заработной платы основных исполнителей проекта	78
4.2.3 Затраты по дополнительной заработной плате	78
4.2.4 Отчисления во внебюджетные фонды	79
4.2.5 Расчет затрат на электроэнергию	80
4.2.6 Расчет амортизационных расходов	81
4.2.7 Накладные расходы	81
4.2.8 Полная смета затрат на выполнение разработки	82
4.2.8.1 Прибыль	82
4.2.8.2 НДС	83
4.3 Оценка эффективности от внедрения разработки	83
5 Социальная ответственность	85
5.1 Профессиональная социальная безопасность	85
5.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования	85
5.1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований	86
5.1.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов	89
5.2 Экологическая безопасность	91
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	92

5.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	93
Заключение	96
Список публикаций	98
Список использованных источников	99
Приложение А	104
CD-диск	

Введение

В настоящее время наблюдается устойчивое развитие уровня автоматизации технологических процессов. Как следствие, повышение качества и надежности продукции. Но это не было бы возможно без использования высокоточной информации, полученной от первичных измерительных преобразователей.

Одним из перспективных и достаточно сложных направлений считается точное позиционирование объекта. Каким бы ни был объект большим или маленьким, из какого материала он не был, обязательно найдется средство для получения информации о его перемещении. Особенно остро стоит проблема позиционирования в металлургии, станкостроении, машиностроении и т.д. Так как материалом объекта позиционирования в данной отрасли преимущественно является металл (чугун, сталь и т.д.) то для решения задачи позиционирования используются ИПП.

ИПП позволяет определить, как наличие, так и отсутствие объекта в некоторой зоне чувствительности датчика. Кроме того, возможно определение вектора движения объекта, скорости и расстояния до объекта. Сфера применения ИПП достаточно обширна. Датчики перемещения используются в так называемых системах средней точности позиционирования, для измерения толщины и сортировки, также для автоматического поддержания натяжения проводов. Кроме того, возможно использование одновременно двух аналоговых датчиков что позволяет строить качественные системы позиционирования и центровки. Именно поэтому построение и изучение систем с использованием ИПП столь актуально в настоящий момент.

Целью работы заключается исследование индуктивного преобразователя перемещения для решения задачи позиционирования движущегося объекта

Объектом исследования в данной работе является индуктивный преобразователь перемещения.

В ходе выполнения работы был разработан стенд для исследования ИПП. Стенд может быть использован как универсальный для исследования возможностей позиционирования с использованием ИПП.

В работе были рассмотрены характеристики работы системы позиционирования – рабочий зазор, скорость подвижного объекта влияющие на чувствительность датчика и ошибку позиционирования. Исследованы методы повышения точности и снижения ошибки позиционирования. Предложены рекомендации для систем позиционирования подобного вида с целью выполнения поставленных задач.

Полученные результаты позволяют повысить точность позиционирования с применением ИПП.

1 Обзор литературы

Повышение качества и надежности промышленной продукции в совокупности с техническим уровнем производственных процессов, а также широкое использование комплексного управления автоматизированными производствами сопровождающееся появлением и применением эффективных робототехнических систем, высокоточных автоматических систем обнаружения и наведения в аэрокосмической области, проведение достаточно сложных научных экспериментов в различных областях науки и техники, включая биологию и медицину - всё это стало возможным благодаря получению и использованию высококачественной первичной измерительной информации [1].

В настоящий момент одной из важных, перспективных и при этом достаточно непростой задачей является измерение линейных перемещений подвижных объектов САУ. При этом позиционирование и линейное перемещение характеризует измеренная информация, полученная с применением первичных измерительных преобразователей.

Преобразователи классифицируются по разнообразным признакам.

Выделяются основные признаки:

- характер измеряемых перемещений;
- физический принцип действия преобразователя;
- структура построения преобразователя;
- тип выходного сигнала [2].

Относительно характера измеряемых процессов преобразователи делятся на угловые и преобразователи линейных перемещений. При этом физические принципы с помощью которых реализуются измерительные преобразователи перемещений различны и обладают определенными метрологическими возможностями и качественными показателями [3].

В результате многолетних теоретико-конструкторских разработок, выразившихся в целом потоке изобретательских решений во многих странах, на практике широкое распространение получили индуктивные преобразователи.

Различают поворотные и линейные преобразователи в зависимости от вида измеряемых перемещений. При помощи поворотных преобразователей измеряется и позиционируются объекты имеющие угловое перемещение, а с помощью линейных преобразователей - линейное перемещение.

Индуктивный преобразователь перемещения (ИПП) является важнейшим элементом устройства для автоматического измерения линейных перемещений повышенной точности. Указанное устройство входит в качестве подсистемы в различные системы управления, в которых рабочий процесс основан на преобразовании в цифровую форму измерительной информации, получаемой в первичной (аналоговой) форме от преобразователя. Чем качественнее спроектирован первичный преобразователь, тем выше точностные показатели автоматической системы, в которой аналоговая измерительная информация преобразуется в цифровую. [1].

2 Объект и методы исследования

Преобразователи линейных перемещений предназначены для информационной связи по положению между позиционируемым объектом и устройством управления или индикации.

Задача позиционирования объекта технологического процесса может быть решена с использованием различных типов преобразователей перемещения, различающихся по принципу действия и конструкции.

При перемещении объекта относительно датчика, его выходной сигнал имеет явный экстремум, характеризующий наиболее точное положения подвижного объекта относительно датчика. В настоящей работе рассмотрены методы поиска экстремумов в реальном масштабе времени как в лабораторных условиях, так и в условиях возможных промышленных помех. Методы поиска экстремума приведены в п. 2.2.

Одним из типов преобразователей перемещения является индуктивный преобразователь перемещения. У данного преобразователя существуют аналоги, например, емкостные и индукционные. Рассмотрим подробнее используемый ИПП и его аналоги.

2.1 Обзор принципов действия датчиков линейного перемещения

Датчик перемещения — это прибор, предназначенный для определения величины линейного или углового механического перемещения какого-либо объекта [4]. Насчитывается огромное количество практического применения подобных приборов в самых разнообразных областях. Датчики перемещения могут различаться по принципу действия, точности, цене и прочим параметрам.

Основными категориями, на которые делятся все датчики перемещения являются — датчики линейного перемещения и датчики углового перемещения (энкодеры) [5]. В данном случае основное внимание будет уделено именно датчикам линейного перемещения.

По принципу действия датчики перемещения могут быть:

- индуктивными;
- емкостными;
- оптическими;
- вихретоковыми;
- ультразвуковыми;
- магниторезистивными;
- потенциометрическими;
- магнитострикционными;
- на основе эффекта Холла.

2.1.1 Индуктивный преобразователь перемещения

Индуктивными называются преобразователи, которые преобразуют значение измеряемого перемещения в значение индуктивности.

Индуктивность (или коэффициент самоиндукции) L - коэффициент пропорциональности между электрическим током I , текущим в каком-либо замкнутом контуре, и магнитным потоком Φ , создаваемым этим током через поверхность, ограниченную этим контуром [6].

$$\Phi = LI \quad (1)$$

Конструктивно индуктивный преобразователь представляет собой одну или несколько катушек с железным сердечником и якорем, который отделен от сердечника воздушным зазором. При перемещении якоря, связанного в свою очередь с подвижной системой измерительного устройства, происходит изменение площади перекрытия или величины воздушного зазора, что, следовательно, приводит к изменению индуктивности катушек; при этом величина тока, который протекает по катушке, изменяется пропорционально перемещению якоря. Существует два исполнения ИПП, первый - с нормально разомкнутым, второй – с нормально замкнутым контактом.

На рисунке 1 изображен простейший индуктивный преобразователь, имеющий нормально замкнутый контакт.

На подвижном магнитопроводе преобразователя 2 расположена катушка 4 с числом витков w_1 . Преобразователь имеет подвижный магнитопровод 1. Магнитопроводы выполнены из ферромагнитного материала. Миллиамперметр 3 соединен последовательно с обмоткой 3. К концам обмотки подается напряжение переменного тока $U_{\sim} = \text{const}$ [6].

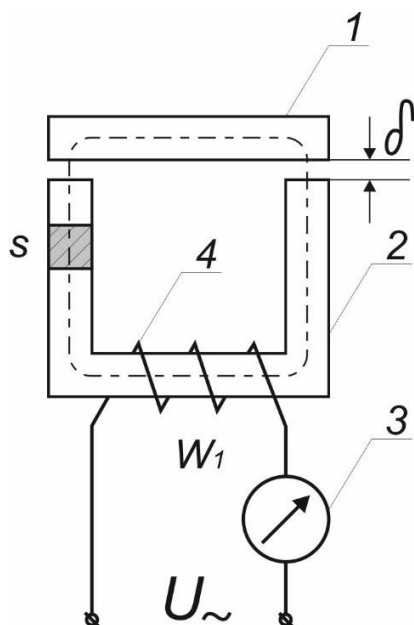


Рисунок 1 - Простейший индуктивный преобразователь

Данная конфигурация имеет простую схему и пригодна она только в тех случаях, где требуется определить незначительные перемещения или вибрации объектов, состоящих из ферромагнитного материала [7].

В общем виде характеристика датчика имеет следующий вид.

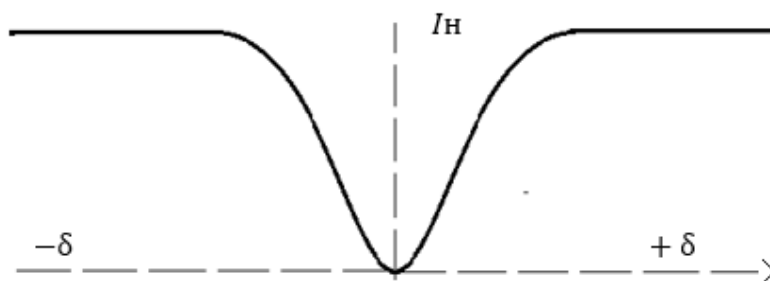


Рисунок 2 – Характеристика датчика

На данной характеристике приведена зависимость изменения выходного сигнала от площади перекрытия подвижным объектом площади чувствительной поверхности датчика.

Достоинства:

- отсутствует механический износ и отсутствуют отказы, которые связаны с состоянием контактов;
- отсутствие дребезга контактов и ложных срабатываний;
- устойчивость к механическим воздействиям.

Недостатки:

- недостаточная чувствительность;
- влияние частоты питающего напряжения на индуктивное сопротивление;
- значительное обратное воздействие датчика на измеряемую величину (за счет притяжения якоря к сердечнику) [8].

2.1.2 Емкостной преобразователь перемещения

Емкостной датчик - преобразователь параметрического типа, в котором изменение измеряемой величины преобразуется в изменение емкостного сопротивления [9].

Принцип работы преобразователей данного типа основана на взаимосвязи ёмкости конденсатора с геометрической конфигурацией самого датчика. Изменение расстояния между пластинами за счет некоего внешнего физического воздействия является простейшим примером (рисунок 3). Расстояние между пластинами может быть найдено при известных параметрах, с учетом того, что ёмкость конденсатора изменяется обратно пропорционально величине зазора между пластинами. Для того, чтобы выполнить изменение ёмкости необходимо зафиксировать ее различными способами (например, измеряя импеданс), при условии того, что конденсатор включен в электрическую цепь [9].

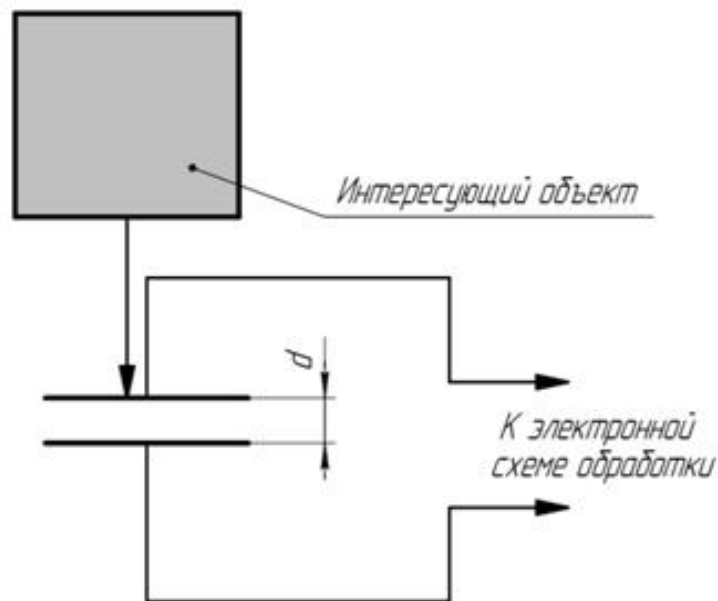


Рисунок 3 - Емкостной датчик линейного перемещения с изменяющейся величиной зазора

Другая схема, где выходной параметр играет роль электрической ёмкости. В составе схемы имеется конденсатор с подвижным диэлектриком (рисунок 4). Емкость изменяется за счет перемещения диэлектрической пластины между обкладками конденсатора. Перемещение объекта определяется за счет изменения емкости, при этом пластина может быть механически связана с интересующим объектом. Если объект имеет подходящие габариты и обладает свойствами диэлектрика, то в качестве диэлектрической среды в конденсаторе может быть использован сам объект непосредственно [7].

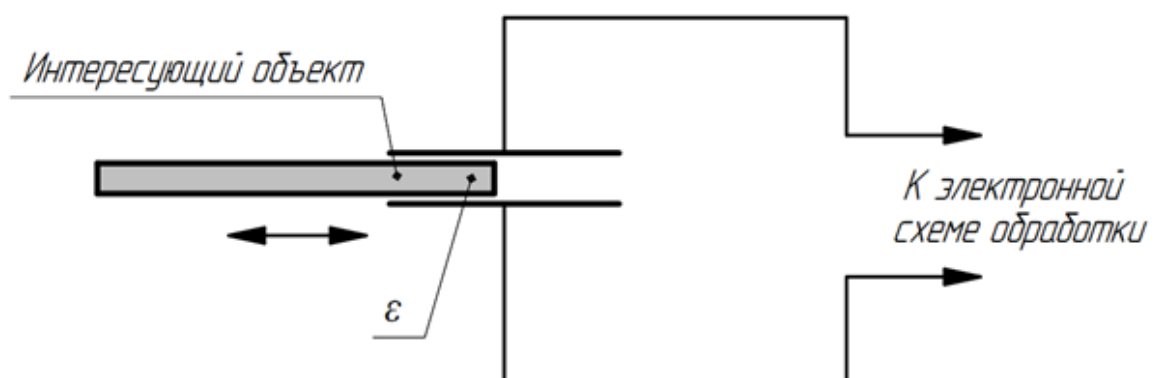


Рисунок 4 - Емкостной датчик линейного перемещения с подвижным диэлектриком

Емкостные преобразователи используются для измерения различных величин по трем направлениям. Направление зависит от функциональной связи измеряемой неэлектрической величины со следующими параметрами:

- переменная диэлектрической проницаемостью среды ϵ ;
- площадь перекрытия обкладок S ;
- изменяющееся расстояние между обкладками d .

Емкостные датчики линейных перемещений широко используемые приборы. Применяются в таких областях как: машиностроение, транспорт, строительство, измерительные комплексы.

Емкостные преобразователи перемещения бывают двух видов:

- одноемкостные;
- двухъемкостные (дифференциальные полу дифференциальные) [10].

Особенностью ёмкостных датчиков являются относительно малые размеры. Кроме того, они характеризуются пренебрежимо малыми силами трения и противодействия. Поэтому данный тип датчиков пригоден для создания датчиков для всех требуемых номинальных сил. Слабые электромагнитные поля – основная область работы емкостных датчиков. Емкостные преобразователи используют при измерении сил и сводимых к ним величин, а также перемещений, особенно малых и сверхмалых [11].

Существует большое множество неэлектрических величин, которые необходимо измерять и контролировать. Линейные и угловые перемещения составляют их значительную часть. На основе конденсатора, у которого электрическое поле в рабочем зазоре равномерно, могут быть созданы конструкции емкостных датчиков перемещения двух основных типов:

- с переменной площадью электродов;
- с переменным зазором между электродами.

Для измерения больших перемещений (единицы, десятки и сотни миллиметров) удобнее применять первый тип. Для измерения малых и сверхмалых перемещений (доли миллиметра, микрометры и менее) удобнее применять второй тип [12].

2.1.3 Оптический преобразователь перемещения

Оптические датчики представляют наиболее динамично развивающееся направление в современной сенсорике, связанное с открытиями и достижениями в области оптоэлектроники и совершенствованием оптических технологий. Благодаря промышленному освоению кристаллических гетеро структур нано-уровня стали доступными высокоскоростные лазерные диоды, стоимость которых снижается с ростом серийного производства. Соответственно, расширяется применение лазеров в сенсорике и возможности оптических датчиков увеличиваются. Увеличение возможностей датчиков так же связано с применением много-сегментных фотоэлементов (PSD), матриц (КМОП, ФПЗС). Эти возможности реализованы, например, в датчиках перемещений и расстояний, отличающихся высоким быстродействием и высокой (1 микрон) разрешающей способностью [13].

Для точного определения положения объекта бесконтактным способом на большом расстоянии используются оптические датчики положения или, как их еще называют, фотоэлектрические датчики. Если для индуктивных датчиков приближения имеет значение из какого материала состоит объект измерения, то фотоэлектрические датчики детектируют предметы из любого материала. Дополнительным преимуществом является так же то, что по сравнению с другими датчиками приближения, к примеру, емкостными или индуктивными датчиками, бесконтактные оптические выключатели имеют гораздо большие расстояния срабатывания [7].

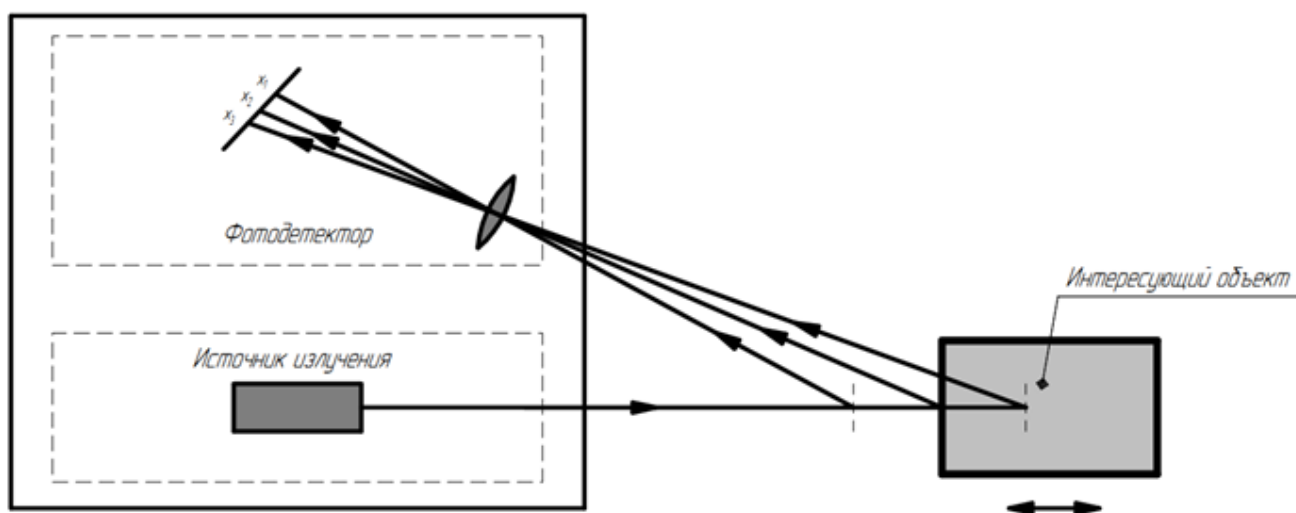


Рисунок 5 -Оптический датчик перемещения на основе схемы оптической триангуляции

Существует другая реализации оптического датчика, когда используется двойная решётчатая конструкция, а также источник света и фотодетектор (рисунок 6). Данный тип датчиков предназначен для регистрации и определения параметров малых перемещений и вибраций. Одна решётка неподвижна, вторая подвижна и может быть механически закреплена на интересующем объекте или каким-либо способом передавать датчику его движение. Фотодетектор регистрирует изменению интенсивности света возникающее за счет малого смещение подвижной решётки. Для того чтобы повысить точность датчика уменьшают период решетки, однако при этом происходит сужение его динамического диапазона [14].

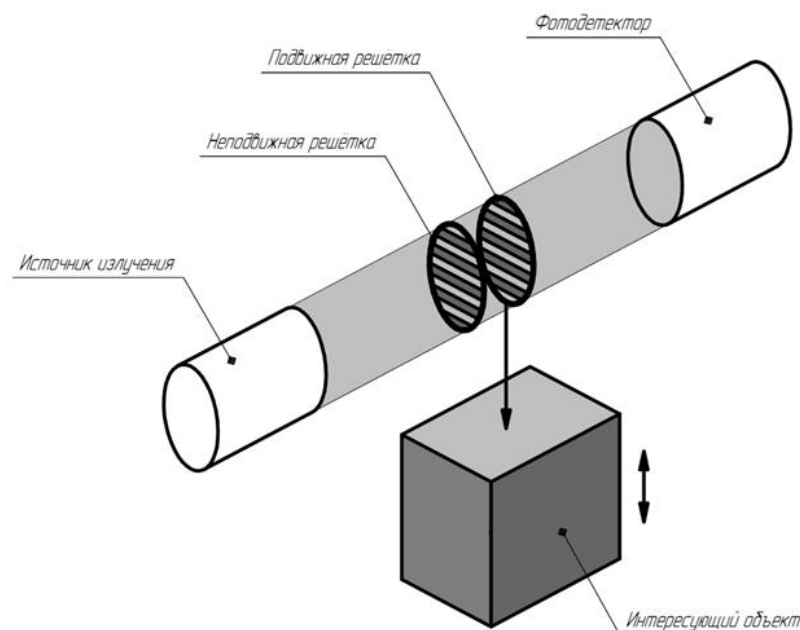


Рисунок 6 -Оптический датчик перемещения на основе дифракционных решеток

Для реализации селекции объектов применяются датчики, учитывающие поляризацию света. Селекция объектов основана на отражательных свойствах поверхности самого объекта, т.е. датчик «обращает внимание» только на объекты с хорошей отражающей способностью игнорируя прочие объекты. Недостатком подомных устройств является стоимость, которая возрастает из-за наличия свойств чувствительности к поляризации [9].

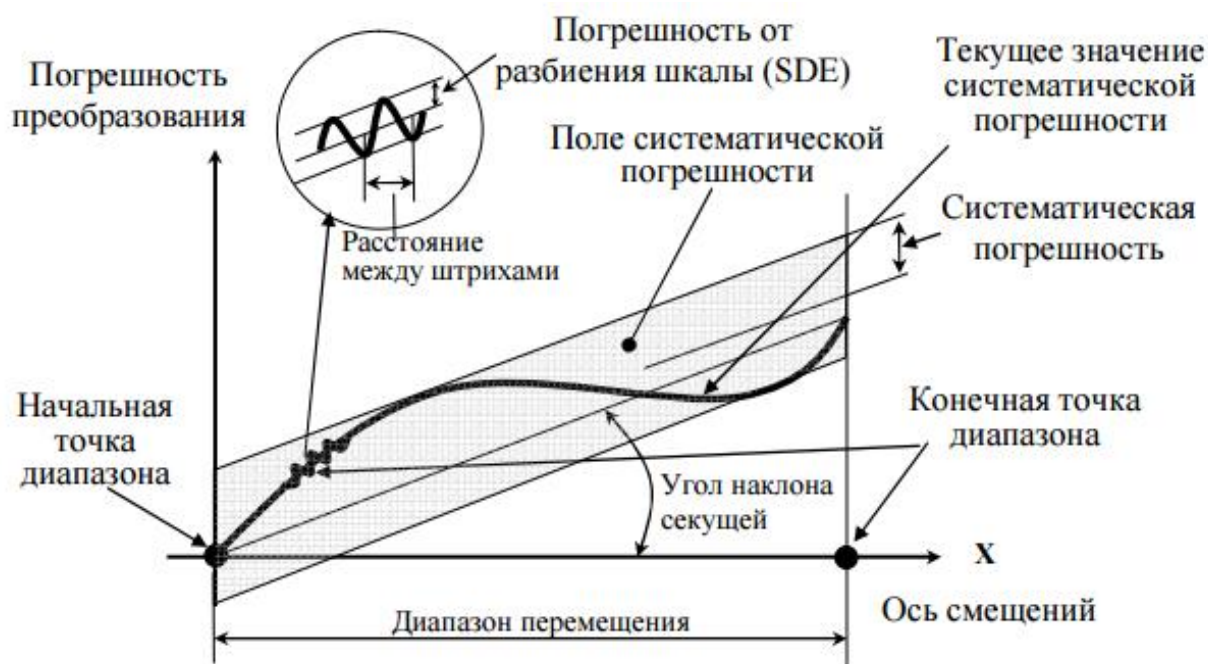


Рисунок 7 – График представления основной погрешности преобразования

На систематическую составляющую погрешности, представленную на графике, накладывается циклическая составляющая, обусловленная погрешностью разбиения КС (SDE). Эта составляющая равна или кратна периоду разбиения (шагу) шкалы КС и по величине существенно меньше систематической погрешности.

