

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

Институт _____ ЭНИН
Направление подготовки _____ Электроэнергетика и электротехника
Кафедра _____ Электротехнических комплексов и материалов

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проектирование датчика линейных перемещений

УДК 681.586.001.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2Г	Баклан Сергей Дмитриевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭКМ	Богданов Евгений Петрович	Кандидат технических наук, доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры МЕН	Трофимова Маргарита Николаевна	Доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЭБЖ	Невский Егор Сергеевич			

По разделу «Технология производства электрических аппаратов»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭКМ	Баранов Павел Рудольфович	Кандидат технических наук, доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электротехнических комплексов и материалов	Гарганеев Александр Георгиевич	Доктор технических наук, профессор		

Томск – 2016 г.

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

Институт: Энергетический

Направление подготовки: Электроэнергетика и электротехника

Кафедра: Электротехнические комплексы и материалы

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

А.Г.

(Подпись)

(Дата)

Гарганеев

(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Г2Г	Баклану Сергею Дмитриевичу

Тема работы:

Проектирование датчика линейных перемещений	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№343/с от 25.01.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); 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.).</i>	Объект проектирования – датчик линейных перемещений. Технические данные: Напряжение питания $U_n = 6 \text{ В}$; Частота напряжения питания $f = 2000 \text{ Гц}$; Ток потребления $I_1 = 0,02 \text{ А}$; Величина выходного напряжения в нулевом положении $U_{\max} = 0,6 \text{ В}$; Крутизна выходной характеристики $K = 0,05 \text{ мм}^{-1}$; Рабочий ход подвижной части $l_p = 15 \times 10^{-3} \text{ м}$; Длина сердечника $l_c = 25 \times 10^{-3} \text{ м}$; Эффективная магнитная проницаемость сердечника $\mu_c = 41$; $l_0 = 50 \times 10^{-3} \text{ м}$; Сечение сердечника $S_c = S_b = 7 \times 10^{-6}$; Диаметр каркаса по краям первичной обмотки $D_{k1} = 10 \times 10^{-3} \text{ м}$; Диаметр каркаса под вторичной обмоткой $D_{k2} = 8 \times 10^{-3} \text{ м}$; Диаметр каркаса $D_{\text{кар}} = 7,5 \times 10^{-3} \text{ м}$;
---	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. Анализ требований к проектируемому датчику. 2. Обзор существующих конструкций датчиков перемещений. 3. Анализ и выбор конструкции прототипа датчика линейных перемещений. 4. Проектирование датчика линейных перемещений.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Сборочный чертеж датчика линейных перемещений. 2. Характеристики датчика. 3. Технологическая часть.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Трофимова М.Н.
Социальная ответственность	Невский Е.С.
Технология производства электрических аппаратов	Баранов П.Р.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	25.01.2016
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭКМ	Богданов Евгений Петрович	к.т.н., доцент		25.01.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2Г	Баклан Сергей Дмитриевич		25.01.2016

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА ПО ТЕМЕ:
«Технология производства электрических аппаратов»**

Студенту:

Группа	ФИО
5Г2Г	Баклану Сергею Дмитриевичу

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Технологический процесс общей сборки датчика линейных перемещений» :	
1. Сборочный чертеж датчика линейных перемещений, спецификация	
2. Годовая программа выпуска 7000 штук .	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Анализ конструкции электрического аппарата на технологичность.	4. Составить схему сборки электрического аппарата.
2. Выбрать оборудование, приспособления для сборки и испытания электрического аппарата.	5. Разработать маршрутную карту сборки электрического аппарата.
3. Определить нормы времени на операции и оборудования.	6. Построить график загрузки оборудования для обеспечения заданной программы.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Комплект маршрутных карт и карты эскизов (в приложении)	
2. График загрузки оборудования	
3. Схема сборки электрического аппарата	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	15.09.2015
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Баранов П. Р.	к.т.н., доцент		10.01.16

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2Г	Баклан С.Д.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5г2г	Баклан Сергей Дмитриевич

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Проектируемый датчик линейных перемещений можно использовать в автоматизированных системах управления.
--	--

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: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).	1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого датчика линейных перемещений К вредным факторам при разработке датчика линейных перемещений относятся электромагнитные излучения 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого датчика линейных перемещений Перечень опасных факторов, возникающих при разработке датчика линейных перемещений: • прикосновение к частям электропроводки или электрооборудования, находящихся под напряжением в случае аварийного режима (например, короткого замыкания); • прикосновение или приближение к токоведущим частям; • нарушение норм санитарии; • наличие емкостей с вредными веществами; • раскаленные тела.
---	---

2. Экологическая безопасность: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	2. Экологическая безопасность Влияние на селитебную зону отсутствует, ввиду отсутствия выбросов в атмосферу и гидросферу при изготовлении датчика. Так как для производства датчика используют металлы, наличествует влияние на литосферу.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях Так как на обмотках датчика линейных перемещений есть напряжение, есть опасность возникновения коротких замыканий. В случае, если датчик применен в системах высокого давления с легко воспламеняемыми веществами, это может привести к возникновению ЧС.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности Эксплуатируемое оборудование должно быть в полной исправности. Ограждение или защитные устройства должны быть установлены на место и соответствующим образом закреплены. Работать на неисправном оборудовании и при отсутствии или неисправном ограждении запрещается.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	22.04.16
---	-----------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Невский Е. С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5г2г	Баклан С.Д.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Г2Г	Баклану Сергею Дмитриевичу

Институт	ЭНИН	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	140000 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрические и электронные аппараты»

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

1. Стоимость затрат технического проекта (ТП): материальные затраты, заработная плата, отчисления во внебюджетные фонды, накладные расходы.	Материальные затраты определяются согласно стоимости комплектующих по прейскурантам или по договорной цене. Заработная плата определяется исходя из тарифной ставки и коэффициентов, зависящих от различных условий: организация, регион. Отчисления во внебюджетные фонды определяются согласно Федеральному закону от 24.07.2009 №212-ФЗ. Накладные расходы определяются исходя из суммы остальных статей расходов.
2. Продолжительность выполнения ТП	Приблизительная оценка продолжительности выполнения ТП составляет 250 календарных дней.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка потенциала и перспективности реализации ТП с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.	Потенциал и перспективность реализации ТП оценивается с помощью интегральной оценки ресурсоэффективности.
2. Формирование сметы.	В процессе формирования сметы ТП используется следующая группировка затрат по статьям: – материальные затраты; – заработная плата; – отчисления во внебюджетные фонды; – накладные расходы.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры МЕН	Трофимова М.Н.	Доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2Г	Баклан С.Д.		

Реферат

Дипломная работа включает в себя: 65 страниц, 14 рисунков, 12 таблиц, 9 источников, 2 приложения.

Объект исследования – датчик линейных перемещений.

Цель работы: проектирование датчика линейных перемещений.

В выпускной квалификационной работе рассмотрены понятия и свойства датчика линейных перемещений, приведено описание предметных областей, классификации и методы разработки датчиков ЛДТ, а также их производство.

Результатом проведенной работы является спроектированный датчик линейных перемещений.

Ключевые слова: датчик линейных перемещений, электрические аппараты, ЛДТ.

Содержание

1. ВВЕДЕНИЕ.....	11
2. СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕКТЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	13
2.1 Требования, предъявляемые к датчикам	14
2.2 Обзор существующих конструкций датчиков перемещений	15
2.2.1 Трансформаторные датчики.....	15
3. АНАЛИЗ И ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ ПРОТОТИПА, ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ.....	17
3.1 Анализ и выбор конструкции прототипа.....	17
3.2 Принцип действия	21
4. РАССЧЕТНАЯ ЧАСТЬ.....	25
4.1 Электромагнитный расчет.....	25
4.2 Тепловой расчет	28
5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	30
5.1 Определение нелинейности характеристики выходного напряжения датчика.....	30
5.2 Выходная характеристика датчика.....	32
5.3 Построение нагрузочной характеристики	33
6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	35
6.1 Анализ конструкции датчика на технологичность	35
6.2 Составление схемы сборки и маршрутной технологии общей сборки датчика	37
6.3 Выбор сборочного оборудования и оснастки	37
6.4 Нормирование сборочных работ и расчет количества технологического оборудования для обеспечения заданной программы	38
6.5 Определение необходимого количества оборудования	40
7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	41
7.1 Производственная безопасность	41
7.1.1 Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого датчика линейных перемещений.....	41
7.1.2 Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого датчика линейных перемещений.....	42

7.3 Экологическая безопасность	43
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	43
7.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	45
8. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	50
8.1 Расчетная калькуляция датчика линейных перемещений	51
8.1.1 Расчет затрат на заработную плату	52
8.1.2 Расчет накладных расходов	53
8.1.3 Расчет прибыли остающейся у предприятия	54
8.1.4 Определение точки безубыточности.....	57
Заключение	58
Список литературы	59
Приложение А.....	60
Приложение Б.....	63

1. ВВЕДЕНИЕ

При эксплуатации промышленных установок необходимо иметь данные о величинах, характеризующих процессы, происходящие в различных машинах, агрегатах, установках, данные о линейных и угловых перемещениях, давлениях, деформациях и напряжениях в различных частях машин и сооружений.