Время преобразования — это время, затрачиваемое на выполнение одного преобразования непрерывной величины в цифровой код. Время преобразования определяет быстродействие преобразователя. В редких случаях быстродействие преобразователя может характеризоваться величиной преобразований в единицу времени [15].

2.1.4 Ультразвуковой преобразователь перемещения

Ультразвуковые датчики основаны на принципе радара, которые заключается в том, что отражённые от объекта ультразвуковые волны фиксируются. В следствии этого источник ультразвуковых волн и регистратор, помещенные в компактный корпус, представляют основу структурной схемы (рисунок 8). Измерение расстояния до объекта с точностью до десятых долей миллиметра выполняется за счет определения временной задержки между отправкой и приемом ультразвукового импульса. Данный вид датчиков является универсальным бесконтактным средством измерения, наряду с оптическими датчиками [16].

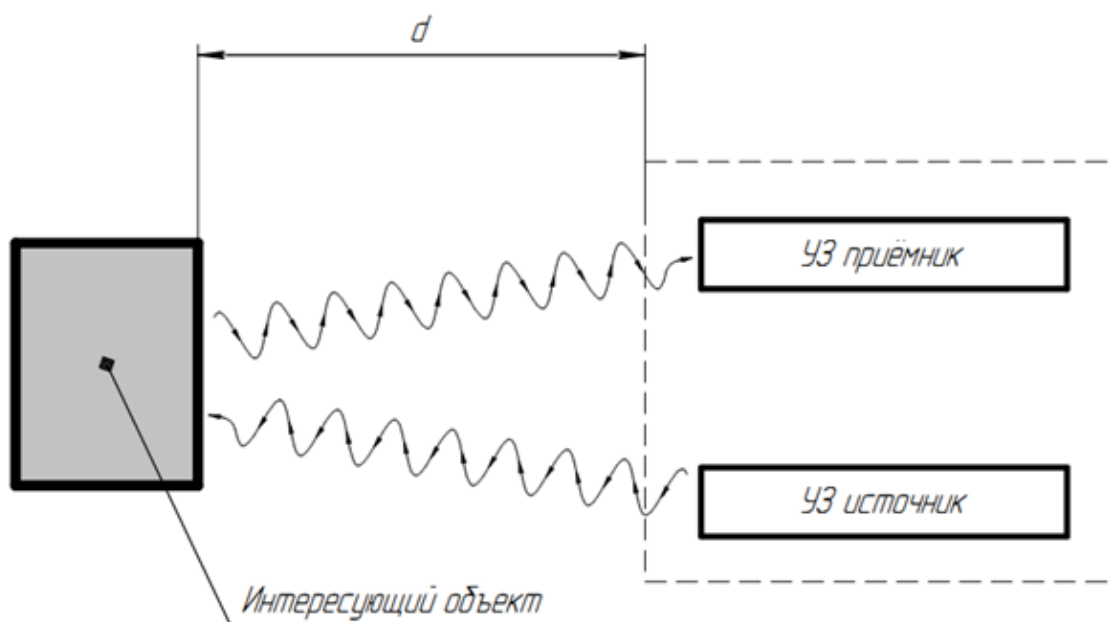


Рисунок 8 –Ультразвуковой датчик перемещения

Ультразвуковые датчики с аналоговым выходом предназначены для преобразования линейного значения расстояния до объекта обнаружения в электрический сигнал стандарта 4...20 мА или 0...10 Вольт. Точность измерения не хуже 0,5 мм на расстояниях до 1 метра и 1,0 мм на расстояниях свыше 1 метра. Ультразвуковые датчики для измерения расстояния снабжены регулировкой верхнего предела измерения с помощью потенциометра или с помощью программирования, кнопкой либо по кабелю, запоминать нижний и верхний предел измерения. По умолчанию, минимальное значение выходного сигнала соответствует нижней границе диапазона измерения расстояния, а верхнее значение выходного сигнала соответственно верхнему значению диапазона измерения [17].

2.1.5 Магниторезистивные датчики перемещения

В магниторезистивных датчиках перемещения используется зависимость электрического сопротивления магниторезистивных пластинок от направления и величины индукции внешнего магнитного поля. Основу датчика составляют

постоянный магнит и электрическая схема. Схема содержит магниторезистивные пластинки и источник постоянного напряжения включенный по мостовой схеме (рисунок 9). Перемещение интересующего объекта (состоит из ферромагнитного материала) в магнитном поле приводит к изменению конфигурации этого поля, что, в свою очередь, влечет изменение сопротивления пластинок. Определение положения объекта выполняется путем регистрации рассогласования при помощи мостовой схемы [18].

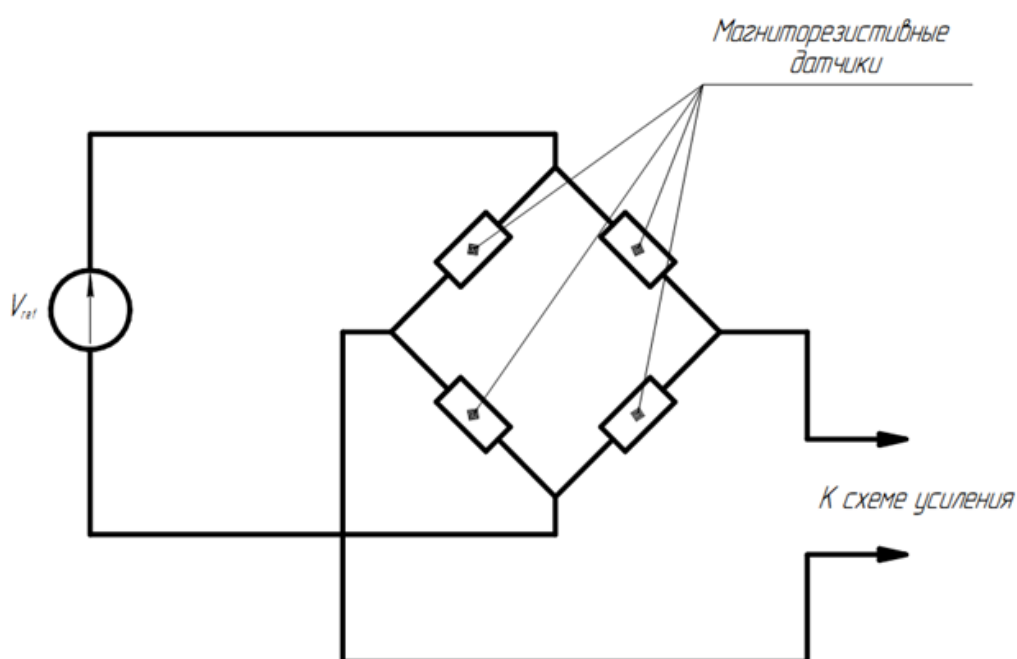


Рисунок 9 –Магниторезистивный датчики перемещения

Вследствие своей высокой чувствительности данный тип датчиков позволяет измерять малые изменения магнитного поля. Магниторезистивные датчики перемещения могут применяться для решения следующих задач:

- определения угла поворота;
- определение положения объекта относительно магнитного поля земли;
- измерение частоты вращения зубчатых колес и др.

Принцип работы магниторезистивных датчиков основан на изменении направления намагниченности внутренних доменов слоя пермаллоя (NiFe) под воздействием внешнего магнитного поля. Сопротивление пермаллоевой пленки

изменяется в зависимости от угла между направлением тока и вектором намагниченности. Под углом 90° оно минимально, угол 0° соответствует максимальному значению сопротивления.

Конструкция магниторезистивных датчиков состоит из четырех пермаллоевых слоев, которые организованы в мостовую схему. Кроме того, на плату датчика добавлены две катушки: SET/RESET и OFFSET. Катушка SET/RESET создает легкую ось, которая необходима для поддержания высокой чувствительности датчика, катушка OFFSET предназначена для компенсации воздействия паразитных магнитных полей (созданных, например, каким-либо ферромагнитным объектом или металлическими предметами) [19].

Магниторезистивные датчики обладают следующими достоинствами:

- отсутствует зависимость от расстояния между магнитом и датчиком;
- диапазон рабочих температур (от -60 до 140°C);
- датчики не зависят от интенсивности поля, только от его направления поля;
- долгий срок службы.

Магниторезистивные датчики применяются для:

- измерения перемещения объектов;
- измерения слабых полей (системы навигации, электронные и цифровые компасы и т.д.);
- измерения частоты вращения (КПП, АБС, системы управления двигателем);
- измерения угловой координаты (например, для регулировки сидения, в посудомоечных машинах, в системах рулевого управления, для регулировки фаз и т.д.);
- построения бесконтактных датчиков тока с гальванической развязкой [20].

2.1.6 Потенциометрические датчики перемещения

Основой данного типа датчика является потенциометр, включенный в электрический контур прибора (рисунок 10). Сопротивление потенциометра (переменного резистора) изменяется в соответствии с линейным перемещением подвижного объекта. Величина линейного перемещения объекта равна величине сопротивления, которое пропорционально падению напряжения [21].

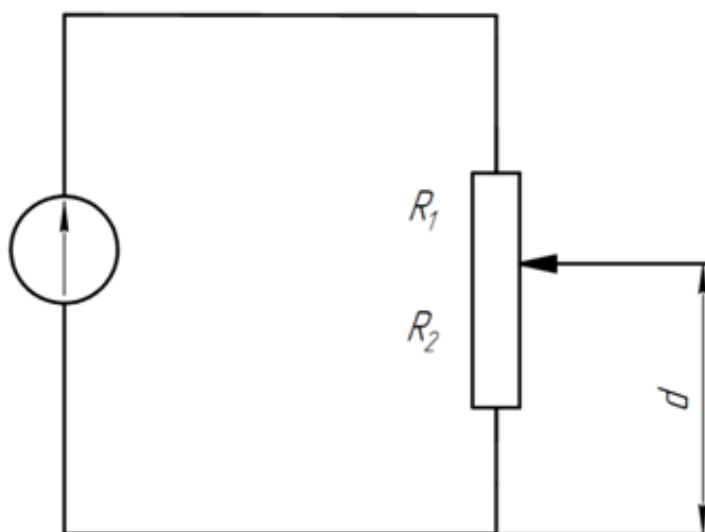


Рисунок 10 –Магниторезистивный датчики перемещения

Наряду с механическими датчиками перемещения, потенциометрические датчики получили наиболее широкое распространение в силу своей простоты и низкой стоимости, однако для универсальных, прецизионных и бесконтактных измерений в последнее время всё чаще используются датчики на основе оптических эффектов.

2.2 Методы поиска экстремума функции

2.2.1 Методы поиска экстремума в известном массиве данных

Наиболее простым методом оптимизации является однопараметрическая оптимизация (поиск экстремумов функций одной переменной).

Методы одномерной оптимизации могут быть разделены на три группы:

- методы исключения интервалов (группа методов может использоваться как для непрерывных, так и для разрывных и дискретных функций);

- методы точечного оценивания на основе полиномиальной аппроксимации;

- методы с использованием производных. [22]

К методам исключения интервалов относятся:

А) метод половинного деления (дихотомии);

Б) минимаксная стратегия поиска экстремума;

В) метод золотого сечения;

Г) метод равномерного поиска;

Д) метод Хука-Дживса.

Метод А основан на том, что первоначальный интервал $[a, b]$ делится на две равные части и заданная точность нахождения решения ε откладывается на обе стороны от точки деления. Затем интервал поиска сужается в соответствии с теоремой интервалов, и процедура деления повторяется, до тех пор, пока не выполнится условие останова. Геометрическая иллюстрация, приведена на рисунке 11 [23].

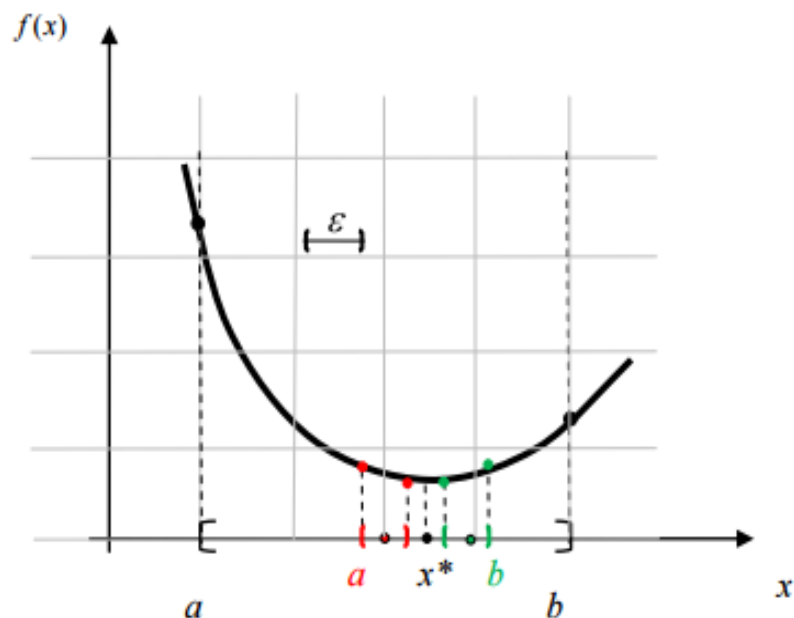


Рисунок 11 - Геометрическая иллюстрация метода дихотомии

Цель стратегии метода Б - минимизация максимально возможного интервала неопределенности, в котором находится минимум (максимум)

некоторой функции. Схема минимаксной стратегии метода дихотомии приведена на рисунке 12.

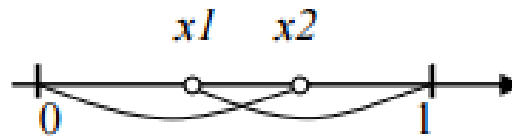


Рисунок 12 - Схема минимаксной стратегии метода дихотомии

В основе метода В лежит принцип деления отрезка в пропорциях золотого сечения в обоих направлениях, т.е. выбираются две точки x_1 и x_2 , такие что:

$$\frac{b-a}{b-x_1} = \frac{b-a}{x_2-a} = \phi = \frac{1+\sqrt{5}}{2} = 1.618, \quad (2)$$

где ϕ – пропорция золотого сечения.

В алгоритме Г точки определяются путем равномерного деления интервала $[a, b]$ на N одинаковых подынтервалов. Из вычисленных значений функции $F(x)$ выбирается наименьшее. Пусть это значение достигается в точке x_k . Тогда подынтервалы $[a, x_{k-1}]$, $[x_{k+1}, b]$ можно исключить из рассмотрения, т.е. сделать очередным интервалом неопределенности интервал $[x_{k-1}, x_{k+1}]$.

При выборе одного из методов, необходимо сравнивать две основные характеристики: сходимость, число шагов k получения минимума с точностью ε (эффективность).

При рассмотрении методов исключения интервалов к оптимизируемой функции предъявлялось лишь одно требование – унимодальность. При увеличении количество требований, необходимо использовать более эффективные алгоритмы поиска, например, метод квадратичной аппроксимации (метод Пауэлла) или методом одномерного поиска с использованием производных, к которому относятся (метод Ньютона – Рафсона) [24].

Основа метода Д - это комбинация исследующего поиска с циклическим изменением переменных и ускоряющего поиска по образцу. Схематично стратегия поиска изображена на рисунке 13.

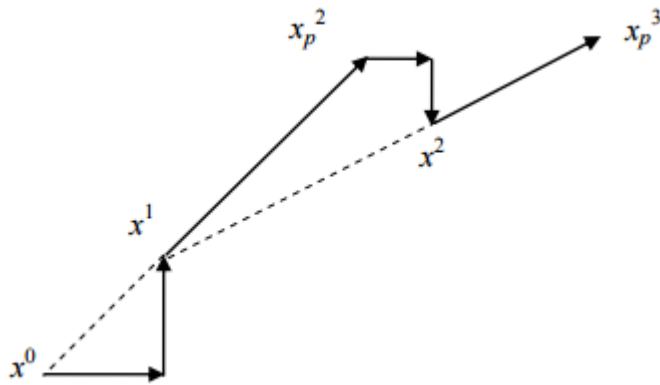


Рисунок 13 - Геометрическая иллюстрация метода Хука-Дживса

В начале для выбора базовой точки исследуется окрестность $x = \{ x_1, x_2, \dots, x_n \}$ по различным координатам вектора x (может быть с различным шагом). После того, как выбрано приемлемое направление (фиксируется новая базовая точка) осуществляется переход к следующему этапу. Если значение целевой функции $f(x)$ увеличилось, то необходимо вернуться в предыдущую точку и сделать половинный шаг.

Установление конфигураций (поиск по образцу) Из базовой точки в приемлемом направлении делаешь большой шаг, и шаг увеличивается в этом направлении до тех пор, пока целевая функция уменьшается. Когда функция перестанет уменьшаться, то от принятой конфигурации необходимо отказываться и размер шага уменьшить. Производится новое обследование окрестности. Таким образом, делается попытка поиска оврага целевой функции, а затем движение по этому оврагу. Поиск по образцу – это движение вдоль прямой, соединяющей две базовые точки [25].

Введем обозначения:

- x^k – текущая базовая точка;
- x^{k-1} – предыдущая базовая точка;
- x^{k+} – новая базовая точка;
- x_p^{k+1} – точка, построенная при движении по образцу.

$$x_p^{k+1} = x^k + (x^k - x^{k-1}) \quad (3)$$

Как только движение по образцу не приводит к уменьшению целевой функции, точка x^{k+1}_p фиксируется в качестве временной базовой точки и вновь проводится исследующий поиск. Если в результате получается точка с меньшим значением целевой функции, чем в точке x^k , то она рассматривается как новая базовая точка x^{k+1} . С другой стороны, если исследующий поиск неудачен, необходимо вернуться в точку x^k и провести исследующий поиск с целью выявления нового направления минимизации. В конечном итоге возникает ситуация, когда такой поиск не приводит к успеху. В этом случае требуется уменьшить величину шага и возобновить исследующий. Поиск завершается, если величина шага меньше заданной точности вычисления экстремума ε .

Основная идея этой группы методов связана с возможностью аппроксимации гладкой функции полиномом. Затем полученный полином, как легко дифференцируемая функция, используется для оценки экстремума [25].

Использования того или иного метода одномерной оптимизации зависит от следующих моментов:

- вида исходной целевой функции;
- целей решения конкретной задачи.

Методы оптимизации, основанные на полиномиальной аппроксимации и вычислении производных более эффективны, чем методы исключения интервалов. Но это выполняется при условии, что целевая функция достаточно гладкая и непрерывная. Цели решения задачи накладывают ограничения на основные характеристики методов:

- время получения решения;
- точность полученного экстремума;
- чувствительность алгоритма к начальным условиям [26].

2.2.2 Методы поиска экстремума в реальном масштабе времени

При определении экстремума в реальном масштабе времени рабочее движение одновременно играет роль пробного.

Одним из вариантов поиска, является метод запоминания экстремума, который заключается в использовании разности между текущим и экстремальными значениями характеристики объекта для нахождения момента реверса системы. Для определения экстремального значения регулируемого параметра используется запоминающее устройство.

Предположим, начиная с момента t_0 под действием регулирующего воздействия у регулируемый параметр x_T начинает возрастать. Запоминающее устройство следит за этим изменением. Как только величина x_T достигнет своего максимального значения, запоминающее устройство зафиксирует эту величину, и при уменьшении x_T запомненное значение $x_z - x_{\max}$ остается неизменным. При $x_T = x_{\max}$ система продолжает двигаться в том же направлении в течении некоторого времени, определяемого зоной нечувствительности регулятора.

Главной проблемой при определении максимума является ложное его определение в следствии наличия локальных максимумов функции. Эффективным способом борьбы с этой проблемой является применение различных способов фильтрации входного сигнала системы [27].

2.3 Сравнение методов позиционирования

Методы поиска сводятся к поиску в заранее известном массиве данных или в реальном масштабе времени, когда получение данных и их обработка связаны непрерывно. Для применимости методов к той или иной задаче требуется знать условия получения данных от измерительных преобразователей.

Для выбора наиболее подходящего метода позиционирования объекта необходимо подобрать метод оптимизации поиска экстремума функции. Приоритет метода может определяться критичностью к той или иной характеристике. Например, точечный метод обеспечивает высокую точность для гладких функций, однако на быстроизменяющихся функциях работает весьма медленно и не удовлетворяет показателю времени получения решения.

Методы с использованием производных работают только при аналитически заданных функциях, для которых возможно оценить производную без дополнительных погрешностей. Но в технических приложениях целевая функция чаще задается таблично, как результат эксперимента и измерения некоторого показателя. В этом случае возможно использование только интервальных методов. И, наконец, объединение некоторых методов может принести ощутимое улучшение показателей оценки экстремума.

Так как для системы определены условия работы, то сами алгоритмы поиска могут различаться в зависимости от поставленных целей.

3 Разработка системы позиционирования и анализ применимости ИПП

3.1 Разработка стенда для исследований

Целью работы является исследование ИПП в задаче позиционирования движущихся объектов. Необходимо разработать проектное решение стенда для исследований.

Исходя из поставленных задач был выбран следующий состав стенда для исследований:

- ПЛК – программируемый логический контроллер;
- ИДП – индуктивный датчик перемещения;
- ПО - подвижный объект;
- ДПТ – двигатель постоянного тока.

Структура стенда изображена на рисунке 14.

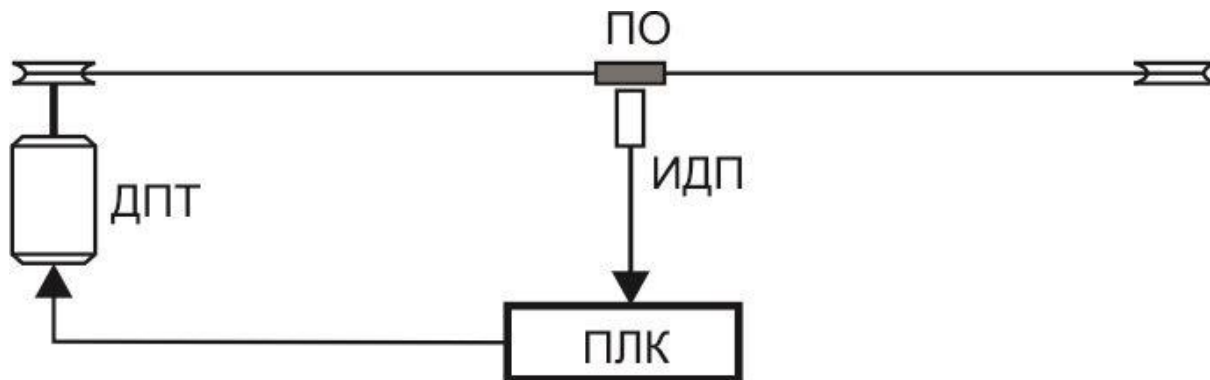


Рисунок 14 -Структура стенда для исследований

На рисунке 15 показан внешний вид смонтированного стенда для исследований.