В процессе эксплуатации эти данные используются для контроля работы машин и агрегатов, состояния сооружений, для автоматического регулирования параметров машин и для выполнения других функций, связанных с автоматизацией процессов.

Указанные функции – контроль, регулирование и другие, весьма часто выполняют с использованием электрических величин, пропорциональных требуемым параметрам, так как электрические величины наиболее удобны для построения визуальных и регистрирующих приборов, измерительных элементов регуляторов, для передачи на расстояние. В данном случае измерение неэлектрических величин осуществляется посредством электрических преобразователей.

Электрические аппараты, преобразующие изменение входной (контролируемой) неэлектрической величины в изменение выходной электрической величины называются датчиками.

Существуют различные виды датчиков: электромагнитные, магнитострикционные, ёмкостные, пьезоэлектрические, фотоэлектрические, омические и др.

Наибольшее распространение получили электромагнитные датчики, так как они обладают рядом преимуществ по сравнению с другими видами датчиков: простотой устройства, высокой надёжностью, возможностью подключения к источникам промышленной частоты, относительно большой выходной мощностью. В этих датчиках выходная электрическая величина определяется изменением положения подвижных частей устройства.

Выпускаемые промышленностью электромагнитные датчики линейных и угловых перемещений, обладая хорошей чувствительностью, надёжностью и стабильностью параметров в условиях больших механических и климатических нагрузок, находят широкое применение в различных приборах, автоматических устройствах, гидравлических и пневматических приводах.

Современный уровень развития техники и расширение спектра задач, решаемых средствами автоматического регулирования и управления, выявляют необходимость создания и совершенствования конструкций электромагнитных датчиков в направлении повышения их точности и надёжности, а также снижением массы и габаритов.

Целью данной выпускной квалификационной работы является проектирование датчика линейного перемещения и разработка технологического процесса его общей сборки.

2. СВЕДЕНИЯ ОБ ОБЪЕКТЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Автоматизация производственных процессов в народном хозяйстве может успешно проводиться только при наличии первоклассных технических средств, включающих самые разнообразные по назначению и устройству машины и аппараты, например: датчики, исполнительные устройства, усилители, стабилизаторы, вычислительные элементы и т. п.

Датчик является одним из важнейших элементов любой системы автоматического регулирования и контроля, его задача состоит в восприятии и преобразовании параметра, характеризующего протекание регулируемого процесса.

Огромное разнообразие технологических процессов приводит к необходимости иметь в наличии весьма широкий выбор датчиков, реагирующих на самые различные величины.

Специфические условия работы датчиков, часто находящихся в непосредственном контакте с объектом регулирования, заставляют выбирать из всех возможных принципиальных решений и конструкций только те, которые удовлетворяют необходимым эксплуатационным требованиям прочности, надежности, стойкости против действия атмосферы и агрессивных веществ, виброустойчивости и т. д.

Кроме того, датчики должны удовлетворять общим требованиям, характерным для всех устройств автоматики, а именно иметь: быстродействие, высокую чувствительность и точность, стабильность характеристик, сопротивляемость влиянию различных внешних факторов и т. п.

Далеко не все применяемые в настоящее время датчики удовлетворяют указанным требованиям. Для многих же параметров датчики вообще отсутствуют, что задерживает автоматизацию важных технологических процессов.

Широкое обобщение отечественного и зарубежного опыта по созданию датчиков, систематизация данных по принципам действия, конструкциям и схемам, критическое рассмотрение их и сравнительная оценка с целью выявления схем и конструкций как наиболее рациональных, так и устаревших способствуют дальнейшему совершенствованию различных систем датчиков.

В большинстве справочных материалов под датчиком подразумевается устройство, обеспечивающее функциональное преобразование изменения некоторой величины (любого вида) в изменения другой величины, удобные для усиления и передачи на расстоянии.

Основное назначение датчиков – служить воспринимающими элементами систем автоматического контроля и регулирования. Однако в ряде систем датчики применяются в качестве промежуточных преобразователей. В соответствии с данным выше определением, к датчикам отнесены не только простейшие по устройству и схеме преобразователи, но и более сложные устройства (например, компенсационные), в состав которых входит ряд самостоятельных элементов (преобразователи, усилители и т. п.).

Статической характеристикой датчика является зависимость изменений выходной величины от изменений входной $y = f(x)$, которая задается аналитически или графически.

2.1 Требования, предъявляемые к датчикам

В зависимости от конкретных условий применения датчиков к ним предъявляются самые различные требования. Ниже приведен перечень такого рода требований.

Датчик должен иметь:

- однозначную зависимость выходной величины от входной;
- определенный вид зависимости между выходной и входной

величинами (как правило, линейную);

- высокую чувствительность (отношение приращения выходной величины к приращению входной);
- стабильность характеристик во времени;
 - направленность действия (отсутствие влияния нагрузки в выходной цепи датчика на режим входной цепи);
 - определенные динамические характеристики (обычно требуется минимальная постоянная времени);
 - минимальные влияния внешних факторов (температуры, угла наклона, вибраций и т. п.) на характеристики датчика;
- высокую перегрузочную способность;
 - устойчивость к химическим воздействиям окружающей среды;
- взрывобезопасность;
 - устойчивость к механическим, термическим, электрическим и прочим перегрузкам;
- простую и технологичную конструкцию;
- повторяемость характеристик (взаимозаменяемость);
- удобство монтажа и обслуживания.

Кроме указанных требований, в датчике должны отсутствовать дефицитные и вредные для здоровья окружающих материалы.

2.2 Обзор существующих конструкций датчиков перемещений

2.2.1 Трансформаторные датчики

Трансформаторные датчики представляют собой устройства, в которых входное перемещение изменяет коэффициент индуктивной связи между двумя системами обмоток, одна из которых питается переменным током, другая является выходной.

В таблице 1 приведены схемы различных исполнений датчиков. Действие датчиков 1 и 2 основано на перераспределении напряжений U_1 и U_2 в первичной цепи при перемещении якоря. В датчиках 3,4,5 и 6 при перемещении якоря перераспределяются магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 . Датчик

7 основан на изменении величины магнитного потока, пронизывающего обмотку при ее повороте.

Области применения трансформаторных датчиков такие же, что и индуктивных, в ряде случаев применение их оказывается предпочтительнее вследствие простоты измерительных схем и отсутствия гальванической связи между цепями питания и выхода.

Таблица 1. Принципиальные схемы и основные зависимости трансформаторных датчиков перемещения

№ датчиков	Тип	Схема	Расчетные формулы
1	Датчик с П-образным сердечником		$\bar{U} = \bar{U}_1 + \bar{U}_2$ $\bar{U}_1 = \bar{U} \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}$ $\bar{U}_{вых} = \frac{w_2}{w_1} \bar{U}_1 = \kappa \bar{U}_1$ $Z_1 = \omega L \approx \omega \mu_0 w^2 G$ $G \approx \frac{S}{2\delta}$
2	Дифференциальный датчик		$\bar{U} = \bar{U}_1 + \bar{U}_2$ $\frac{\bar{U}_1}{U_2} = \frac{Z_1}{Z_2} \approx \frac{L_1}{L_2} = \frac{G_1}{G_2} \approx \frac{\delta_2}{\delta_1}$ $\bar{U}_{вых} = \kappa (\bar{U}_1 - \bar{U}_2) \approx \kappa \bar{U} \frac{G_1 - G_2}{G_1 + G_2}$ $\bar{U}_{вых} \approx \kappa \bar{U} \frac{\delta_2 - \delta_1}{\delta_1 + \delta_2}$ $\kappa = \frac{w_2}{w_1}$
3	Дифференциальный датчик с обмоткой на якоре		$\Phi_1 = \frac{\sqrt{2} U_1}{\omega w_1}; \Phi_2 = \frac{\sqrt{2} U_2}{\omega w_2}$ $U_{вых} = \frac{1}{\sqrt{2}} \omega w_2 (\Phi_1 - \Phi_2)$ $\bar{U}_1 + \bar{U}_2 = \bar{U}; U_{вых} = \frac{w_2}{w_1} (U_1 - U_2)$ $U_{вых} \approx \kappa U \frac{\delta_2 - \delta_1}{\delta_1 - \delta_2}$
4	Датчик с продольным перемещением якоря		$S_1 = S - bx$ $S_2 = S + bx$ $R_0 = \frac{\delta_0}{S_0}$ $R_1 = R_0 + \frac{\delta}{S_1} = \frac{1}{G_1}$ $R_2 = R_0 + \frac{\delta}{S_2} = \frac{1}{G_2}$
5	Датчик с поворотным якорем		$\Phi_1 = \Phi \frac{G_1}{G_1 + G_2}; \Phi_2 = \Phi \frac{G_2}{G_1 + G_2}$ $U_1 = \omega w_2 \Phi_1 \frac{1}{\sqrt{2}}; U_2 = \omega w_2 \Phi_2 \frac{1}{\sqrt{2}}$ $\bar{U}_{вых} = \bar{U}_1 - \bar{U}_2 = \omega w_2 \Phi \frac{G_1 - G_2}{G_1 + G_2} \frac{1}{\sqrt{2}}$ $U_{вых} = \frac{w_2}{w_1} \frac{G_1 - G_2}{G_1 + G_2}$
6	Датчик соленоидного типа		$U_{вых} = U_1 - U_2; U_1 = U \frac{w_2}{w_1} M_1$ M — коэффициент связи, определяется графоаналитическим расчетом $U_2 = U \frac{w_2}{w_1} M_2$
7	Датчик с поворотной рамкой		$U_{вых} = \omega w \Phi_p \frac{1}{\sqrt{2}}$ $\Phi_p = B \cdot S_p \sin \alpha;$ S_p — площадь рамки; ω — ее угловая скорость; B — магнитная индукция