Рисунок 15 - Внешний вид смонтированного стенда для исследований
ИПП размещается на пути движения объекта при помощи кронштейна
(рисунок 16).

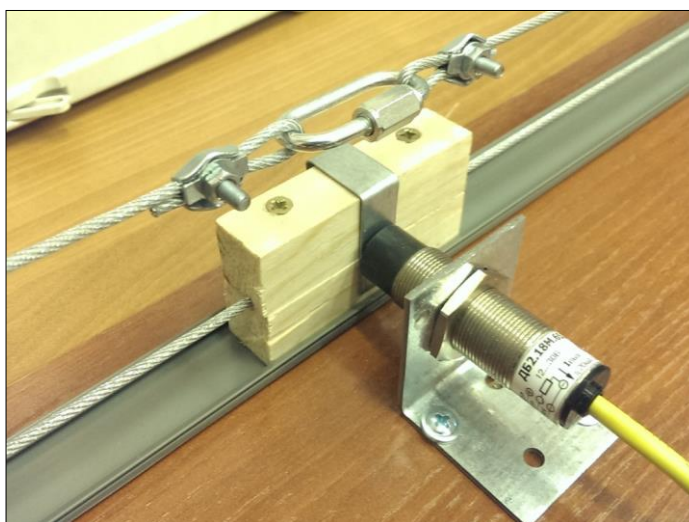


Рисунок 16 - Внешний вид ИПП размещенного на стенде
Объект приводится в движение при помощи ДПТ, расположенного в
конце направляющей траекторией движения. (рисунок 17)

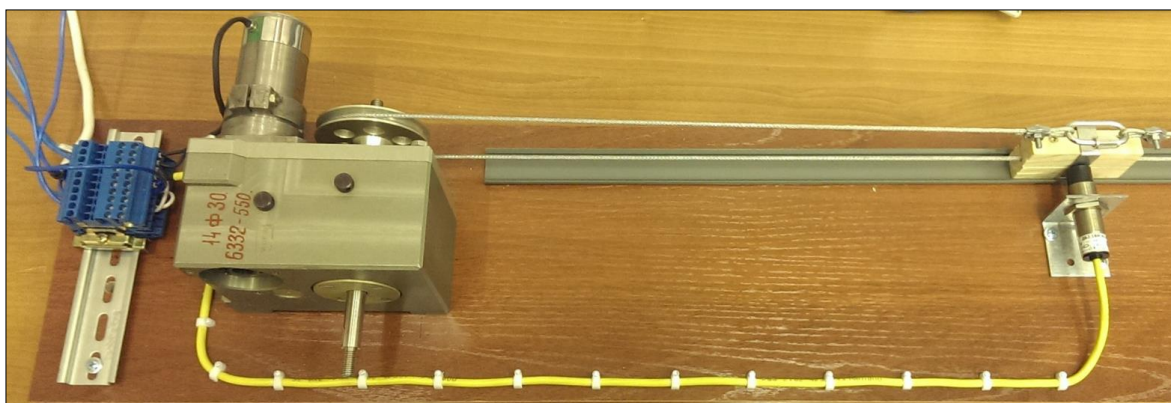


Рисунок 17 - Внешний вид ДПТ и направляющей размещенных на стенде

При выборе программных и аппаратных средств стенда для исследований необходимо понимать, что применение высокотехнологичных и дорогостоящих средств является неоправданным решением. В большей степени это связано с невозможностью применимости таких результатов исследований к наиболее распространённым технологическим объектам, имеющим в своем составе общепромышленные аппаратно-технические средства.

3.1.1 Индуктивный преобразователь перемещения

ИПП является исследуемым элементом лабораторного стенда. В качестве ИПП используется индуктивный датчик МЕГА – К серия ДБ2 с аналоговым выходным сигналом 4...20 мА. Токовый сигнал снимаемый с выхода датчика предназначен для информирования объекта управления о текущем положении подвижного объекта представляющего собой металлическую пластину [28].

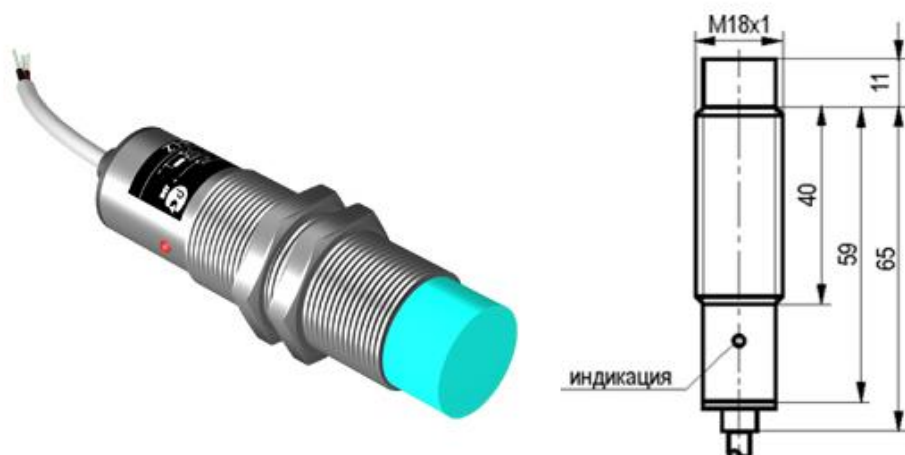


Рисунок 18 – Внешний вид ИПП МЕГА – К

Основные технические характеристики индуктивного датчика с аналоговым выходом представлены в таблице 1 [29].

Таблица 1 – Технические характеристики ИПП

Маркировка прибора	ДБ2.18М.65.5.9Т.1.К
Способ монтажа	Встраиваемый заподлицо
Рабочий зазор	0,5 ... 5,0 мм
Линейная зона рабочего зазора	0,8 ... 4,3 мм
Напряжение питания	12 ... 30 В
Диапазон выходного тока	1,5 ... 20,0 мА
Выходной ток в линейном зазоре	2,0 ... 18,0 мА
Нелинейность	Не более 3% от $I_{\text{вых max}}$
Температурная нестабильность	Не более 5% от $I_{\text{вых max}}$
Сопротивление нагрузки	$R_{\text{max}} = (U_{\text{раб}} - 7,0) 50 \text{ Ом}$
Индикация конца линейного участка	Есть
Степень защиты	IP67
Диапазон рабочих температур	от -25°C до +70°C
Материал корпуса	Латунь
Масса	Не более 150 г

Датчик выполняет функцию измерителя сигнала при линейном перемещении подвижного объекта.

Схема подключения преобразователя показана на рисунке 19.



Рисунок 19 – Схема подключения ИПП

3.1.2 Программируемый логический контроллер

В работе лабораторного стенда контроллер выполняет функцию регулятора. Для выполнения исследований был выбран универсальный программируемый контроллер фирмы SIEMENS серии S7-300.

SIMATIC S7-300 — семейство контроллеров средней производительности концерна Siemens AG из семейства систем автоматизации SIMATIC S7. В линейке контроллеров этого семейства по своей производительности занимает промежуточное положение между семействами S7-200 и S7-400. Количество поддерживаемых входов и выходов до 65536 дискретных/4096 аналоговых каналов. Конструкция контроллера модульная, модули монтируются на профильной шине (рельсе) [30].

Программируемые контроллеры S7-300 применяются в следующих областях:

- автоматизация машин специального назначения;
- автоматизация текстильных и упаковочных машин;
- автоматизация машиностроительного оборудования;
- автоматизация оборудования для производства технических средств управления и электротехнической аппаратуры;
- построение САР и позиционирования;
- автоматизированные измерительные установки и другие.

Контроллеры Siemens SIMATIC S7-300 построены по модульному принципу и имеют в своем составе:

- модуль центрального процессора (CPU);
- модули блоков питания (PS);
- сигнальные модули (SM);
- коммуникационные процессоры (CP);
- функциональные модули (FM);
- интерфейсные модули (IM).

Монтаж модулей осуществляется на профильную шину S7-300. Фиксация в рабочих положениях осуществляется винтами. Шинные соединители выполняют объединение модулей в единую систему (входят в комплект поставки каждого модуля). Соединители устанавливаются на тыльную часть корпуса [31].

Схема компоновки контроллера Siemens S7-300 показана на рисунке 20.

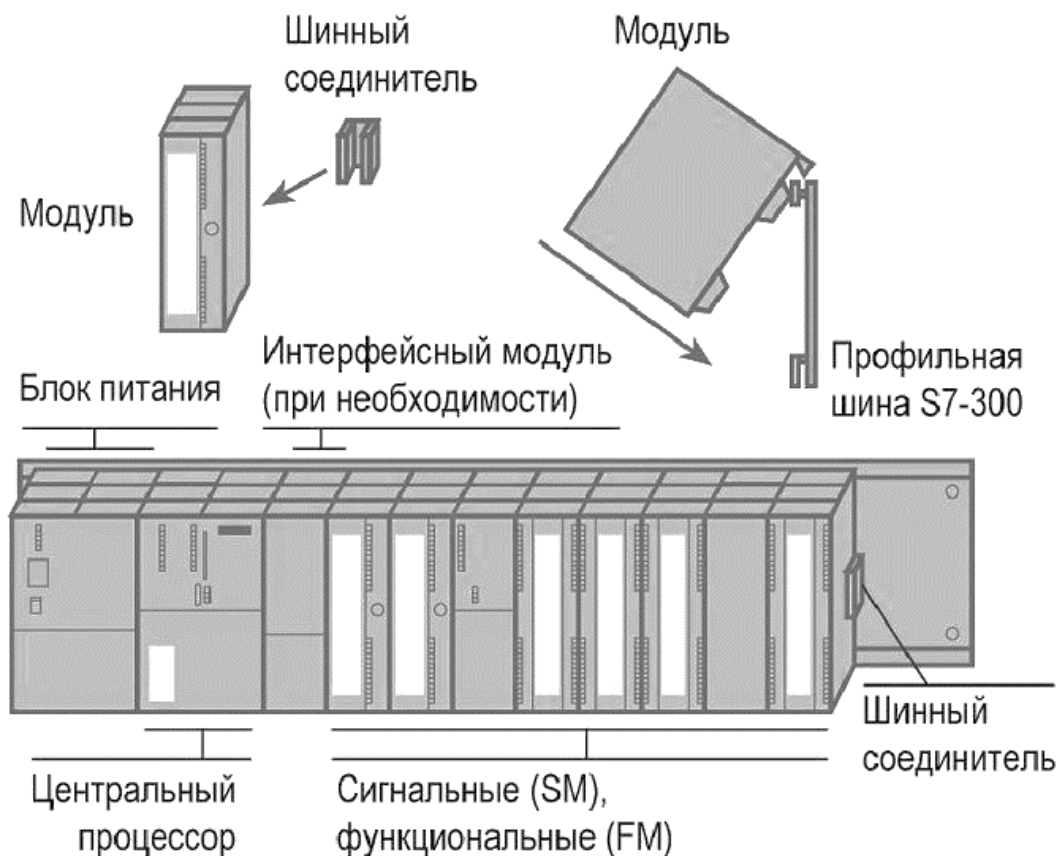


Рисунок 20 – Структурная схема компоновки контроллера Siemens S7-300

3.1.2.1 Модуль блока питания

Модуль блока питания обеспечивают возможность питания контроллера либо от сети переменного тока напряжением 120/230В либо используя источник постоянного тока напряжением 24/48/60/110В.

Блок питания предназначен для питания стабилизированным напряжением постоянного тока модулей контроллера. В качестве блока питания применяется блок 6AG1305-1BA80-0AA0.

Блок питания PS 305 (2 A) отличается следующими свойствами:

- выходной ток 2 А;
- номинальное выходное напряжение 24 в пост. тока; регулируемое, устойчивое при коротком замыкании и холостом ходе;
- подключение к сети постоянного тока (номинальное входное напряжение 24/48/72/96/110 В пост. тока);
- надежная гальваническая развязка в соответствии с EN 60 950;
- может быть использован как источник питания нагрузки [32].



Рисунок 21 – Внешний вид модуля блока питания

3.1.2.2 Модуль центрального процессора

В зависимости от степени сложности решаемой задачи в контроллерах Siemens могут быть использованы различные типы центральных процессоров, отличающихся производительностью, объемом памяти, наличием или отсутствием встроенных входов-выходов и специальных функций, количеством и видом встроенных коммуникационных интерфейсов и т.д.

В составе стенда имеется модуль центрального процессора CPU 317-2 DP. Это мощный центральный процессор с большим объемом памяти программ. Он находит применение в системах автоматизации, отличающихся высокой производительностью и имеющих развитую структуру систем локального и распределенного ввода-вывода [33].

Основные технические характеристики представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики модуля центрального процессора

Маркировка модуля	6ES7317-2ЕК14-0AB0
Микропроцессор	50 нс на выполнение бинарной инструкции, 1 мкс на выполнение математической операции с плавающей запятой
Рабочая память	1 Мбайт, RAM (приблизительно 340 К инструкций)
Возможность расширения	подключение до 32 модулей (4-рядная конфигурация).
Интерфейсы	MPI/DP, PROFIBUS DP, Ethernet TCP/IP
Температура внешней среды	От минус 25° С до плюс 60° С

Внешний вид CPU представлен на рисунке 22.



Рисунок 22 – Внешний вид модуля центрального процессора

Программирование контроллера выполняется в программном пакете Simatic Step7 фирмы Siemens. Основными языками программирования являются следующие:

- LAD — язык релейно-контактной логики;
- FBD — язык функциональных блочных диаграмм;
- STL — язык списка инструкций.

Кроме того, в данном пакете осуществляется конфигурирование оборудования системы автоматизации на основе ПЛК.

3.1.2.3 Модуль аналогового ввода

Модуль аналогового ввода системы предназначен для преобразования 8-ми аналоговых входных сигналов и передачи полученных данных к модулю центрального процессора.

Свойства модуля 8 входов в 4 группах каналов

- 8 входов в 4 группах каналов;
- вид измерения настраивается на группу каналов (ток, напряжение);
- разрешающая способность настраивается на группу каналов (15 битов + знак);
- произвольный выбор диапазона измерений на группу каналов;
- параметризуемая диагностика и диагностическое прерывание;
- контроль граничных значений настраивается для 2 каналов;
- параметризуемое аппаратное прерывание при нарушении границы;
- скоростное обновление измеряемых значений;
- потенциальная развязка относительно CPU [34].



Рисунок 23 – Модуль аналогового ввода

3.1.2.4 Модуль дискретного ввода/вывода

Данный модуль предназначен для ввода дискретных сигналов напряжения постоянного тока, а также для коммутации электрических цепей постоянного тока.

Технические данные модуля представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики модуля ввода/вывода

Маркировка модуля	6ES7323-1BL01-0AA0
Номинальное напряжение на нагрузке L+	24 В пост. тока
Число одновременно управляемых входов	8 шт
Суммарный ток выходов (на группу)	макс. 4 А
Потенциальная развязка	Да
Индикация состояния	Зеленый светодиод на каждом канале
Входное напряжение: • номинальное значение • для сигнала «1» • для сигнала «0»	24 В пост. тока от 13 до В от – 30 до 5 В [35]

Внешний вид модуля дискретного ввода вывода показан на рисунке 24.



Рисунок 24 – Модуль дискретного ввода/вывода

3.1.3 Компоненты стенда для исследования

Кроме ИПП и контроллера ОВЕН в лабораторном стенде используется двигатель постоянного тока. Меняя полярность подводимого к якорю

напряжения изменяется направление вращения двигателя. Также во избежание ситуации короткого замыкания при смене полярности, используются блоки реле.

Для питания датчика перемещения, ПЛК «Овен ПЛК150» и блоков реле используется одноканальный блок питания БП 60Б – Д4 фирмы «Овен». Данный блок питания предназначен для питания стабилизированным напряжением постоянного тока различных устройств [36].



Рисунок 25 – Одноканальный блок питания ОВЕН БП60Б – Д4

Технические характеристики блока питания приведены ниже.

Таблица 4 - Технические характеристики блока питания

Входное напряжение:	
– переменного тока	90...264 В
– постоянного тока	110...370 В
Частота входного переменного напряжения	47...63 Гц
Максимальная выходная мощность	60 Вт
Рабочий диапазон температур	От минус 20°С до плюс 50 °С
Тип и габаритные размеры корпуса	Д4, 72х90х58 мм (ДхШхВ)
Степень защиты корпуса (со стороны передней панели)	IP20

3.2 Описание работы стенда для исследований

Лабораторный стенд выполнен как универсальный стенд для исследования индуктивных датчиков перемещения. Универсальность определяется наличием программируемого контроллера, который позволяет реализовать различные алгоритмы управления.

Исследуемым объектом является индуктивный преобразователь перемещения, который неподвижно закреплен на кронштейне. В свою очередь, подвижный объект представляет собой металлическую пластину, закрепленную на направляющих тросах. Тросы приводятся в движение от роликов ДПТ, с которым они соединены механической связью. В зависимости от полярности подводимого напряжения подвижный объект может линейно перемещаться влево и вправо относительно ИПП. Конструкцией датчика предусмотрена возможность регулирования рабочего зазора между его рабочей плоскостью и подвижным объектом.

При движении объекта мимо преобразователя, последний формирует выходной сигнал уровня 1,5 – 20 мА (реально сигнал достигает 22,9 мА). Аналоговый модуль контроллера служит для преобразования входного сигнала от датчика и передачи полученных данных к модулю центрального процессора.

Управление двигателем (включение/отключение) осуществляется путем подачи дискретного сигнала от модуля ввода/вывода. Кроме того, стенд оснащен концевыми выключателями для отключения работы ДПТ при выходе подвижного объекта за допустимые границы перемещения.

Имеется блок питания (БП) стабилизированным напряжением постоянного тока Б5-43 подключенный в цепь питания двигателя. БП имеет органы управления, используемые для регулирования величины выходного напряжения. Изменяя величину выходного напряжения, подаваемого на двигатель, происходит регулирование его скорости движения объекта позиционирования. Питание стенда осуществляется от сети переменного тока напряжением 220В.

Перечень входных и выходных сигналов системы представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Перечень входных и выходных сигналов системы

Название	Тип	Источник	Приемник
Перечень входных сигналов			
Положение подвижного объекта	AI (4-20 мА)	ИПП	Контроллер

Продолжение таблицы 5

Двигатель «Отключение» по левой границе	DI (24В, «сухой контакт»)	Левый концевой выключатель	Контроллер
Двигатель «Отключение» по правой границе	DI (24В, «сухой контакт»)	Правый концевой выключатель	Контроллер
Перечень выходных сигналов			
Двигатель «Вперед»	DO (24В, «сухой контакт»)	Контроллер	ДПТ
Двигатель «Назад»	DO (24В, «сухой контакт»)	Контроллер	ДПТ
Двигатель «Стоп»	DO (24В, «сухой контакт»)	Контроллер	ДПТ

3.3 Исследование работы ИПП

3.3.1 Определение степени чувствительности ИПП

Для надежной работы индуктивного датчика имеется несколько настроечных параметров. Одним из них является рабочий зазор датчика d – это расстояние между рабочей плоскостью датчика и металлическим объектом. Данный параметр влияет на чувствительность преобразователя перемещения.

Теоретический диапазон рабочего зазора:

$$0 \leq S_{\text{раб}} \leq 0,8S_{\text{ном}}, \quad (4)$$

где $S_{\text{ном}}$ - номинальное расстояние.

Номинальное расстояние - это теоретическая величина, которая не учитывает разброс производственных параметров датчика, изменения температуры и напряжения питания [37].

Проведем серию исследований чувствительности датчика с целью определения наилучшего рабочего зазора. Последовательно изменяя величину допределим ее влияние на выходной сигнал датчика. Все эксперименты выполняются с применением программного пакета Simatic Step 7.

Для получения выходного сигнала в токовом виде в диапазоне 1,5–24 мА, необходимо организовать чтение аналогового входа контроллера с

последующим масштабированием. Это необходимо для работы с физическим значением параметра. В свойствах аналогового модуля необходимо задать параметры аналогового канала, тип и диапазон измерения. Для чтения и масштабирования создадим функциональный блок на языке FBD. Листинг блока представлен на рисунке 26.

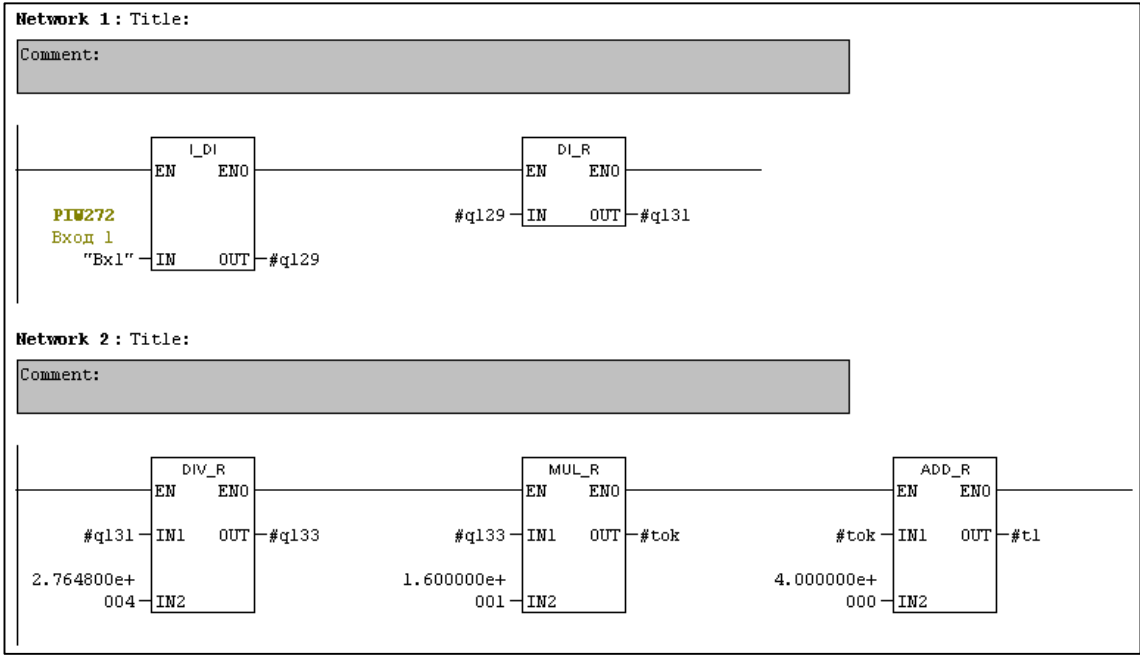


Рисунок 26 – Обработка аналогового сигнала

Результаты экспериментов представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Исследование рабочего зазора ИПП

Величина воздушного зазора, d					
d = 0.1 мм		d = 0.3 мм		d = 10 мм	
Положение относительно центра, S [мм]	Снимаемый с датчика сигнал I [мА]	Положение относительно центра, S [мм]	Снимаемый с датчика сигнал, I [мА]	Положение относительно центра, S [мм]	Снимаемый с датчика сигнал, I [мА]
16 (лево)	22,9624	16 (лево)	22,9624	16 (лево)	22,9624
15	22,9624	15	22,9624	15	22,9624
14	21,8551	14	22,9624	14	22,9624
13	18,5132	13	19,9513	13	22,9624
12	16,9612	12	18,0576	12	22,9624
11	13,5585	11	17,7631	11	22,9624
10	9,8553	10	16,0741	10	21,1386
9	7,8912	9	14,0685	9	19,2578
8	5,7438	8	13,0959	8	18,5685
7	4,6713	7	12,6713	7	17,8542
6	3,1142	6	11,2175	6	17,1247
5	2,7465	5	10,5311	5	16,4542

Продолжение таблицы 6

4	2,5621	4	9,3241	4	15,7912
3	2,4111	3	7,2221	3	15,4521
2	2,2413	2	6,0324	2	15,2547
1	1,9641	1	5,9352	1	15,1623
0 (центр)	1,3501	0 (центр)	5,3201	0 (центр)	15,0318
1	1,9518	1	5,9799	1	15,1579
2	2,1911	2	6,0250	2	15,2613
3	2,3942	3	7,2903	3	15,3998
4	2,5561	4	9,3198	4	15,8054
5	2,8122	5	10,5463	5	16,5113
6	3,2132	6	11,3416	6	17,2468
7	4,5889	7	12,5851	7	17,5412
8	5,8021	8	13,0102	8	18,2183
9	7,9145	9	14,4355	9	19,3012
10	9,7987	10	16,1813	10	21,4281
11	13,6825	11	17,8113	11	22,9624
12	17,1484	12	18,0101	12	22,9624
13	18,4569	13	19,5631	13	22,9624
14	21,9209	14	22,9624	14	22,9624
15	22,9624	15	22,9624	15	22,9624
16 (право)	22,9624	16 (право)	22,9624	16 (право)	22,9624

Построим графики полученных результатов исследования.

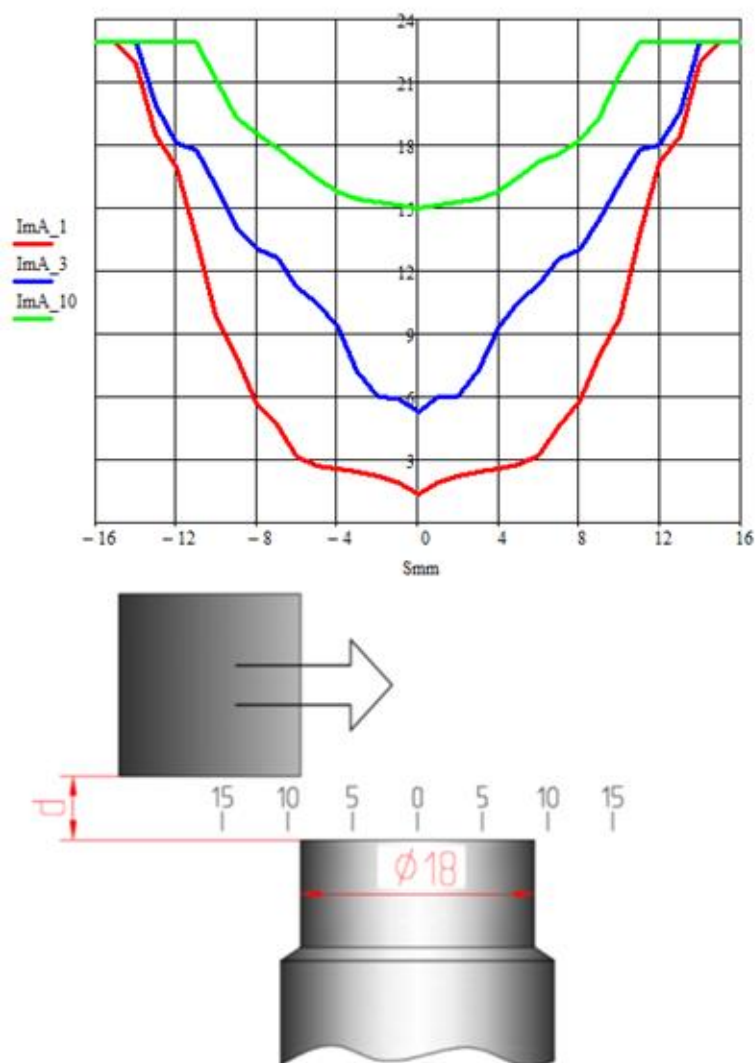


Рисунок 27 - Исследование рабочего зазора ИПП

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что увеличение величины рабочего зазора обратно пропорционально чувствительности датчика.

Исходя из представленного вывода необходимо дать рекомендации по выбору величины рабочего зазора при использовании индуктивных датчиков. Во-первых, запрещается чрезмерно уменьшать или увеличивать величину зазора, так как это приведет к получению не точных данных. Во-вторых, минимальное расстояние d опасно для выполнения технологического процесса, так какдвигающийся объект может повредить датчик, либо повредиться сам.

Следуя данным рекомендациям выберем величину рабочего зазора $d = 2,5 \pm 0,5\text{мм}$.

Другим немаловажным фактором, влияющим на чувствительность

датчика, является ширина b объекта. Важно знать минимальную/максимальную ширину отслеживаемого подвижного объекта для выполнения задачи позиционирования с заданной точностью.

Проведем серию исследований чувствительности датчика с целью определения минимальной ширины пластины, гарантирующая надежную работу системы. Результаты экспериментов представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Исследование ширины металлической пластины

Величина воздушного зазора, $d = 3\text{ мм}$			
$b = 14\text{ мм}$		$b = 3\text{ мм}$	
Положение относительно центра, $S\text{ [мм]}$	Снимаемый с датчика сигнал, $I\text{ [мА]}$	Положение относительно центра, $S\text{ [мм]}$	Снимаемый с датчика сигнал, $I\text{ [мА]}$
16 (лево)	22,9624	16 (лево)	22,9624
15	22,9624	15	22,9624
14	22,9624	14	22,9624
13	18,9513	13	22,9624
12	17,0576	12	22,9624
11	13,7631	11	22,9624
10	10,0741	10	22,9624
9	8,0685	9	22,9624
8	6,0959	8	22,9624
7	5,6713	7	21,2413
6	4,2175	6	18,5618
5	3,5311	5	16,9312
4	3,3241	4	15,4931
3	3,2221	3	14,0222
2	3,0324	2	13,2115
1	2,9352	1	12,5178
0 (центр)	2,9001	0 (центр)	12,4028
1	2,9799	1	12,4028
2	3,0250	2	13,3572
3	3,2903	3	14,0578
4	3,3198	4	15,3599
5	3,5463	5	16,9518
6	4,3416	6	18,6013
7	5,5851	7	21,3521
8	6,0102	8	22,9624
9	7,4355	9	22,9624
10	10,1813	10	22,9624
11	13,8113	11	22,9624
12	17,0101	12	22,9624
13	18,5631	13	22,9624
14	22,9624	14	22,9624
15	22,9624	15	22,9624
16 (право)	22,9624	16 (право)	22,9624

Построим графики полученных результатов исследования.

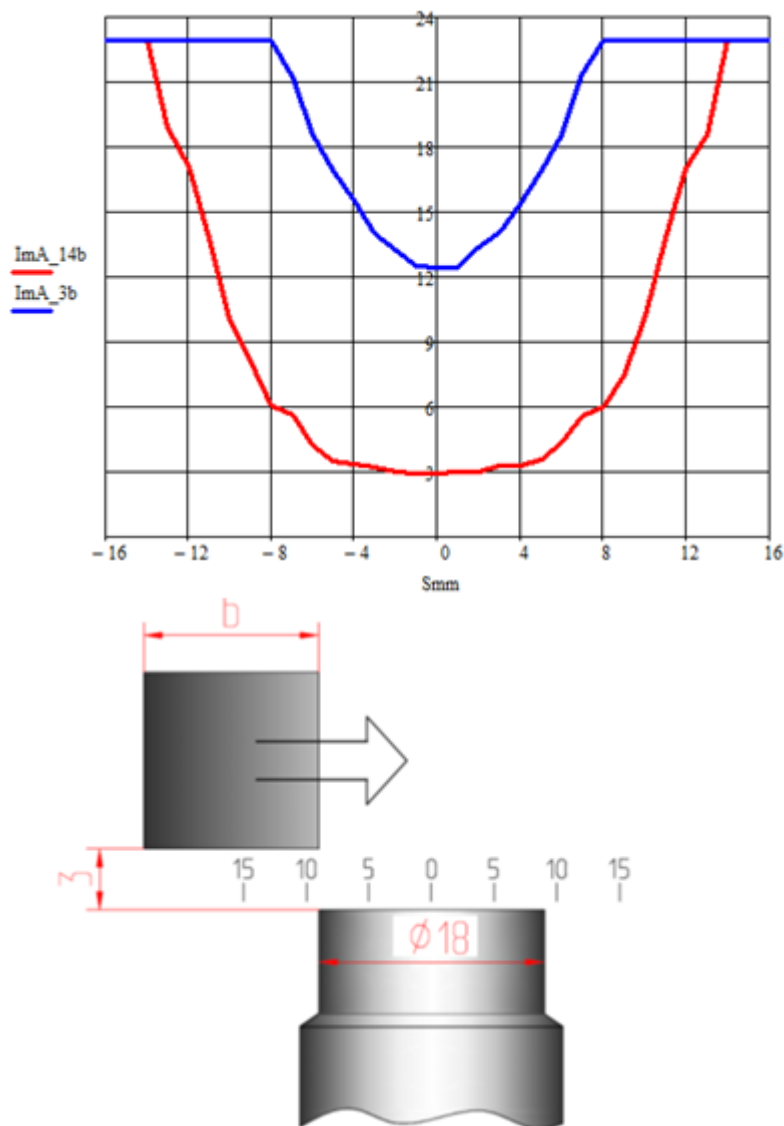


Рисунок 28 - Исследование ширины подвижного объекта

На основании полученных результатов можно сделать выводы о том, что ширина подвижного объекта влияет на информативность снимаемого сигнала с датчика. При этом чрезмерное увеличение ширины пластины, больше ширины рабочей плоскости датчика, увеличивает ошибку позиционирования, так как экстремум функции наблюдается на протяжении нескольких точек измерения.

С целью оптимальной работы системы позиционирования с использованием ИПП, рекомендуется применять ширину отслеживаемого металлического объекта не превышающую отклонение $\pm 5\%$ от ширины рабочей плоскости датчика.

Следуя данным рекомендациям, выберем ширину металлического объекта $b = 14$ мм.

В результате проведенных исследований, получены экспериментальные обоснования для рекомендаций по выбору величины рабочего зазора датчика и ширины подвижного объекта. Данные рекомендации применимы для всех систем позиционирования построенных с использованием индуктивных датчиков.

3.3.2 Влияние скорости подвижного объекта на точность позиционирования

Линейное перемещение подвижного объекта происходит с постоянной скоростью. При прохождении объекта мимо датчика выполняется поиск экстремума снимаемой с датчика функции. Требуется определить скоростные ограничения, предъявляемые к подвижному объекту, для устойчивой работы системы.

В данной серии экспериментов поиск экстремума функции выполняется методом перебора по критерию сравнения на минимум. Метод перебора это простейший из методов поиска, основанный на сравнении вновь полученного результата измерения с предыдущим.

Для оценки влияния скорости подвижного объекта на точность определения экстремума проведем соответствующие исследования. Величину рабочего зазора и ширину пластины выбираем по полученным рекомендациям в п. 3.3.1 ($d = 3$ мм, $b = 14$ мм). Результаты экспериментов представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Изменение скорости движения подвижного объекта

Напряжения питания ДПТ, U [В]	Скорость движения, V [см/с]	Экстремум функции, $X_{\min}$ [мА]
3	0,41	1,3796
3,5	1,12	1,3797
4	2,37	1,3802
5	5,68	1,3815

Продолжение таблицы 8

6	10,87	1,3842
6,5	18,29	1,4351
7	25,96	1,5231
8	29,15	1,5895

Приведем графическую иллюстрацию полученных результатов исследования.

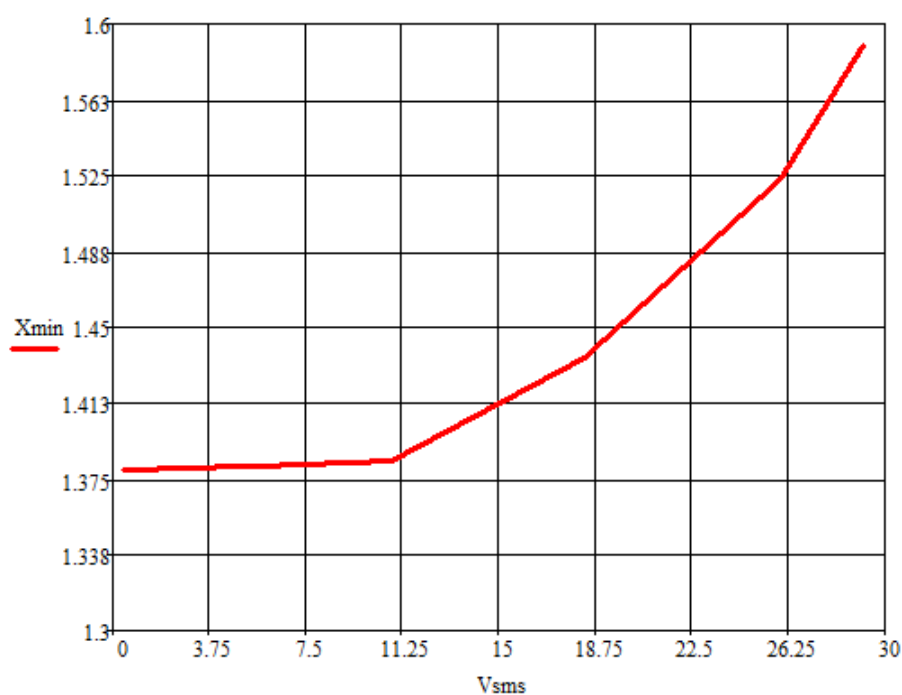


Рисунок 29 - Изменение скорости движения подвижного объекта

На основании полученных экспериментальных данных можно сделать вывод о том, что при увеличении скорости движения объекта снижается чувствительность преобразователя перемещения. Опрос датчика аналоговым модулем и обработка сигнала осуществляется с частотой 0,36 сек и с увеличением скорости движения, измерение успевает «проскочить» минимальное значение функции в данном временном интервале.

На качество работы системы позиционирования данные показатели отклонения влияют не в большой степени, но все же стоит обратить на них внимание, так как при значительном увеличении скорости эти показатели могут возрастать в разы.

3.3.3 Влияние скорости подвижного объекта на ошибку позиционирования

Подвижный объект перемещаясь мимо индуктивного датчика с определенной скоростью имеет кинетическую энергию. При этом, кинетическую энергию движущегося тела можно описать следующим уравнением:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}, \quad (5)$$

где m – масса тела, [кг];

v – скорость центра масс тела, [м\с] [38].

Можно предположить, что данная энергия влияет на инерционность системы позиционирования, увеличивая либо уменьшая ошибку позиционирования движущегося металлического тела.

Проведем серию исследований с целью оценки данной зависимости. Так как масса тела неизменна ($m=0,01$ кг), изменение кинетической энергии возможно лишь за счет изменения скорости.

Для выполнения поиска экстремума движущегося тела снова используется метод перебора, но дополненный условием останова двигателя – движение тела происходит, когда сигнал выходной характеристики уменьшается и прекращается, когда сигнал вновь возрастает.

Листинг программы представлен на ниже.

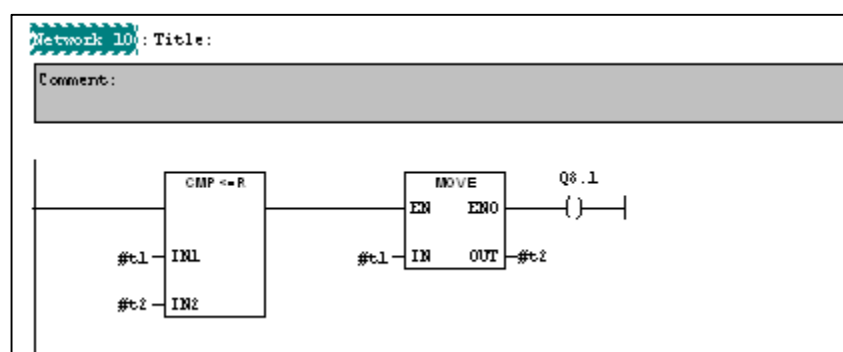


Рисунок 30 - Листинг программы поиска экстремума с последующим остановом двигателя

Результатом работы программы является получение величины ошибки позиционирования, представленная в виде токового сигнала.

Результаты экспериментов представлены в таблице 9. Величина ошибки позиционирования переведена из токового сигнала в эквивалентное ему отклонение от центра датчика, выраженное в сантиметрах.

Таблица 9 – Изменение кинетической энергии подвижного объекта

Напряжения питания ДПТ, U [В]	Скорость движения, V [м/с]	Кинетическая энергия, Ек [Дж]	Величина ошибки позиционирования, Δ[см]
3	0,0041	$8,41 \cdot 10^{-8}$	0,0031
3,5	0,0112	$6,27 \cdot 10^{-7}$	0,0121
4	0,0237	$2,81 \cdot 10^{-6}$	0,3829
5	0,0568	$1,61 \cdot 10^{-5}$	2,0216
6	0,1087	$5,91 \cdot 10^{-5}$	3,4857
6,5	0,1829	$1,67 \cdot 10^{-4}$	5,2986
7	0,2596	$3,37 \cdot 10^{-4}$	6,3965
8	0,2915	$4,25 \cdot 10^{-4}$	6,9999

Построим график полученных результатов исследования.

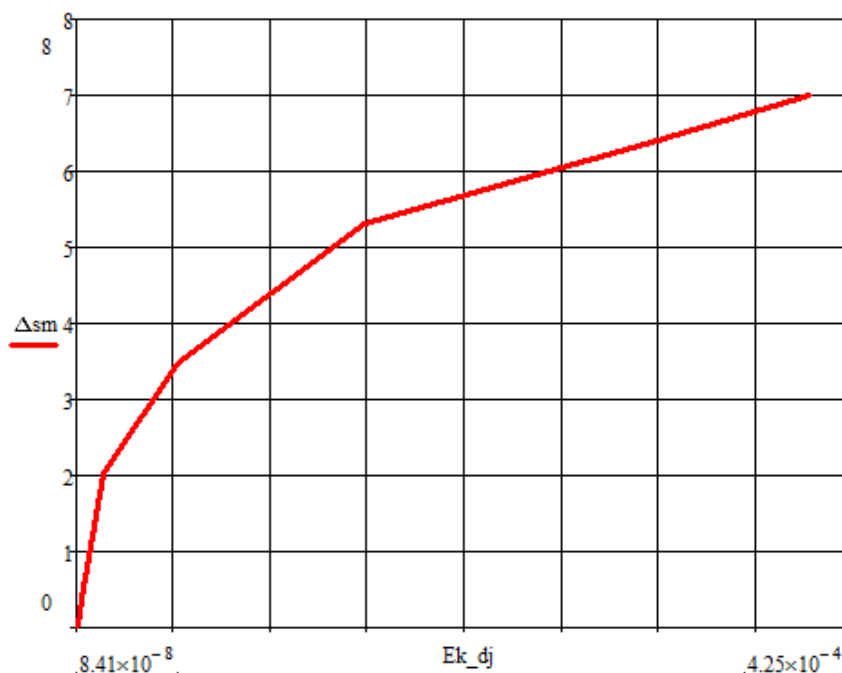


Рисунок 31 – Зависимость ошибки позиционирования от кинетической энергии подвижного объекта

Очевидно, что с ростом скорости, соответственно, кинетической энергии ошибка позиционирования увеличивается. Кроме того, при значительном увеличении скорости, позиционирование вообще не осуществимо, так как из-за

большой кинетической энергии тело выходит из зоны чувствительности датчика. Из полученных результатов можно сделать вывод о том, что требуется ограничивать величину кинетической энергии. Сделать можно это за счет уменьшения либо массы, либо скорости позиционируемого тела. Выбор из двух способов будет зависеть от удобства применимости к конкретному технологическому процессу.

3.4 Способы увеличения точности и снижения ошибки позиционирования

3.4.1 Методы поиска экстремума

Описанный выше метод перебора для поиска экстремума является самым простым. Полученные с его помощью результаты имеют высокое отклонение от требуемых значений. Связано это с наличием помех при эксплуатации, которые возникают из-за электромагнитных полей. Для уменьшения электрических помех аналоговых сигналов рекомендуется использовать экранированные кабели типа “витая пара” (заземление экрана с одной или двух сторон).

Для моделирования высокочастотных помех создадим функциональный блок на языке FBD (рисунок 32). Случайные значения помех получены путем считывания системного времени CPU с помощью блока SFC64 "TIME_TCK". Последующая обработка значений блока снижает уровень помех до 1% [39].

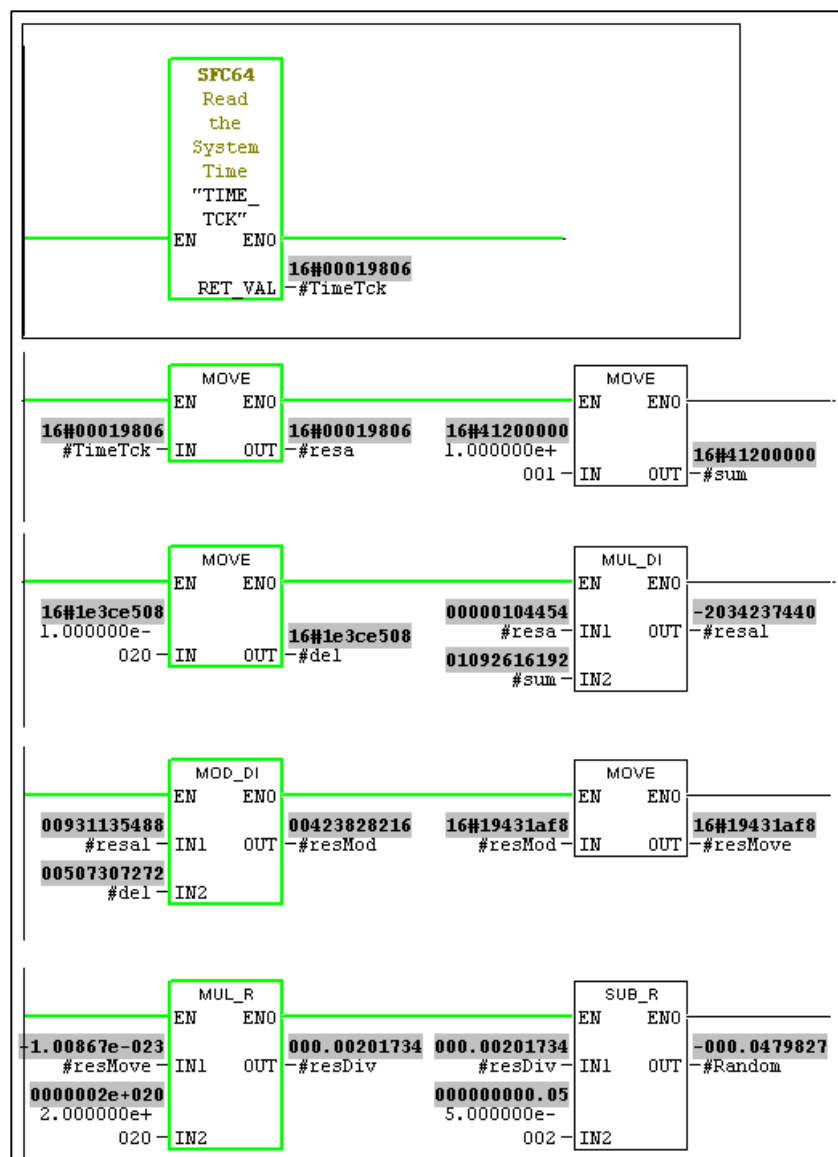


Рисунок 32 - Листинг программы создания помех

Наличие помех влияет на точность и ошибку позиционирования. Для увеличения точности и снижения ошибки позиционирования, требуется оценить эффективность применения других методов поиска экстремума.

Рассмотрим несколько методов:

- метод экспоненциального сглаживания;
- метод скользящего среднего;
- метод медианного сглаживания.

Метод экспоненциального сглаживания заключается в том, что получаемые в реальном масштабе времени значения с индуктивного

преобразователя перемещения сглаживаются за счет использования значения в предыдущий период времени.

Сглаживаемое значение рассчитывается по следующей формуле:

$$Y_i = x_i + x_{i-1} \cdot (1 - \gamma), \quad (6)$$

где Y_i - сглаженное значение функции;

x_i - снимаемое значение с датчика в текущий момент времени, [мА];

x_{i-1} - снимаемое значение с датчика в предыдущий момент времени, [мА];

γ - константа сглаживания, [0...1].

Из формулы 5 видно, что чем ближе константа сглаживания γ к единице, тем больший вес имеет текущее значение функции [40].

Метод скользящего среднего заключается в замене фактических значений функции в текущий момент времени средним арифметическим значений нескольких ближайших к нему значений. Окном скольжения будет являться набор усредняемых значений. Окно зависит от характера временного ряда и цели сглаживания и выбирается исследователем.

Различают простое и взвешенное скользящего среднее. Простое скользящего среднее основывается на составлении нового ряда из простых средних арифметических, исчисленных для промежутков времени определенной длины. Формула расчёта простого скользящего среднего:

$$f_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{k-i} \quad (7)$$

Взвешенное скользящего среднее является естественным расширением метода простого скользящего среднего. В нем учитывается то, что данные за прошедшие периоды времени влияют на возможные изменения неодинаково. Для этого вводится понятие "вес". Удобно в качестве весов брать доли, демонстрирующие степень влияния данных исходного временного ряда в зависимости от их удаленности от прогнозируемых. В этом случае их сумма, очевидно, будет равна единице [41].

Формула для расчетов будет выглядеть так:

$$f_k = \frac{\sum_{i=1}^N w_{k-1} \cdot x_{k-1}}{\sum_{i=1}^N w_{k-1}} \quad (8)$$

Метод медианной фильтрации по алгоритму реализации похож на фильтр «скользящее среднее», в нем также используется усреднение нескольких последних значений сигнала. Но выходом фильтра является не само усредненное значение, а ближайшее к среднему входное значение. Таким образом, фильтр выбирает наиболее «подходящее» значение из нескольких последних. Медианный фильтр не формирует плавные изменения и используется в случаях, когда важно сохранить крутизну фронтов сигнала.

Для того чтобы найти значение скользящей медианы в точке t , необходимо вычислить медиану значений ряда в интервале времени $[t-v, t+v]$. Полученное значение называется $(2v+1)$ - точечной скользящей медианой.

Если момент времени t отстоит от начала или конца временного ряда менее чем на v точек, то соответственно вычисление $(2v+1)$ - точечной скользящей медианы становится невозможным. Чтобы не сужать область определения сглаженного временного ряда, вычисляется значение скользящей медианы меньшего порядка [42].

Исследования данного метода не рассматривается, так как метод хорошо подавляет короткие (в сравнении с шириной фильтра) импульсы, но плохо справляется с шумами, которые присутствуют в сигнале, снимаемом с датчика. Основным достоинством медианного сглаживания является устойчивость к наличию выбросов.

Проведем серию экспериментов метода экспоненциального сглаживания для нескольких значений γ , с целью определения наилучшего значения константы. Величина рабочего зазора и ширина подвижного объекта без изменений.

Листинг программы экспоненциального сглаживания на языке FBD в программном пакете Step7 представлен ниже.

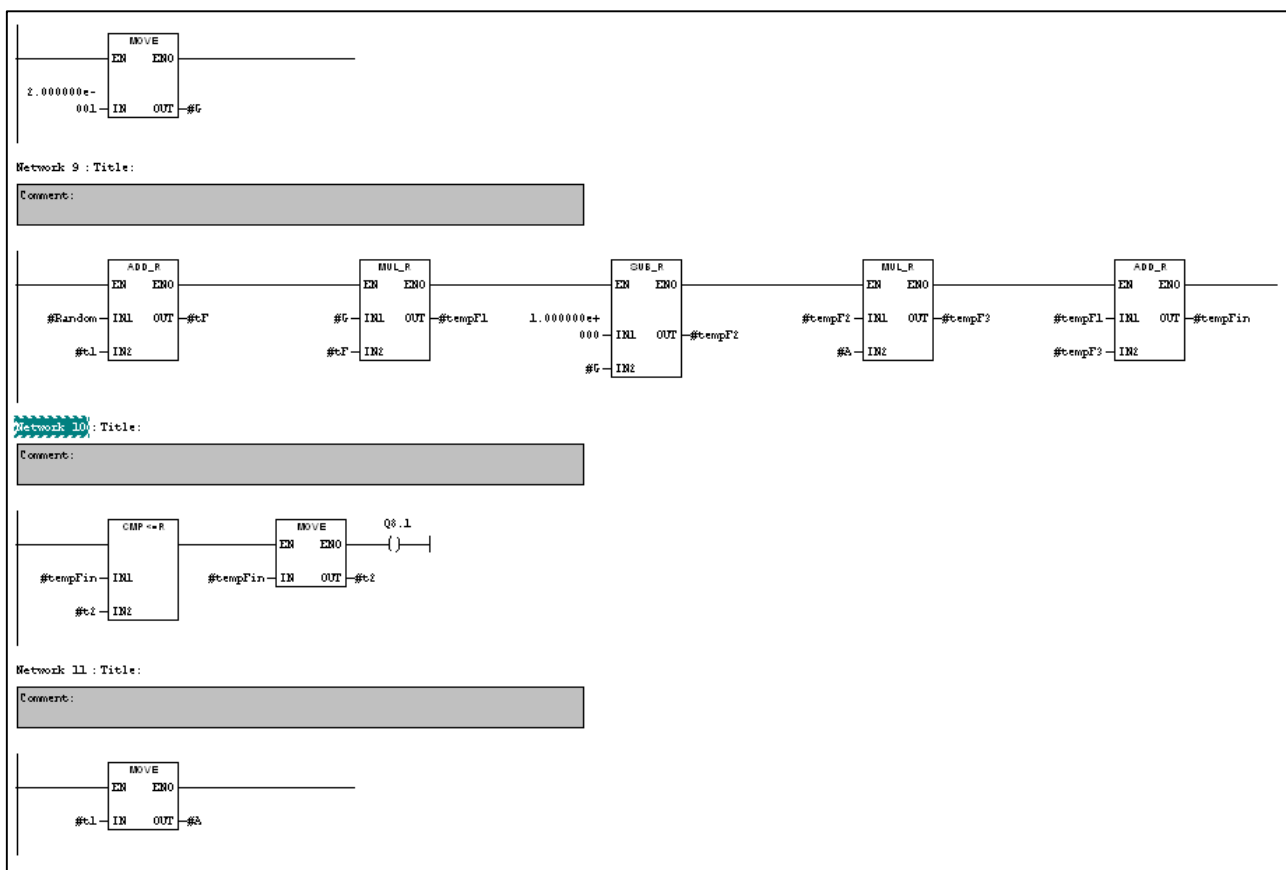


Рисунок 33 - Листинг программы поиска экстремума методом экспоненциального сглаживания

Программа реализует метод экспоненциального сглаживания. Кроме того, в данной программе реализованы алгоритмы управления ДПТ аналогичные используемым в п. 3.3.3. Результаты экспериментов представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты метода экспоненциального сглаживания

Скорость движения, V [см/с]	Скорость движения, V [м/с]	Кинетическая энергия, Ек [Дж]	Экстремум функции, Xmin [мА]			Величина ошибки позиционирования, Δ[см]		
			$\gamma = 0,2$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 0,8$	$\gamma = 0,2$	$\gamma = 0,5$	$\gamma = 0,8$
0,41	0,0041	$8,41 \cdot 10^{-8}$	1,3796	1,3796	1,3797	0,0031	0,0031	0,0142
1,12	0,0112	$6,27 \cdot 10^{-7}$	1,3797	1,3798	1,3799	0,0120	0,0131	0,6548
2,37	0,0237	$2,81 \cdot 10^{-6}$	1,3800	1,3812	1,3832	0,2997	0,3275	1,5814
5,68	0,0568	$1,61 \cdot 10^{-5}$	1,3809	1,3824	1,4041	1,8596	1,4258	3,4514
10,87	0,1087	$5,91 \cdot 10^{-5}$	1,3831	1,4098	1,4278	3,1435	3,9412	4,8769
18,29	0,1829	$1,67 \cdot 10^{-4}$	1,4187	1,4256	1,5045	4,6471	4,9768	5,2476
25,96	0,2596	$3,37 \cdot 10^{-4}$	1,4514	1,5013	1,6087	5,4518	5,7542	5,9987
29,15	0,2915	$4,25 \cdot 10^{-4}$	1,5276	1,5902	1,6524	5,8469	6,0125	6,4351

Построим графики полученных результатов исследования методом экспоненциального сглаживания.

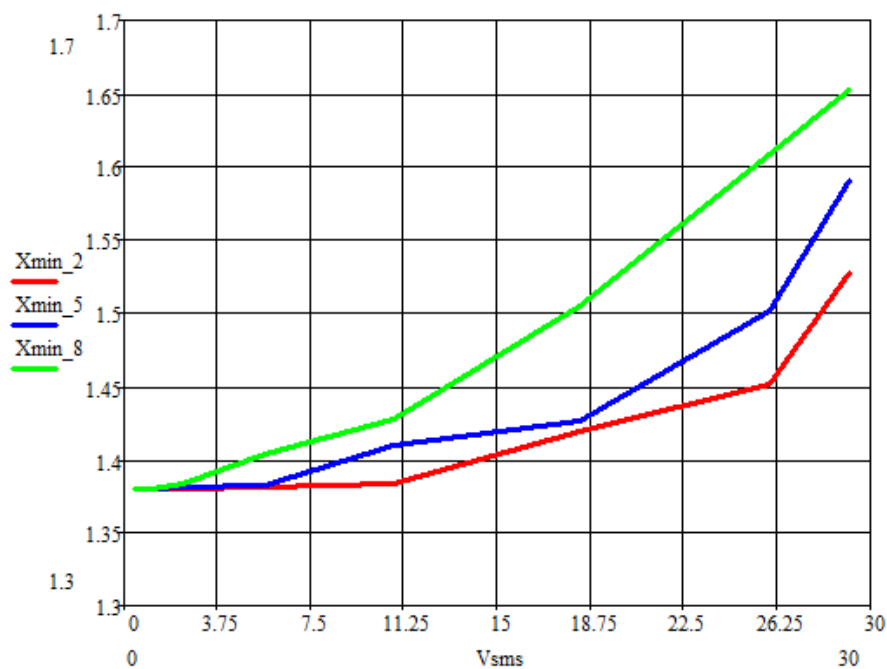


Рисунок 34 – Экстремум функции при $\gamma = [0,2; 0,5; 0,8]$

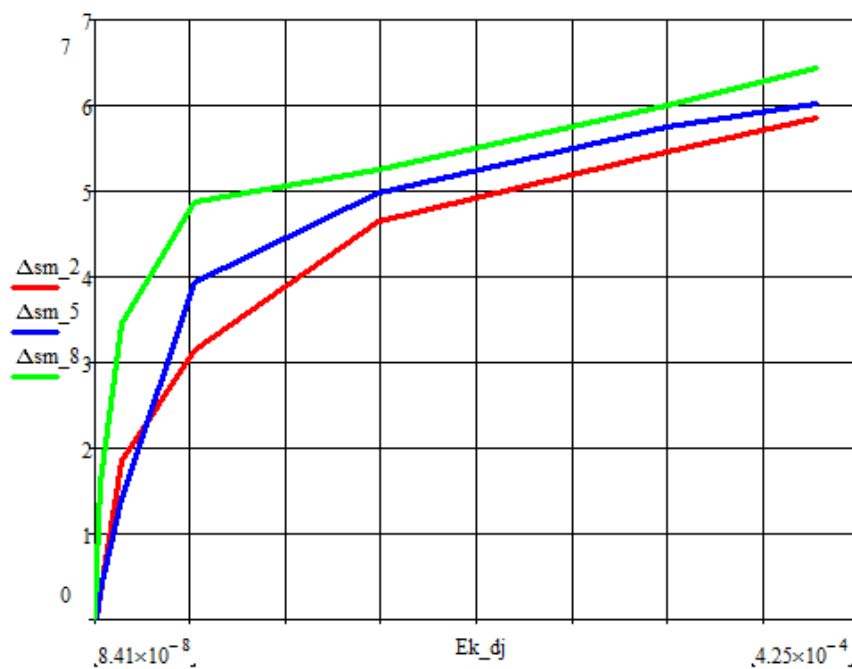
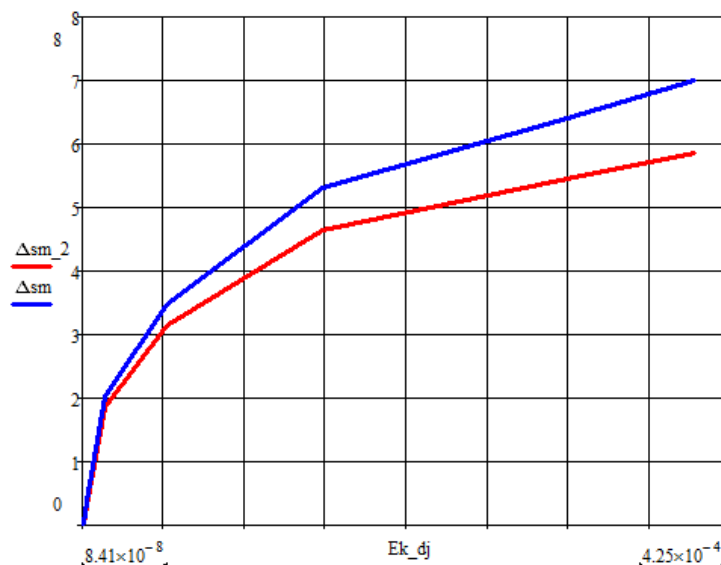


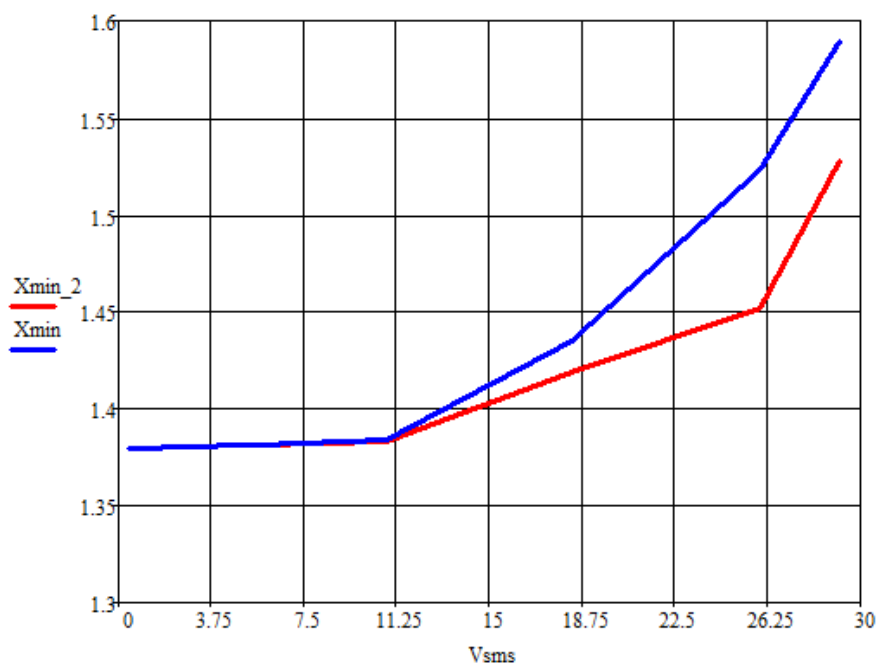
Рисунок 35 – Ошибка позиционирования при $\gamma = [0,2; 0,5; 0,8]$

Из полученных результатов можно сделать вывод о том, что с ростом γ точность поиска экстремума функции снижается и возрастает ошибка позиционирования подвижного объекта. Наилучшим значением γ является $\gamma = 0,2$.

Рассмотрим в сравнении метод экспоненциального сглаживания и метод перебора. Построим графики при оптимальном γ .



а) Ошибка позиционирования



б) Экстремум функции

Рисунок 36 – Сравнение метода экспоненциального сглаживания и метода перебора

Из полученных результатов можно сделать вывод о том, что метод экспоненциального сглаживания дает лучшие показатели работы системы, в частности меньшую ошибку позиционирования, нежели метод перебора. Это связано с тем, что за счет использования метода экспоненциального сглаживания выполняется усреднение реальных получаемых значений функции и, как

следствие, устранение влияющих помех - локальных минимумов зашумленного сигнала.

Проведем серию экспериментов метода взвешенного скользящего среднего для нескольких значений ширины окна N. Величина рабочего зазора и ширина подвижного объекта без изменений. Листинг программы на языке FBD в программном пакете Step7 представлен ниже.

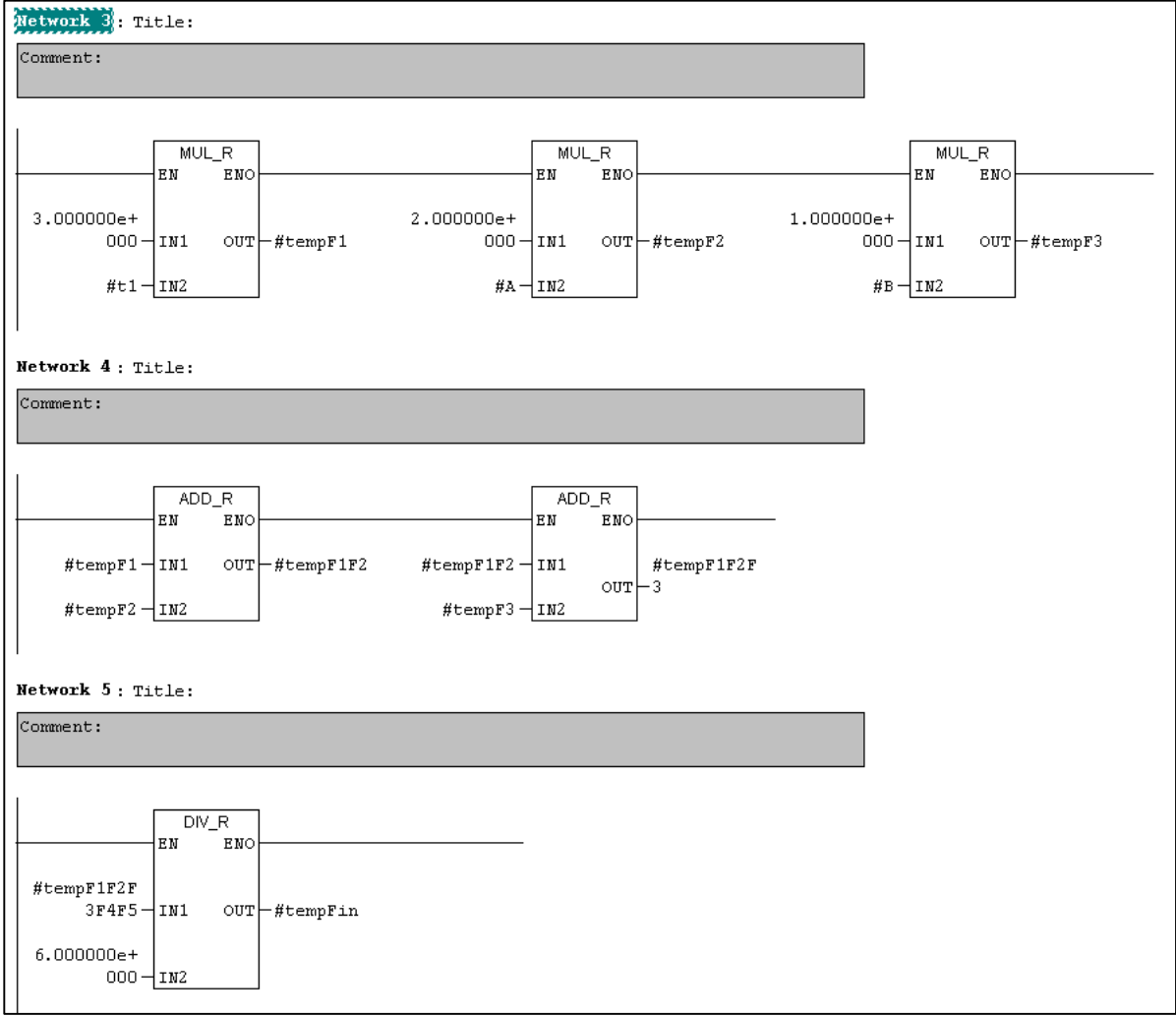


Рисунок 37 - Листинг программы поиска экстремума взвешенного скользящего среднего для ширины окна N = 3

Программа реализует метод взвешенного скользящего среднего и алгоритм управления ДПТ. Результаты экспериментов представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты метода взвешенного скользящего среднего

Скорость движения, V [см/с]	Скорость движения, V [м/с]	Кинетическая энергия, Ек [Дж]	Экстремум функции, Xmin [мА]			Величина ошибки позиционирования, Δ[см]		
			N = 3	N = 5	N = 7	N = 3	N = 5	N = 7
0,41	0,0041	$8,41 \cdot 10^{-8}$	1,3796	1,3796	1,3796	0,0031	0,0031	0,0138
1,12	0,0112	$6,27 \cdot 10^{-7}$	1,3798	1,3796	1,3798	0,0118	0,0112	0,5487
2,37	0,0237	$2,81 \cdot 10^{-6}$	1,3898	1,3797	1,3912	0,2732	0,2145	1,2341
5,68	0,0568	$1,61 \cdot 10^{-5}$	1,3958	1,3799	1,4154	1,8147	1,4258	2,6842
10,87	0,1087	$5,91 \cdot 10^{-5}$	1,4014	1,3820	1,4241	3,0961	2,9143	4,1241
18,29	0,1829	$1,67 \cdot 10^{-4}$	1,4387	1,3961	1,4922	4,5894	4,2452	5,2476
25,96	0,2596	$3,37 \cdot 10^{-4}$	1,4642	1,4247	1,5564	5,2245	4,8649	5,5478
29,15	0,2915	$4,25 \cdot 10^{-4}$	1,5184	1,4821	1,5941	5,8142	5,4958	6,1425

Построим графики полученных результатов исследования методом взвешенного скользящего среднего.

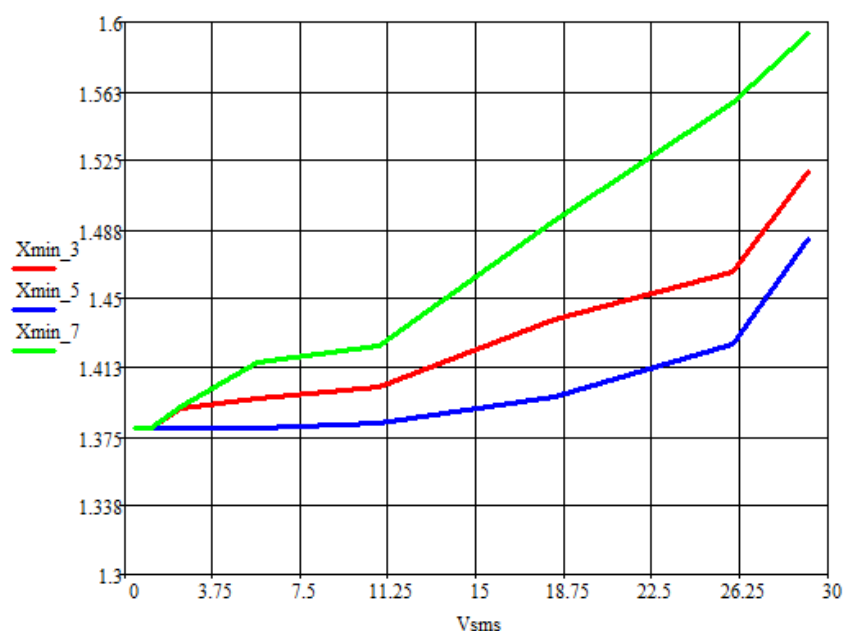


Рисунок 38 – Экстремум функции при N = [3; 5; 7]

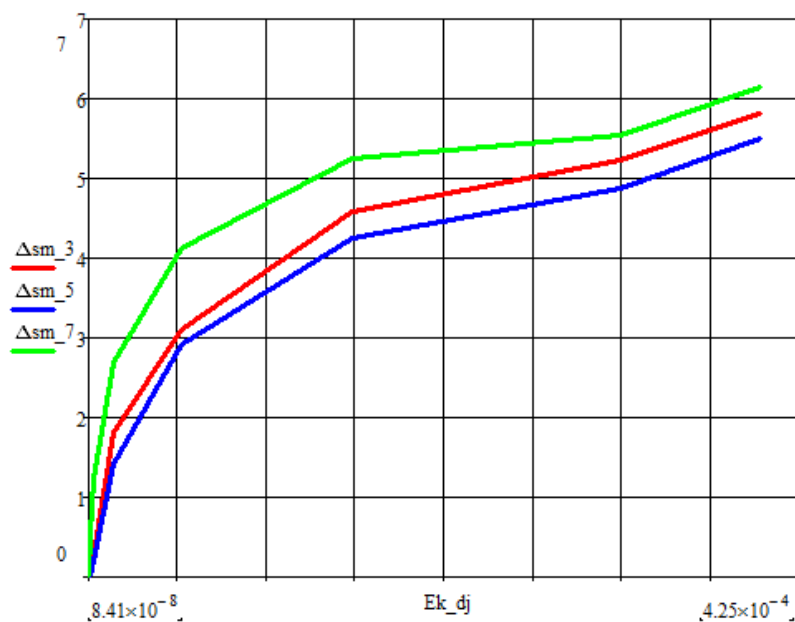
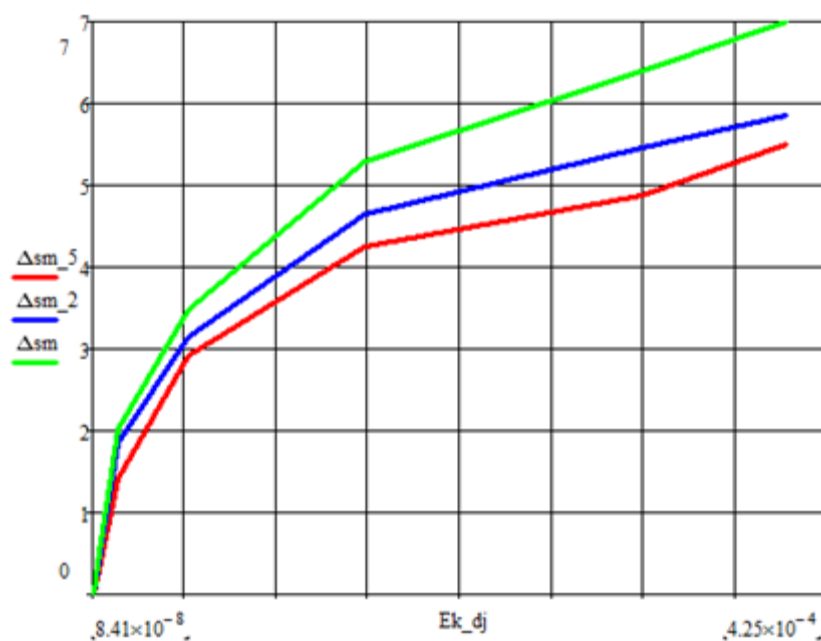


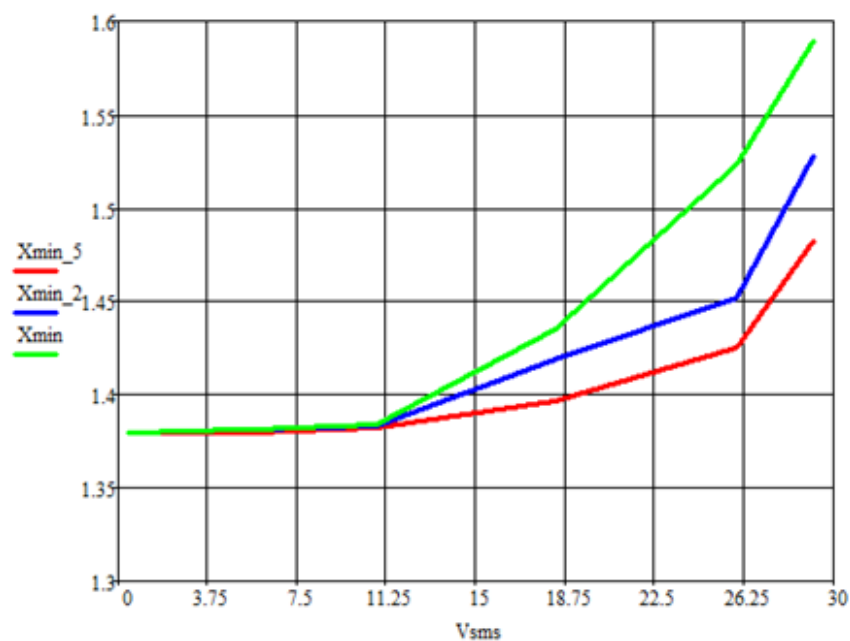
Рисунок 39 – Ошибка позиционирования при $N = [3; 5; 7]$

Из полученных результатов можно сделать вывод о том, что с оптимальная ширина окна $N=5$. При этом ошибка поиска экстремума функции и ошибка позиционирования подвижного объекта ниже чем при другой ширине окна выборки.

Проведем сравнение исследованных выше методов взвешенного скользящего среднего, экспоненциального сглаживания и перебора.



а) Ошибка позиционирования



б) Экстремум функции

Рисунок 40 – Сравнение методов взвешенного скользящего среднего, экспоненциального сглаживания и перебора

Сравнивая полученные результаты исследования можно сделать вывод о том, что метод взвешенного скользящего среднего при $N=5$ дает лучшие показатели работы системы, в частности меньшую ошибку позиционирования.

4 Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Поэтому оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Коммерческая привлекательность научного исследования определяется, во-первых, превышением технических параметров над предыдущими разработками, во-вторых, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Таким образом, можно утверждать что целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения [43].

4.1 Определение себестоимости разработки системы позиционирования движущегося объекта

Цена разработки данной системы включает в себя:

- основные материалы;
- электроэнергию на технологические цели;

- оплату труда;
- отчисления на социальные нужды;
- амортизационные отчисления;
- прочие расходы.

4.1.1 Расчет материальных затрат

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта.

В материальные затраты включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_{\text{м}} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (9)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования [44];

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 12 – Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.		Количество		Сумма, руб.	
	1исп	2исп	1исп	2исп	1исп	2исп
Бумага для принтера формата А4	200	200	2 уп.	2 уп.	400	400
Ручка шариковая	25	25	6 шт.	6 шт.	150	150
Карандаш	15	15	2 шт.	2 шт.	30	30
Итого:					580	

Расходы на материалы составили: $З_{\text{м}} 1,2=580$ рублей.

4.2 Затраты по основной заработной плате исполнителей темы

4.2.1 Определение трудоемкости выполнения работ основными исполнителями темы.

Для расчета затрат на оплату труда на этапе проектирования необходимо сначала определить продолжительность каждой работы (начиная с составления технического задания (ТЗ) и до оформления документации включительно). Продолжительность работ ($t_{ож}$) определяется либо по нормативам (с использованием специальных справочников) для каждого исполнителя в отдельности, либо расчетом с помощью экспертных оценок по формуле (10).

$$t_{ож} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5}, \quad (10)$$

где t_{min} - минимальная трудоемкость работ, ч.-дн.;

t_{max} - максимальная трудоемкость работ, ч.-дн.

Для выполнения перечисленных в таблице 2 работ требуются специалисты:

- инженер;
- научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ведется по формуле (11).

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad (11)$$

где $t_{ож}$ – трудоемкость работы, чел/дн.;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ, равный единице;

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ($K_{Д} = 1.2$).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле (12) [45].

$$T_{\text{КД}} = T_{\text{РД}} \cdot T_{\text{К}} \quad (12)$$

где $T_{\text{РД}}$ – продолжительность выполнения этапа в рабочих днях;
 $T_{\text{КД}}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;
 $T_{\text{К}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле (13).

$$T_{\text{К}} = \frac{T_{\text{КАЛ}}}{T_{\text{КАЛ}} - T_{\text{ВД}} - T_{\text{ПД}}}, \quad (13)$$

где $T_{\text{КАЛ}}$ – календарные дни ($T_{\text{КАЛ}} = 366$);

$T_{\text{ВД}}$ – выходные дни ($T_{\text{ВД}} = 52$);

$T_{\text{ПД}}$ – праздничные дни ($T_{\text{ПД}} = 12$).

Таким образом по формуле (13) $T_{\text{К}} = 1,212$.

В таблице 13 приведены длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе.

Таблица 13 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка задачи	НР	НР – 100%
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	НР – 100% И – 10%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 30% И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 50% И – 100%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 30% И – 100%
Проектирование структуры ПО	НР, И	НР – 30% И – 100%
Разработка ПО	НР, И	НР – 20% И – 100%
Тестирование ПО	НР, И	И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	НР, И	И – 100%
Оформление графического материала	НР, И	И – 100%
Подведение итогов	И	НР – 30% И – 100%

В таблице 14 определим трудозатраты на выполнение проекта.

Таблица 14 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнитель	Продолжительность работ, дни			Длительность работ, чел/дн.			
					T_{Pi}		T_K	
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
Постановка задачи	НР	3	5	3,8	4,56	–	5,53	–
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	2	4	2,8	0,34	3,36	0,41	4,07
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	10	13	11,2	4,03	13,44	4,88	16,28
Разработка календарного плана	НР, И	2	4	2,8	0,67	3,36	0,81	4,07
Обсуждение литературы	НР, И	2	4	2,8	1,01	3,36	1,22	4,07
Проектирование структуры ПО	НР, И	15	20	17	20,4	14,28	24,7 2	17,30
Разработка ПО	НР, И	12	15	13,2	7,92	15,84	9,60	19,19
Тестирование ПО	И	6	10	7,6	-	9,12	-	11,05
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	6	9	7,2	-	8,64	-	10,47
Оформление графического материала	И	2	5	3,2	-	3,84	-	4,65
Подведение итогов	НР, И	2	3	2,4	1,72	2,88	2,08	3,49
Итого:				74	40,65	78,12	49,2 7	94,68

На основе табл. 14 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу [56].

Таблица 15 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители		T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
					февр.		март			апрель			май			июнь	
					2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление ТЗ, постановка задачи	Руководитель	1исп	7													
			2исп	7													
2	Изучение и обсуждение литературы	<u>Руков.</u> <u>инж.</u>	1исп	21													
			2исп	21													
3	Экспериментальные исследования	<u>Руков.</u> <u>инж.</u>	1исп	15													
			2исп	20													
4	Обобщение и оценка результатов	<u>Руков.</u> <u>инж.</u>	1исп	20													
			2исп	20													
5	Проектирование и изготовление лабораторного стенда	<u>Руков.</u> <u>инж.</u>	1исп	14													
			2исп	15													
6	Оформление расчетно - пояснительной записки	Инженер (дипломник)	1исп	14													
			2исп	14													
7	Подведение итогов	<u>Руков.</u> <u>инж.</u>	1исп	8													
			2исп	8													



- руководитель



- инженер

4.2.2 Расчет заработной платы основных исполнителей проекта

Размер основной заработной платы устанавливается, исходя из численности исполнителей, трудоемкости и средней заработной платы за один рабочий день и рассчитывается по формуле (14).

$$ЗП_{\text{осн}} = \sum_{i=1}^n T_i \cdot СЗП \quad (14)$$

где n - количество участников в i -ой работе;

T_i - затраты труда (трудоемкость), необходимые для выполнения i -го вида работ, (дни);

СЗП - среднедневная заработная плата исполнителя, выполняющего i - ый вид работ, (руб./дней).

Среднедневная заработная плата рассчитывается как отношение месячного оклада к количеству рабочих дней в месяце.

Произведение трудоемкости на сумму дневной заработной платы определяет затраты по зарплате для каждого работника на все время разработки. Пример расчета основной заработной платы приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад (руб.)	Среднедневная заработная плата (руб./дн.)	Трудоемкость, раб. дн.	Основная заработная плата (руб.)
Руководитель	34 595,56	1572,5	50	78 625
Инженер	7 454,13	338,8	95	32 186
ИТОГО				110 811

4.2.3 Затраты по дополнительной заработной плате

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за

отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле (15):

$$З_{доп} = K_{доп} \cdot ЗП_{осн}, \quad (15)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Таким образом, по формуле (15) $З_{доп} = 11\,794$ руб. – для руководителя и $З_{доп} = 4\,828$ руб. – для инженера.

Итого, 16 622 руб.

4.2.4 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления органам государственного социального страхования (ФСС), Пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (федеральным (ФФОМС) и территориальным (ТФОМС)) от затрат на оплату труда работников, объединенные в форме единого социального платежа.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы (16):

$$З_{отч} = (ЗП_{осн} + ЗП_{доп}) \cdot 0,3, \quad (16)$$

где $k_{соц}$ – коэффициент, учитывающий социальные выплаты организации. В настоящее время $k_{соц} = 0,3$.

Итого, суммарные отчисления составят 38 230 руб.

4.2.5 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию при работе оборудования. Затраты на электроэнергию при работе оборудования для технологических целей рассчитываются по формуле (17):

$$\mathcal{E}_{\text{ОБ}} = P_{\text{ОБ}} \cdot \mathcal{C}_{\mathcal{E}} \cdot t_{\text{ОБ}}, \quad (17)$$

где $\mathcal{E}_{\text{ОБ}}$ – затраты на электроэнергию, потребляемую оборудованием, руб.;

$P_{\text{ОБ}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$\mathcal{C}_{\mathcal{E}}$ – тарифная цена за 1 кВт·час, $\mathcal{C}_{\mathcal{E}} = 5,257$ руб/кВт·ч;

$t_{\text{ОБ}}$ – время работы оборудования, час.

Время работы оборудования вычисляется на основе данных для $T_{\text{РД}}$ таблицы 3 для инженера из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле (18).

$$P_{\text{ОБ}} = P_{\text{УСТ.ОБ}} \cdot K_{\text{С}}, \quad (18)$$

где $P_{\text{УСТ.ОБ}}$ – установленная мощность оборудования, кВт;

$K_{\text{С}}$ – коэффициент спроса, зависящий от количества, загрузки групп электроприемников.

Для технологического оборудования малой мощности $K_{\text{С}} = 1$.

Затраты на электроэнергию для технологических целей приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Затраты на электроэнергию для технологических целей

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{ОБ}}$, час	Потребляемая мощность $P_{\text{ОБ}}$, кВт	Затраты $\mathcal{E}_{\text{ОБ}}$, руб.
Персональный компьютер	880	0,3	1388
Струйный принтер	30	0,1	16
Стенд для исследований	40	0,5	105
Итого:			1509

4.2.6 Расчет амортизационных расходов

Данная статья отражает сумму амортизационных отчислений на полное восстановление основных средств, используемых при реализации проекта. К амортизируемым основным фондам относится оборудование, стоимость которого выше 20000 рублей и срок эксплуатации более года. В противном случае оно включается в материальные расходы.

Амортизационные отчисления рассчитываются по формуле (19):

$$C_{\text{АМ}} = \frac{N_{\text{А}} \cdot C_{\text{ОБ}}}{F_{\text{Д}}} \cdot t_{\text{ВТ}} \cdot n, \quad (19)$$

где $N_{\text{А}}$ – годовая норма амортизации, $N_{\text{А}} = 50\%$;

$C_{\text{ОБ}}$ – цена оборудования, $C_{\text{ОБ}} = 40000$ руб.;

$F_{\text{Д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени, $F_{\text{Д}} = 2416$ часов;

$t_{\text{ВТ}}$ – время работы вычислительной техники при создании программного продукта, $t_{\text{ВТ}} = 504$ часа;

n – число задействованных ПЭВМ, $n = 1$.

Затраты на амортизационные отчисления для ПК составили:

$$C_{\text{ам}} = \frac{0,50 \cdot 40000 \cdot 504}{2416} = 4172,2 \text{ руб.}$$

Затраты на амортизационные отчисления для контроллера Siemens составили:

$$C_{\text{ам}} = \frac{0,50 \cdot 50000 \cdot 504}{2416} = 5215,2 \text{ руб}$$

Итого, затраты на амортизационные отчисления составили 9387,4 руб.

4.2.7 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и

телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле (20):

$$З_{накл} = (ЗП_{осн} + ЗП_{доп} + З_{отч}) \cdot k_{нр}, \quad (20)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Причем $k_{нр}=0,5$.

Следовательно, $З_{накл} = 82\,832$ руб.

Подсчитаем величину себестоимости разработанной системы. Величина себестоимости системы является основой для обоснования ее цены, которая при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела цены на научно-техническую продукцию. Произведем расчет себе стоимости и оформим результаты в таблицу 18 [47].

Таблица 18 – Расчет себестоимости разработки системы навигации на базе акселерометра

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты	580
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	110 811
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	16 622
Затраты на электроэнергию для технологических целей	1867
Отчисления во внебюджетные фонды	38 230
Амортизация основных средств	9 388
Накладные расходы	82 832
Себестоимость проекта	260 330

4.2.8 Полная смета затрат на выполнение разработки

4.2.8.1 Прибыль

Прибыль составляет 52 066 рублей (20 %) от расходов на разработку.

4.2.8.2 НДС

НДС составляет 18% от суммы затрат на разработку. Сумма НДС составила 46 859 руб.

Полная смета затрат приведена в таблице 19.

Таблица 19 – Полная смета затрат

Наименование статьи	Затраты, руб.
Материальные затраты	580
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	110 811
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	16 622
Затраты на электроэнергию для технологических целей	1867
Отчисления во внебюджетные фонды	38 230
Амортизация основных средств	9 388
Накладные расходы	82 832
Общая себестоимость проекта	260 330
Прибыль	52 066
НДС	46 859
Цена разработки	3595

4.3 Оценка эффективности от внедрения разработки

Экономический эффект данной работы выражен, во-первых, в снижении стоимости отдельных технических компонентов системы позиционирования.

Подобные системы применяются в различных областях, например, в системах поточной сборки металлических деталей различного рода машин и аппаратов, при этом степень влияния разрабатываемых методов позиционирования довольно высока. Так как методы разрабатываются универсальные как для бюджетных, так и для дорогостоящих систем, можно утверждать, что использование данного метода в совокупности с менее дорогостоящими техническими компонентами (индуктивными преобразователями перемещения) влечет за собой удешевление всей системы в

целом. Поэтому одним из результатов возможного внедрения данных методов является экономия средств и ресурсов предприятия.

Во-вторых, стоит отметить точность и надежность применения данных методов для работы системы позиционирования, в сравнении с существующими аналогами. Соответственно, можно говорить о минимизации сопутствующих с этими факторами ошибок работы, и уменьшении времени технологического процесса, что в свою очередь отражается на эффективности работы.

5. Социальная ответственность

5.1 Профессиональная социальная безопасность

При исследовании работы индуктивного преобразователя перемещения, работа выполняется на компьютере, состоящего из системного блока и монитора, Работа производится сидя, при небольшом физическом напряжении. Рабочее место представляет собой компьютерный стол с персональным компьютером и принтером.

На основании вышеперечисленного, можно выделить следующие физические факторы, влияющие на здоровье человека: длительное неизменное положение тела, напряжение глаз, воздействие электромагнитных и электростатических полей (ЭМП и ЭСП).

В связи с этим в данной работе будет разработан комплекс мероприятий, который позволит свести к минимуму или ликвидировать негативные влияния факторов, возникающие при исследовании индуктивного преобразователя перемещения [48].

5.1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования

При исследовании работы индуктивного преобразователя перемещения, на организм влияет целый ряд негативных факторов, а именно:

Таблица 20 – Опасные и вредные факторы при исследовании ИПП

Источник фактора	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Персональный компьютер	1. Отклонение параметров микроклимата; 2. Недостаточная освещённость рабочего места;	Электрический ток	ГОСТ 12.0.003-74; СанПиН 2.2.4-548-96 [2]; СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [3];

Продолжение таблицы 20

	3. Повышенный уровень шума на рабочем месте; 4. Повышенная напряженность магнитного поля.		ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ [4]; СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [1].
--	--	--	---

5.1.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

При исследовании работы индуктивного преобразователя перемещения могут негативно действовать следующие физические факторы:

- пониженная и повышенная температура воздуха;
- недостаточная освещенность рабочего места;
- опасность поражения электрическим током;
- превышающий допустимые нормы шум;
- недостаточная яркость экрана дисплея;
- повышенный уровень электромагнитных полей.

К химически опасным факторам, при проведении данного исследования, действующим на исследователя относятся следующие:

- возникновение активных частиц, в результате ионизации воздуха при работе компьютера.

Биологические вредные производственные факторы при проведении данного исследования отсутствуют.

К психологически вредным факторам, воздействующим на исследователя в течение времени исследования можно отнести следующие:

- умственное напряжение;
- нервно - эмоциональные перегрузки;
- перенапряжение зрительного анализатора.

Вредные проявления факторов рассматриваемой рабочей зоны выражаются в электромагнитном и электрическом излучениях (ЭМИ и ЭСИ).

Объясняется это тем, что ПК оснащают сетевыми фильтрами, источниками бесперебойного питания и другим оборудованием, что в совокупности формирует сложную электромагнитную обстановку на рабочем месте пользователя. Техногенные ЭМП приводят к следующему: появление головной боли, повышение температуры тела, ожоги, катаракты. Радиочастотное ЭМП влияет на нервную и сердечно – сосудистую системы [49].

Источником ЭСП является экран ПК и трение поверхности клавиатуры и компьютерной мыши. ЭСП может способствовать нарушению гормональной и иммунной систем.

Показатели ЭМИ и ЭСИ на рабочих местах с ПК представлены в таблице 21 [50].

Таблица 21 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПК

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

Микроклимат производственных помещений - это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха.

При работе с ПК должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата: температура воздуха, поверхностей, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха.

Лаборатория является помещением, относящимся к категории помещений, где выполняются легкие физические работы, поэтому должны соблюдаться следующие требования:

Таблица 22 – Оптимальные показатели микроклимата на рабочем месте производственных помещений для категории работ Ia

Период года	Температура воздуха, С	Температура поверхностей, С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22 – 24	21 – 25	60 – 40	0,1
Теплый	23 – 25	22 – 26	60 – 40	0,1

Важнейшим физическим фактором является освещенность производственного помещения в целом и рабочего места конкретно. С этой целью производят нормирование производственного освещения, поскольку такие показатели как: яркость дисплея экрана, частота обновления изображения, общая освещенность в рабочей зоне оказывают сильнейшее влияние на зрение работника.

Работа, выполняемая с использованием ПК, имеют следующие недостатки:

- отражение экрана.
- вероятность появления прямой блёскости;
- ухудшенная контрастность между изображением и фоном;

При выполнении работ категории высокой зрительной точности (наименьший размер объекта различения 0,3...0,5мм) величина коэффициента естественного освещения (КЕО) должна быть не ниже 1,5%, а при зрительной работе средней точности (наименьший размер объекта различения 0,5...1,0мм) КЕО должен быть не ниже 1,0%. В качестве источников искусственного освещения используются люминесцентные лампы типа ЛБ, которые попарно объединяются в светильники, которые должны располагаться над рабочими поверхностями равномерно [51].

Требования к освещенности в помещениях, где установлены компьютеры, следующие: при выполнении зрительных работ высокой точности общая освещенность должна составлять 300лк, а комбинированная - 750лк;

аналогичные требования при выполнении работ средней точности - 200 и 300лк соответственно.

При работе с ПК возникают акустические поля. Воздействие шума может привести к ухудшению слуха. Шумовое загрязнение среды на рабочем месте кроме того приводит к снижению внимания персонала, замедлению скорости психических реакций [52].

Источниками шумовых помех могут стать вентиляционные установки, кондиционеры, ЭВМ и его периферийные устройства. Длительное воздействие этих шумов отрицательно сказывается на эмоциональном состоянии персонала. Таблица 23 – Допустимый уровень звукового давления по видам трудовой деятельности[53]

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Научная деятельность в лаборатории для теоретических работ	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

5.1.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов

Для создания и поддержания в лаборатории оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года должно использоваться водяное отопление, а в теплое время года применяться кондиционирование воздуха.

На рабочем месте должно применяться также искусственное освещение помимо естественного, которое осуществляется системой общего равномерного освещения, а при работе с документами следует применять комбинированное

освещение. Кроме того, рабочий стол следует размещать таким образом, чтобы естественный свет падал слева.

Работа за компьютером относится к V зрительному разряду (работа малой точности).

Следовательно, требуемая освещенность помещения может быть обеспечена следующими типами ламп:

- люминесцентная лампа белого свечения (ЛБ) или холодного белого свечения (ЛХБ);
- металлогалогенная лампа (МГЛ);
- ртутная лампа высокого давления (ДРЛ);

На рабочем месте желательно применение комбинированной системы освещения: люминесцентные лампы типа ЛД. Люминесцентные лампы имеют ряд существенных преимуществ: излучаемый ими свет близок к дневному, естественному свету; обладают повышенной светоотдачей, имеют более длительный срок службы [54].

Согласно ГОСТ 12.1.003-83 эквивалентный уровень звука не должен превышать 50 дБА.

В качестве мер по снижению шума можно предложить следующее:

- облицовка потолка и стен звукопоглощающим материалом. Снижает шум на 6-8 дБ;
- рациональная планировка помещения.
- установка в компьютерных помещениях оборудования, производящего минимальный шум;
- экранирование рабочего места, путем постановкой перегородок, диафрагм;

Дисплеи должны проходить испытания на соответствие требованиям безопасности, например, международным стандартам MRP 2, TCO 99.

5.2. Экологическая безопасность

Работа с ПК не влечет за собой негативных воздействий на окружающую среду, поэтому создание санитарно-защитной зоны и принятие мер по защите атмосферы, гидросферы, литосферы не являются необходимыми.

Исключением являются лишь случаи утилизации персонального компьютера и индукционного преобразователя как твердого отхода и как следствие загрязнение почвы или выбросы в атмосферу загрязняющих веществ, углекислого газа, образование тепла в случае пожара.

При завершении срока службы ПК, его можно отнести к отходам электронной промышленности. Переработка таких отходов осуществляется разделением на однородные компоненты, химическим выделением пригодных для дальнейшего использования компонентов и направлением их для дальнейшего использования (например, кремний, алюминий, золото, серебро, редкие металлы) согласно [49]. Пластмассовые части ПК утилизируются при высокотемпературном нагреве без доступа воздуха.

Части компьютера, печатные платы, содержащие тяжелые металлы и замедлители горения могут при горении выделять опасные диоксиды. Поэтому для опасных отходов существуют специальные печи, позволяющие использовать теплоту сжигания. Но подобный способ утилизации является дорогостоящим, поэтому не стоит исключать вероятность образования токсичных выбросов.

Отходы, не подлежащие переработке и вторичному использованию, подлежат захоронению на полигонах или в почве. Предельно допустимые концентрации токсичных веществ в почве (ПДКп, мг/кг) должны быть соблюдены в соответствии с [49].

5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

Вероятной чрезвычайной ситуацией возникающей при проведении исследования индуктивного преобразователя перемещения является пожар.

При этом причинами возникновения пожара могут быть:

- неисправности электропроводки, розеток и выключателей которые могут привести к короткому замыканию или пробоем изоляции;
- использование поврежденных (неисправных) электроприборов;
- использование в помещении электронагревательных приборов с открытыми нагревательными элементами;
- возникновение пожара вследствие попадания молнии в здание;
- возгорание здания вследствие внешних воздействий;
- неаккуратное обращение с огнем и несоблюдение мер пожарной безопасности.

Пожарная профилактика представляет собой комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращении пожара, ограничение его распространения, а также создание условий для успешного тушения пожара. Для профилактики пожара чрезвычайно важна правильная оценка пожароопасности здания, определение опасных факторов и обоснование способов и средств пожар предупреждения и защиты.

Одно из условий обеспечения пожаробезопасности - ликвидация возможных источников воспламенения.

В целях предотвращения пожара предлагается проводить с инженерами, работающими в лаборатории, противопожарный инструктаж.

В лаборатории источниками воспламенения могут быть неисправное электрооборудование, неисправности в электропроводке, электрических розетках и выключателях.

Несоблюдение мер пожарной безопасности и курение в помещении также может привести к пожару. Поэтому курение в помещении лаборатории необходимо категорически запретить.

В случае возникновения пожара необходимо отключить электропитание, вызвать по телефону пожарную команду, эвакуировать людей из помещения согласно плану эвакуации и приступить к ликвидации пожара углекислотными огнетушителями.

При наличии небольшого очага пламени можно воспользоваться подручными средствами с целью прекращения доступа воздуха к объекту возгорания.

5.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Законодательство РФ об охране труда основывается на Конституции РФ и состоит из федерального закона, других федеральных законов и иных нормативных правовых актов субъектов РФ. Среди них можно выделить федеральный закон “Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний”.

За состоянием безопасности труда установлены строгие государственный, ведомственный и общественный надзор и контроль. Государственный надзор осуществляют специальные государственные органы и инспекции, которые в своей деятельности не зависят от администрации контролируемых предприятий. Это Прокуратура РФ, Федеральный горный и промышленный надзор России, Федеральный надзор России по ядерной и радиационной безопасности, Государственный энергетический надзор РФ, Государственный комитет санитарно-эпидемиологического надзора РФ (Госкомсанэпиднадзор России), Федеральная инспекция труда при Министерстве труда РФ; Министерство РФ по атомной энергии.

Контроль за состоянием условий труда на предприятиях осуществляют специально созданные службы охраны труда совместно с комитетом профсоюзов. Контроль за состоянием условий труда заключается в проверке состояния производственных условий для работающих, выявлении отклонений от требований безопасности, законодательства о труде, стандартов, правил и норм охраны труда, постановлений, директивных документов, а также проверке выполнения службами, подразделениями и отдельными группами своих обязанностей в области охраны труда. Этот контроль осуществляют должностные лица и специалисты, утвержденные приказом по административному подразделению. Ответственность за безопасность труда в целом по предприятию несут директор и главный инженер.

Ведомственные службы охраны труда совместно с комитетами профсоюзов разрабатывают инструкции по безопасности труда для различных профессий с учетом специфики работы, а также проводят инструктажи и обучение всех работающих правилам безопасной работы. Различают следующие виды инструктажа: вводный, первичный на рабочем месте, повторный внеплановый и текущий.

Результаты всех видов инструктажа заносят в специальные журналы. За нарушение всех видов законодательства по безопасности жизнедеятельности предусматривается следующая ответственность: дисциплинарная, административная, уголовная, материальная.

Рабочее место, хорошо приспособленное к трудовой деятельности работника, правильно и целесообразно организованное, в отношении пространства, формы, размера обеспечивает ему удобное положение при работе и высокую производительность труда при наименьшем физическом и психическом напряжении.

Рабочее место - это часть пространства, в котором работник осуществляет трудовую деятельность, и проводит большую часть рабочего времени.

Согласно ГОСТ 12.2.032-78 конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям [55].

Кроме того, стоит сократить время работы за компьютером, делать перерывы при 8-ми часовой смене.

Письменный стол и офисное кресло являются главными составляющими на рабочем месте. Основным рабочим положением является положение сидя. Поэтому для исключения возникновения заболеваний, связанных с малой подвижностью работника, необходимо иметь возможность свободной перемены поз.

Кроме того, необходимо соблюдать режим труда и отдыха с перерывами, заполняемыми “отвлекающими” мышечными нагрузками на те звенья опорно-двигательного аппарата, которые не включены в поддержание основной рабочей позы.

Рабочий стул должен быть снабжен подъемно-поворотным механизмом. Высота сиденья должна регулироваться в пределах (400 - 500) мм. Глубина сиденья должна составлять не менее 380 мм, а ширина - не менее 400 мм. Высота опорной поверхности спинки не менее 300 мм, ширина - не менее 380 мм. Угол наклона спинки стула к плоскости сиденья должен изменяться в пределах (90 – 110)°.

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы на тему «Индуктивный преобразователь перемещения в задаче позиционирования движущегося объекта» решены следующие задачи:

- проведён анализ средств и способов позиционирования движущихся объектов;
- изучены датчики перемещений, в том числе – индуктивный преобразователь перемещения, его типы, преимущества и основные характеристики.
- проведён анализ методы поиска экстремума в заранее известном массиве и реальном масштабе времени, приведены обоснования выбора метода поиска;
- спроектирован и смонтирован стенд для исследования;
- выполнены исследования чувствительности ИПП;
- выполнен сравнительный анализ методов поиска экстремума в реальном масштабе времени, в том числе в условиях помех.

Основываясь на полученных теоретических и экспериментальных результатах выполненной работы можно сделать несколько основных выводов:

- рабочий зазор между датчиком и движущимся объектом должен составлять $2,5 \pm 0,5$ мм, что гарантирует приемлемую чувствительность и физическую безопасность;
- ширина позиционируемого подвижного объекта должна отличаться не более чем на 5% от ширины рабочей плоскости датчика, что гарантирует наличие явного экстремума в характеристике датчика;
- скорость объекта может изменяться в зависимости от точности позиционирования.

Исследование методов позиционирования (поиска экстремума) показало, что использование метода взвешенного скользящего среднего дает наилучшие

показатели работы системы, чем другие методы (метод перебора и экспоненциального сглаживания) – меньшую ошибку позиционирования.

Разработанные рекомендации по выбору характеристик системы и методов позиционирования применимы к любым подобным системам, не требует специального аппаратного обеспечения и дополнительных финансовых затрат.

Список публикаций

1 Погадаев Е.А., Курганов В. В. Использование индуктивного преобразователя перемещения для решения задачи позиционирования движущегося объекта. // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 2 т., Томск, 12-14 Ноября 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - Т. 1 - С. 392-393.

2 Погадаев Е.А., Курганов В. В. Методы позиционирования движущегося объекта с применением индуктивного преобразователя перемещений. // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 2 т., Томск, 9-13 Ноября 2015. - Томск: ТПУ, 2016 - Т. 1 - С. 267-268.

3 Погадаев Е.А., Курганов В. В. Разработка системы позиционирования движущегося объекта с применением индуктивного преобразователя перемещения. // Материалы 54-ой Международной научной студенческой конференции МНСК-2016: Радиотехника, электроника, связь: Новосибирск, 16-20 Апреля 2016. – Новосибирск: НГТУ, 2016 – С. 32.

Список используемых источников

1. Исследование линейного измерительного преобразователя индукционного типа с плоскими многополюсными обмотками, Лузинский В.Т. Дис.:Москва, 2004. – 223 с.
2. Индуктивные датчики [Электронный ресурс]/URL: <http://www.wikipedia.org>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 10.04.2016).
3. Индуктивные датчики с аналоговым выходом [Электронный ресурс]/URL: <http://www.sensor.ru>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 14.04.2016).
4. Датчики [Электронный ресурс]/URL: <http://electrolibrary.info/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 14.04.2016).
5. Обзор существующих датчиков перемещения систем автоматического управления. Материалы II Всероссийской студенческой научной конференции «В мире научных открытий», посвящённой 70-летию ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина» / – Ульяновск:, УГСХА им. П.А. Столыпина, 2013, т. II, Ч.1. –292 с.
6. Индуктивные преобразователи перемещения. Методические указания. Курганов В.В. - Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 18 с.
7. Основы автоматики и вычислительной техники. Учебник для электротехнических специальностей техникумов, Гордин М.А., Митник Ю.Ш., Тарлинский В.А. - Москва. Изд-во Машиностроение. 1978. – 304 с.
8. Цифровые системы автоматизации и управления, Густав Олссон Санкт-петербург, 2001 г – 245 с.
9. Емкостные датчики [Электронный ресурс] / URL: <http://electricalschool.info/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 10.04.2016).
10. Емкостные датчики [Электронный ресурс] / URL: <http://www.malahit-irk.ru/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 10.04.2016).

11. Датчики линейных перемещений [Электронный ресурс] / URL: <http://www.sensor-systems.ru/свободный>. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 15.04.2016).

12. Обзор методов измерения малых перемещений в приложении системы автоматического регулирования Материалы конференции «НАУЧНОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ», 2013, том 23, № 2, с. 27–37

13. Оптический преобразователь перемещения [Электронный ресурс] / URL: <http://electricalschool.info/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 13.04.2016).

14. Оптоэлектронные преобразователи линейных перемещений [Электронный ресурс] / URL: <http://www.skbis.ru/свободный>. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 17.04.2016).

15. Оптико-электронные преобразователи линейных и угловых перемещений. Учебное пособие, Часть 1. В.В. Коротаев, А.В.Прокофьев, А.Н. Тимофеев/ СПб: НИУ ИТМО, 2012. – 114 стр.

16. Ультразвуковой преобразователь перемещения [Электронный ресурс] / URL: <http://electricalschool.info/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 13.04.2016).

17. Ультразвуковые датчики для измерения расстояния/перемещения [Электронный ресурс] / URL: <http://rusautomation.ru//свободный>. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 17.04.2016).

18. Магниторезистивные датчики перемещения [Электронный ресурс] / URL: <http://electricalschool.info/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 14.04.2016).

19. Магниторезистивные датчики [Электронный ресурс] / URL: <http://www.micronika.ru/свободный>. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 17.04.2016).

20. Магниторезистивные датчики [Электронный ресурс] / URL: <http://www.sensorica.ru/свободный>. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 17.04.2016).

21. Потенциометрические датчики перемещения [Электронный ресурс] / URL: <http://electricalschool.info/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 16.04.2016).
22. Основы электротехники. Касаткин А. С. - М: Высшая школа, 1986. – 240 с.;
23. Электромеханические устройства систем управления [Электронный ресурс]/URL: <http://www.studmed.ru>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 10.04.2014 г.
24. Бесконтактные датчики положения. Проблемы выбора и практика применения, Криворученко А.А, Журнал «Компоненты и технологии» №1, 2005. - 58 с.
25. Электромеханические устройства систем управления [Электронный ресурс]/URL: <http://www.studmed.ru>, свободный. – Загл. С экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 10.04.2014 г.
26. Цифровые измерительные системы корреляционного типа / А. Н. Мелик-Шахназаров, М. Г. Маркатун. — М. Энергоатомиздат, 1985. — 129 с.
27. Измерительные информационные системы: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г. Г. Раннев. — М. Издательский центр «Академия», 2010. — 336 с.
28. Погадаев Е.А., Курганов В.В. Использование индуктивного преобразователя перемещения для решения задачи позиционирования движущегося объекта //Молодежь и современные информационные технологии. Сборник трудов XII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск. - 2014. - С. 392 -393.
29. Курганов В.В. Индуктивные преобразователи перемещения // Методические указания. - Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – С. 4-18.
30. Кочегурова Е.А. Теория и методы оптимизации // Томский политехнический университет. - Томск. - 2012. - С. 24-38.

31. Исследование линейного измерительного преобразователя индукционного типа с плоскими многополюсными обмотками, Лузинский В.Т. Дис.:Москва, 2004. – 223 с.

32. Основы электротехники. Касаткин А. С. - М: Высшая школа, 1986. – 240 с.;

33. Электромеханические устройства систем управления [Электронный ресурс]/URL: <http://www.studmed.ru>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. Дата обращения: 20.02.2016 г.

34. Измерительные информационные системы: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г. Г. Раннев. — М. Издательский центр «Академия», 2010. — 336 с.

35. Панин В.Ф., Сечин А.И., Федосова В.Д. Экология для инженера://под ред. Проф. В.Ф. Панина. – М: Изд. Дом «Ноосфера», 2000. – 284с.

36. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / О.Б. Назаренко, Ю.А. Амелькович; Томский политехнический университет. - 3-е изд., перераб. И доп. - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2013. - 178 с.

37. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно – эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно – вычислительным машинам и организации работы»

38. Лабораторный практикум по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» для студентов всех специальностей: учебное пособие/Амелькович Ю.А., Анищенко Ю.В., А. Н. Вторушина, М. В. Гуляев, М. Э. Гусельников, А. Г. Дашковский, Т. А. Задорожная, В. Н. Извеков, А. Г. Кагиров, К. М. Костырев, В. Ф. Панин, А. М. Плахов, С. В. Романенко. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 236с.

39. СНиП 23 – 05 – 95* «Естественное и искусственное освещение» (с изменением N 1) [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно – технической документации.

40. ГОСТ 12.1.003-83. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.

41. СанПиН 11 – 12 – 77. Санитарные правила и нормы «Защита от шума. Нормы проектирования».

42. ФЗ "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации.

43. ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.99 М 96-ФЗ [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации.

44. В.М.Нагорный, Г.М.Федоров. Организация работы комиссии по чрезвычайным ситуациям объекта / Под ред. В.В. Шевченко. - [Электронный ресурс].

45. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования

Приложение А
(обязательное)

Part 2
Research question and methods

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8АМ41	Погадаев Егор Андреевич		

Консультант кафедры АИКС:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент каф. АиКС	Ефремов А.А.	-		

Консультант – лингвист кафедры ИЯИК:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший пред. каф. ИЯ ИК	Логинова А.В.	-		

2 Research question and methods

Linear displacement transducers are designed to communicate data on the situation between an object and a positionable control device or for indicating.

The problem of the technological process object positioning can be solved by different types of displacement transducers. One of these is an inductive displacement transducer (IDT). In this converter there are analogs, e.g., capacitive and inductive. Consider the details use IDT and its analogues.

2.1 IDT operating principles overview

The inductive displacement transducer is a device designed to determine the magnitude of an object angular or linear mechanical displacement. Of course, these devices have a tremendous number of practical applications in a variety of areas, so there are many types of displacement sensors, which vary according to the operating principle, accuracy, price and other parameters.

It should be noted that all IDTs could be divided into two main categories - linear encoders and angular displacement sensors (encoders). In the present study will focus on exactly linear encoder.

There are different displacement sensor principles:

- inductive;
- capacitive;
- optical;
- eddy current;
- ultrasound;
- magnetoresistive;
- potentiometric;
- magnetostrictive;
- based on Hall effect.

2.1.1 Inductive displacement transducer

IDT is a transducer, which converts the value of the measured displacement into an inductance value.

An inductance L (or self-inductance coefficient) is a proportionality coefficient between an electric current I that is current in any closed contour, and a magnetic flux F generated by this current through a surface bounded by that contour [1].

$$\Phi = LI \quad (1)$$

A constructively inductive transducer is one or more coils with an iron core coil and an armature coil that is separated from the core by an air gap. When moving the armature, which is associated to the movable measuring device system, measuring device changes the overlap areas or the air gap, which consequently leads to a change in the inductance coil. Here the current value that flows through the coil varies in proportion to the armature movement. There are two versions of IDT, the first - with a normally open contact, the second - with a normally closed one.

Figure 1 shows a simple inductive transducer that has a normally closed contact.

A coil (4) of coils (w_1) is located on a rolling magnetic core transducer (2). The transducer has a movable magnetic core 1. Magnetic cores made of a ferromagnetic material. The milliamperemeter 3 is connected with the winding 3 in series. AC voltage is applied to the ends of the windings $U_{\sim} = \text{const}$.

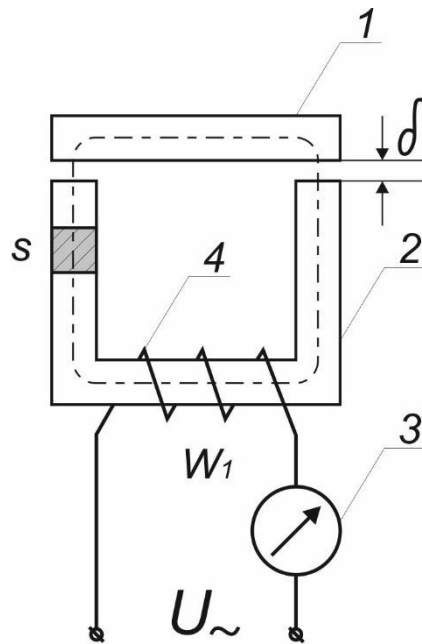


Fig. 1 - Simple inductive transducer

This configuration has a simple circuit, and it is useful only in those cases, where there is slight displacement or vibration of objects, consisting of a ferromagnetic material.

The ideal characteristic of the sensor is as follows.

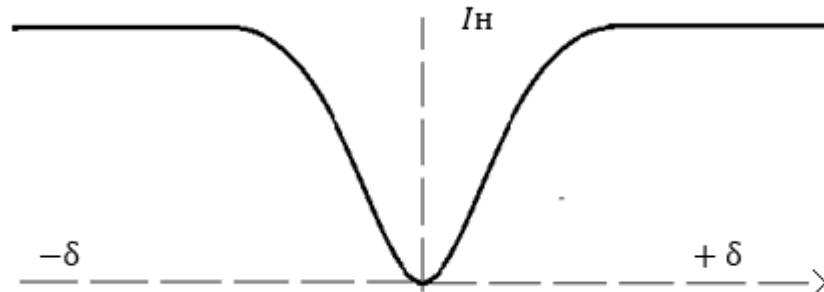


Fig. 2 - IDT output

The dependence of changing the output signal by an overlapping area of a moving object sensing the sensor surface area is also visible on this characteristic.

Advantages:

- no mechanical wear, no failures related to the state of contacts;
- there is no contact bounce and false positives;
- resistant to mechanical influences.

Disadvantages:

- relatively low sensitivity;
- the inductive reactance is frequency dependent of the supply voltage;
- significant return influence on the sensor measured value

2.1.2 Capacitive displacement transducer

Capacitive sensors are a parametric transducer type, in which the change of the measured value is converted into a change in capacitance.

The basis of this sensor type is an interconnection of the capacitor with its geometrical configuration. In a simple case, we are talking about changing the distance between the plates due to the external physical impact (Fig. 3).

Since the capacitor change in inverse proportion to the magnitude of the gap between the plates, the definition of capacitance allows us to calculate the distance

between the plates. Changes in capacitance can be fixed in various ways (for example by measuring its impedance), but in any case it should be included in capacitor circuit.

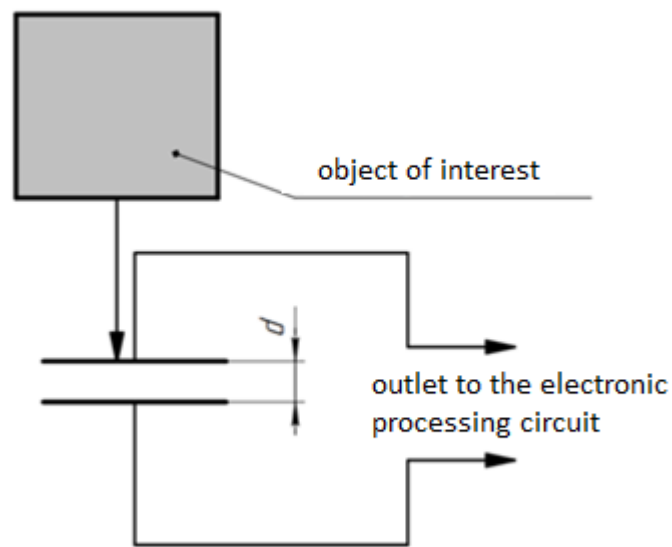


Fig. 3 - Capacitive linear displacement sensor with the changing gap size

Another circuit where the output parameter is the capacitance is a circuit comprising a capacitor with a movable dielectric (Fig. 4).

Moving the dielectric plate between the capacitor plates also causes a change in its capacity. The plate may be mechanically coupled to an object of interest when the capacity change indicates the moving object. Also, if the object itself has dielectric properties and it has the appropriate dimensions - it can be used directly as a dielectric medium in the capacitor.

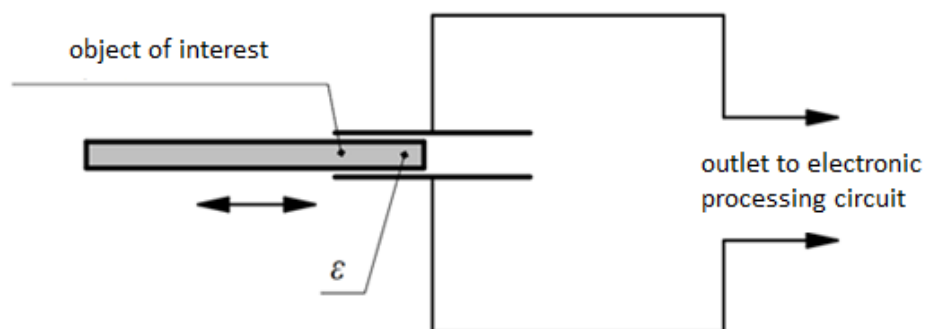


Fig. 4 - Capacitive linear displacement sensor with a movable dielectric

Capacitive transducers can be used to measure different quantities in three ways, depends on the functional relationship between the measured non-electrical quantities and the following parameters:

- varying dielectric of the medium ϵ ;
- overlapping area of the plates S ;
- changing the distance between the plates d .

Capacitive linear displacement sensors are the most common devices widely used in mechanical engineering and transport, construction and energy, different measurement systems.

Capacitive transducers have relatively small dimensions and are characterized by negligible friction forces and the opposition. Thus, they are suitable to design sensors for all required nominal forces. Capacitive transducers are used in the measurement of forces and reducible to them values and movements, especially of small and ultra-small.

Non-electric quantities that need to be measured and controlled, are many and varied. Most of them constitute linear and angular displacements. Based on the capacitor at which a uniform electric field in the working gap can be developed constructions capacitive displacement sensors of two basic types:

- with variable-area electrodes;
- with variable gap between electrodes.

It is obvious that the former are more suitable to measure large displacements (units, tens and hundreds of millimeters), and the second - to measure small and micro movements (millimeter, micrometer or less).

2.1.3 Optical displacement transducer

Optical sensors are the fastest developing trend in modern sensorics, associated with discoveries and achievements in the field of optoelectronics and optical perfection technology. Industrial development of crystalline nano-heterostructures level to make available high-speed laser diodes, the cost of which decreases with increasing mass production accordingly, the use of lasers in sensorics capability increases as the optical sensors. Increasing features of the sensor depends on the application a multi-segment

photocells (PSD file), the matrix (CMOS PDCC). These features are implemented, for example, distance and displacement sensors with different high speed and high (1 micron) resolution.

In order for accurately determine the position of the object at great distance with the help of a non-contact method, you must use the optical position sensors or, as they are called, photoelectric sensors. For inductive displacement sensors need to know the material of the moving object, and photoelectric sensors detect objects made of any material. An additional advantage is also that in comparison with other proximity sensors, such as capacitive or inductive sensors, the contactless optical switches have a much larger sensing distance.

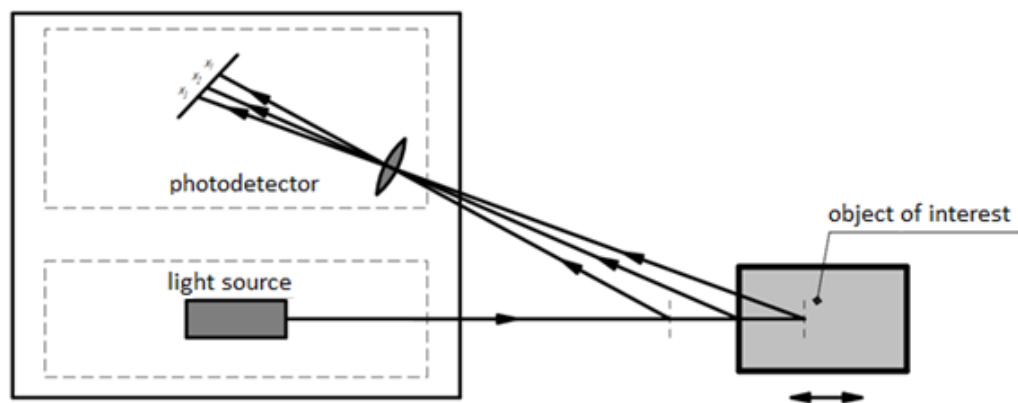


Fig. 5 - Optical displacement transducer based on optical triangulation scheme

In another implementation, an optical sensor designed for the registration determines the parameters of small displacements and vibrations and uses a dual etymoid structure as well as a light source and a photodetector (Fig. 6). One of the grids is stationary and the second is movable and can fastened mechanically on the object or can transmit the movement to sensor in some way. The small mobile lattice displacement leads to a change in light intensity, recorded by a photodetector, and with the decrease in lattice period increases the accuracy of the sensor, but it narrows the dynamic range.

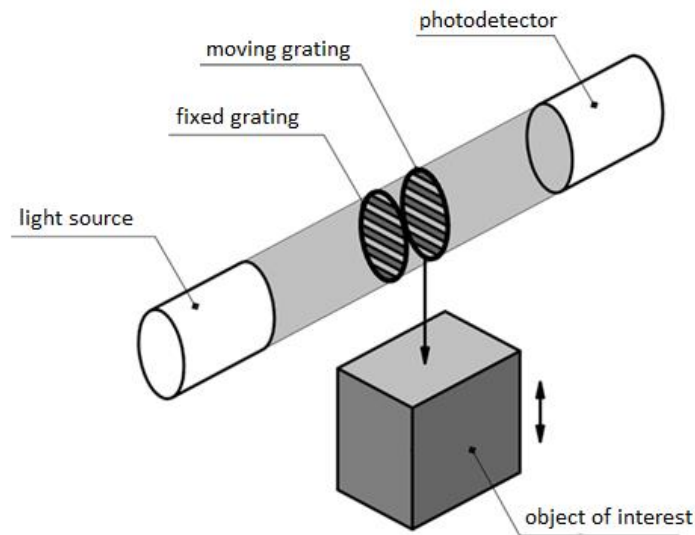


Fig. 6 - Optical displacement transducer based on diffraction gratings

Additional applications have optical sensors that take into account the light polarization. Algorithm selection of object may be implemented with the help of reflective properties of the surface, i.e. the sensor can "pay attention" only to objects with good reflectivity, and other objects are ignored. Of course, sensitivity to polarization adversely affects the cost of such devices.

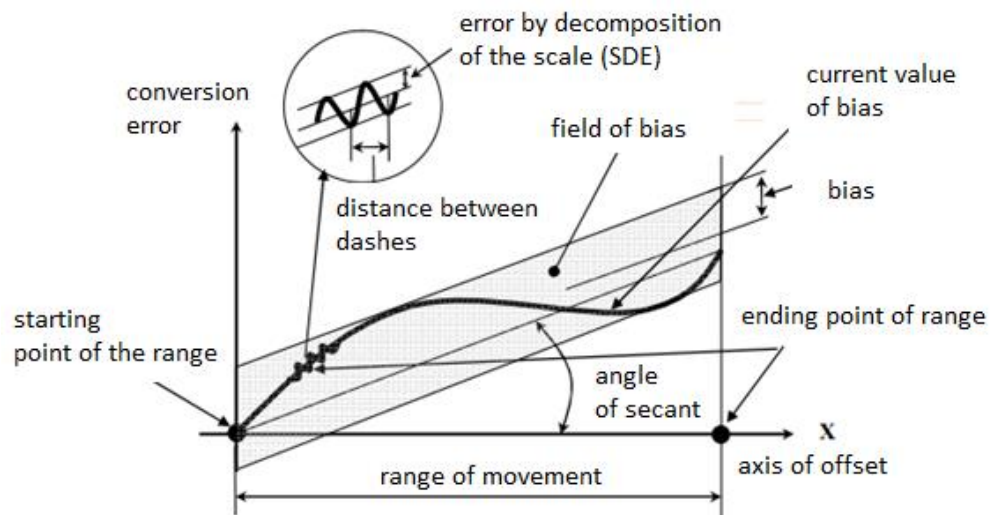


Fig. 7 - Graph representation of the basic conversion error

On the systematic error component, which is shown in the graph, is superimposed cyclical component that conditionality partitioning error. This component equals or multiple of the period of the partition (step), of the scale (the COP) and the magnitude of substantially less systematic error.

The speed transducer is determined by the time taken to perform a continuous value of the conversion into a digital code, that is, the conversion time. Sometimes, the converter performance is characterized by the reciprocal time transformation, that is, the number of conversions per time unit.

2.1.4 The ultrasonic transducer displacement

Ultrasonic sensors use radar principle - reflected ultrasonic waves from the object are recorded, so the block diagram generally shows the source of ultrasonic waves and the registrar (Fig. 8), which are usually enclosed in a compact body. Defining the time delay between the sending and receiving time, the ultrasound pulse can measure the distance to an object with a precision reaching tenths of a millimeter. Along with optical, the ultrasonic sensors today are, perhaps, the most versatile and technologically advanced non-contact measuring means. Using this measurement principle can find in the detectors of defects, this time in the ultrasonic flaw detection.

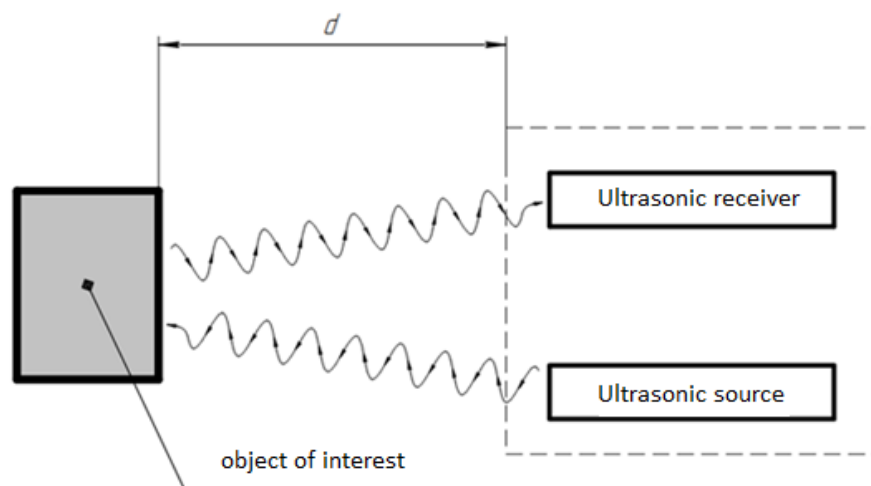


Fig. 8 - Ultrasonic displacement transducer

Ultrasonic sensors with analog output designed to convert linear values of distance to the object detected in the electrical signal of the standard 4 ... 20 mA or 0 ... 10 V. Measurement accuracy is higher than 0.5 mm at a distance of 1 meter, and 1.0 mm at a distance of over 1 meter. Ultrasonic sensors for measuring distances are equipped with adjustment upper limit of measurement using the potentiometer or using programming key or via a cable, and can remember the lower and upper limit of measurement. By default, the minimum output value corresponds to the lower

boundary of the measuring range and the upper output value, respectively, the upper value of the measuring range.

2.1.5 Magnetoresistive displacement sensors

In magnetoresistive sensors displacement used the dependence of the electrical resistance of the magnetoresistive plates on the direction and magnitude of external magnetic field. The sensor typically consists of a permanent magnet and an electrical circuit comprising a magnetoresistive plate included in a bridge circuit and a constant voltage source (Fig. 9). Object, which is composed of a ferromagnetic material, moving in a magnetic field and change the field configuration, accordingly, changes the resistance of the plates, and the bridge circuit detects a mismatch in magnitude can determine the position of the object.

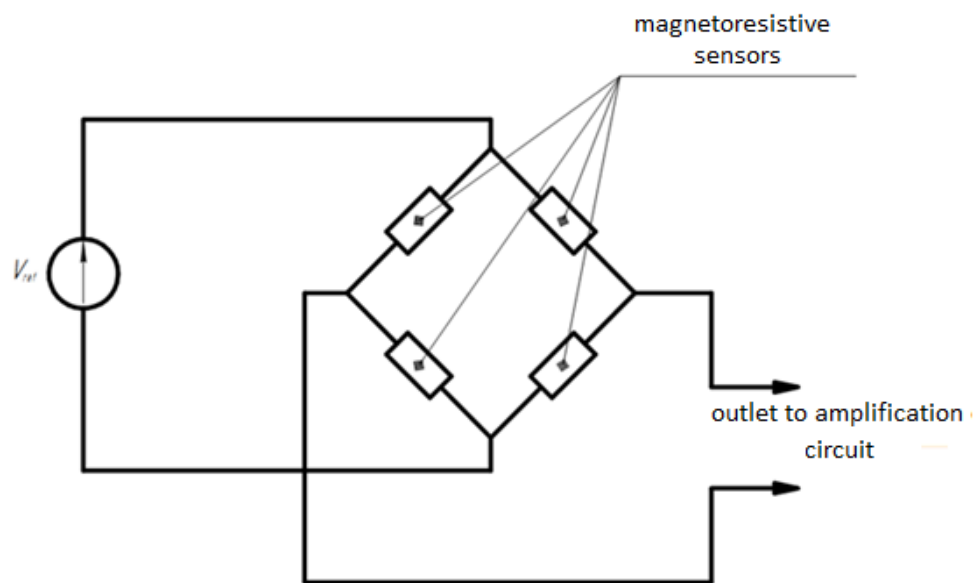


Fig. 9 - Magnetoresistive displacement sensors

Magnetoresistive sensors are highly sensitive and allow you to measure the smallest magnetic field changes. They are used in magnetometry to solve various problems: determining the rotational angle position of the object relative to the earth magnetic field, measuring the gear speed and other.

The operating principle of magnetoresistive sensors is based on the change in the direction of the internal layer of the domain magnetization of permalloy (NiFe) under the influence of an external magnetic field. Resistance permalloy membrane

varies depending on the angle between the current direction and the magnetization vector. The resistance is minimal when the angle is 90° , resistance is maximized when the angle is of 0° .

The design of magnetoresistive sensor consists of four layers of permalloy, which are organized in a bridge circuit. Also, two coils added to the sensor board: SET / RESET and OFFSET. SET / RESET coil creates an easy axis which is necessary to maintain a high sensitivity sensor, OFFSET coil compensates the parasitic effects of magnetic fields (for example it may be made ferromagnetic metal object or objects).

The sensors allow to measure very weak magnetic fields (30 mk Gauss) with their subsequent conversion into an output voltage. In some sensor designs, the bridge circuits can be combined, thus forming, two- and three-axis sensors.

The magnetoresistive sensors advantages include:

- absence of dependence on the distance between a magnet and a sensor
- wide operating temperature range (-55 to 150°C);
- sensors depend only on the field direction, not its intensity;
- long service life, independent of the magnetic drift.

Magnetoresistive sensors are used for:

- monitoring object displacements in robotics;
- measuring weak fields (the navigation system, the compensation field of the Earth, electronic and digital compasses, etc.);
- measuring speed (gearbox, ABS, engine management system);
- measuring the angular coordinate (for example, for seat adjustment in dishwashers, a steering system for phase adjustment, etc.);
- constructing contactless current sensors with galvanic isolation.

2.1.6 Potentiometric displacement sensors

The sensor of this type has an electrical circuit containing a potentiometer (Fig. 10). The linear object displacement leads to a change in the resistance of the potentiometer (variable resistor). If you pass the constant current through the

potentiometer, the voltage drop and is proportional to the resistance, and proportionally in magnitude linear displacement of object.

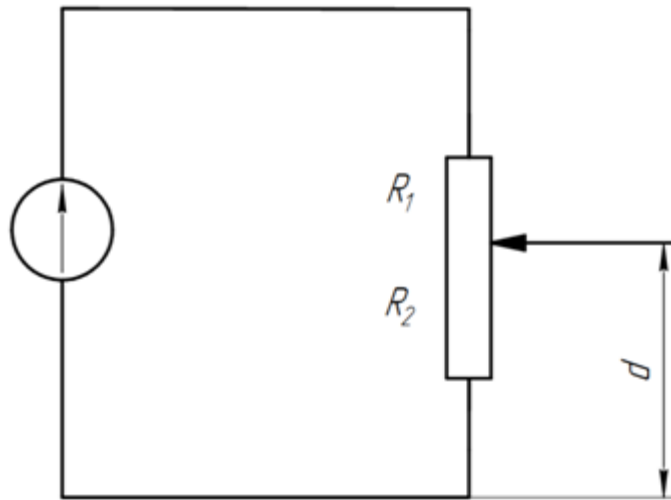


Fig. 10 - Magnetoresistive displacement sensors

Along with the mechanical displacement sensors, potentiometers are the most widespread because of their simplicity and a low cost, but sensors based on optical effects are often used for precision and non-contact measurements in recent years.

2.2 Extremum search methods

Search methods based on finding in advance a certain array of data or search in real-time, when the data acquisition and processing are continuously connected. These requirements are determined from positioning tasks. Accordingly, it is required to consider each option in detail.

2.2.1 Extremum search methods in the known data array

The simplest method of optimization is a one-parameter optimization (search extremum of functions of one variable).

One-dimensional optimization methods can be divided into three groups:

- exception interval methods (they can be used for both continuous and discontinuous, and discrete functions);
- point estimation methods based on polynomial approximation;
- methods of using the derivatives.

Exclusion method intervals include:

A. bisection method (dichotomy);

- B. minimax search strategy is extreme;
- C. uniformly search method;
- D. Hook-Jeeves method.

The method A is based on the idea, that the initial interval $[a, b]$ is divided into two equal portions and specified accuracy of finding the solution (ε) deposited in both sides of the dividing point. Then, the search range narrowed in accordance with the interval theorem, and the dividing process is repeated as long as the stop condition is not executed. Geometric illustration is shown in figure 11.

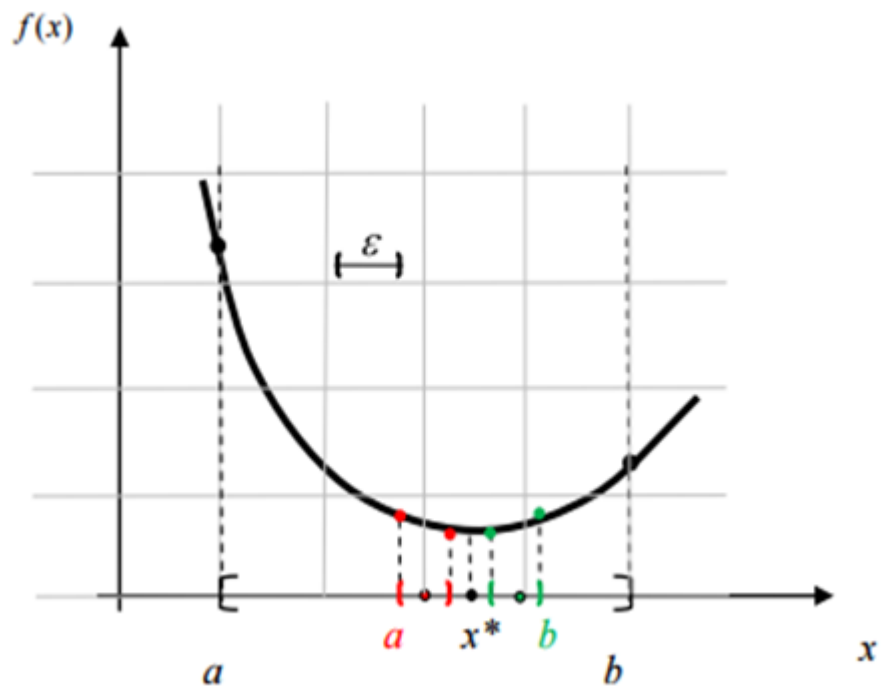


Fig. 11 - Geometric illustration of the dichotomy method

The purpose of strategy B is to minimize the uncertainty interval, which is the function minimum (maximum). The scheme minimax strategy dichotomy method is shown in figure 12.

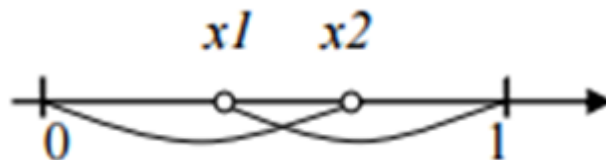


Fig. 12 - Scheme of the minimax strategy dichotomy method

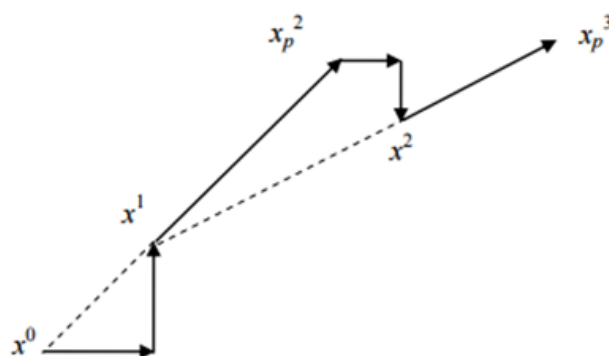
C) golden section method

$$\frac{b-a}{b-x_1} = \frac{b-a}{x_2-a} = \phi = \frac{1+\sqrt{5}}{2} = 1.618 \quad (1)$$

where φ - golden section proportion.

When you select one of the methods, you need to compare two main characteristics: convergence and the number (k) of steps of producing a minimum under the condition specified accuracy ε (efficiency).

Method E is a combination of an exploring search with a cyclic variable change and an accelerating research. The search strategy is shown in figure 13.



At the beginning necessary to explore the neighborhood $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ of points on the various coordinates of the vector to select a base. After selecting the desired direction (to remember the new reference point) it is necessary to make the

transition to the next stage. If the value of the objective function $f(x)$ has increased, that necessary to go back to the previous point and make a half step.

From the base point necessary to make a big step in the right direction, then a step increases in this direction as long as the objective function decreases. When the function ceases to decrease, it is necessary to refuse from the configuration and reduce the step size. The survey of the neighborhood performed again. As a result, an attempt to search the ravine of the objective function is done again, then necessary to perform a movement in this ravine. The search is a movement along the straight line connecting two base points.

Introduce the notation:

- x^k - current reference point;
- x^{k-1} - previous reference point;
- x^{k+1} - new base point;
- x_p^{k+1} - point, which is built at movement on a particular pattern.

$$x_p^{k+1} = x^k + (x^k - x^{k-1}) \quad (2)$$

If the motion of the pattern does not reduce the objective function, the point x_p^{k+1} is fixed as a temporary base point and carried exploring search again. If the result is a point with a smaller objective function value than the point x^k , it is considered as a new reference point x^{k+1} . On the other hand, if the lookup exploration fails, you must return to the point x^k and continue the search to identify a new minimization trend. Ultimately, a situation arises where a search is not successful. In this case, it is necessary to reduce the magnitude of the step and to resume an exploration. The search is completed, if the step size is less than the specified accuracy of the extremum ε calculating.

The use of a one-dimensional optimization method depends on the following factors:

- the type of an original objective function;
- purposes to solve a particular problem.

Optimization methods based on polynomial approximation and calculation of derivatives are more effective than exclusion method of intervals. However, it is performed under condition that the objective function is sufficiently smooth and continuous. The task objectives impose restrictions on basic characteristics of methods:

- time during which the solution will be received;
- the accuracy of the resulting extremum;
- the algorithm sensitivity to initial conditions.

The main idea of these methods is associated with a polynomial approximation of a smooth function. The resulting polynomial is an easily differentiable function, which used to assess the extremum. Consequently, could argue that the methods are effective for use in positioning tasks specified system operating conditions