3. АНАЛИЗ И ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ ПРОТОТИПА, ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

3.1 Анализ и выбор конструкции прототипа

Повышенная надежность может быть обеспечена только бесконтактными преобразователями перемещений, из которых индукционные отвечают высоким требованиям, предъявляемым к надежности, точности и простоте конструкции.

Из них целесообразно выделить две группы индукционных преобразователей линейных перемещений с распределенными электрическими параметрами:

- Датчики с подвижным экраном;
- Датчики с подвижным сердечником.

Преобразователи первой группы выполняются либо с шихтованным, либо с нешихтованным магнитопроводом.

На рис. 1 показана схема индукционного датчика с нешихтованным магнитопроводом. Датчик состоит из следующих основных узлов: корпуса, магнитопровода, катушки и подвижной части.

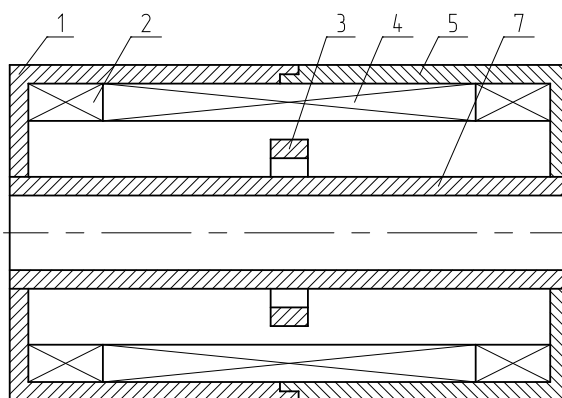


Рисунок 1 – Индукционно-динамический датчик с нешихтованным магнитопроводом: 1,6 – наружные магнитопроводы; 2,5 – секции первичной обмотки; 3 – экран; 4 – вторичная обмотка; 7 – внутренний магнитопровод

Конструктивно магнитопровод выполняется разъемным и представляет собой два полых цилиндра (наружный, состоящий из двух частей и внутренний), расположенные концентрично. Цилиндры магнитопровода изготавливаются из пермаллоя. По краям катушки размещены две секции первичной обмотки, вторичная расположена между секциями.

Секции первичной обмотки включены последовательно-встречно. Вторичная обмотка распределена равномерно на длине рабочего хода. Катушка размещена в зазоре между наружным и внутренним цилиндрами магнитопровода. Подвижная часть состоит из держателя и экрана, который крепится к держателю и охватывает внутренний цилиндр магнитопровода.

Принцип действия датчика основан на перераспределении подвижным экраном магнитных потоков, создаваемых секциями первичной обмотки. При нулевом положении экрана ЭДС, наводимые в частях вторичной обмотки по обе стороны экрана, равны, но противоположны по фазе, а выходное напряжение датчика минимально. Уровень нулевого напряжения определяется только высшими гармоническими составляющими. При других положениях экрана значение выходного напряжения пропорционально перемещению.

На рис. 2 приведена схема датчика с шихтованным магнитопроводом.

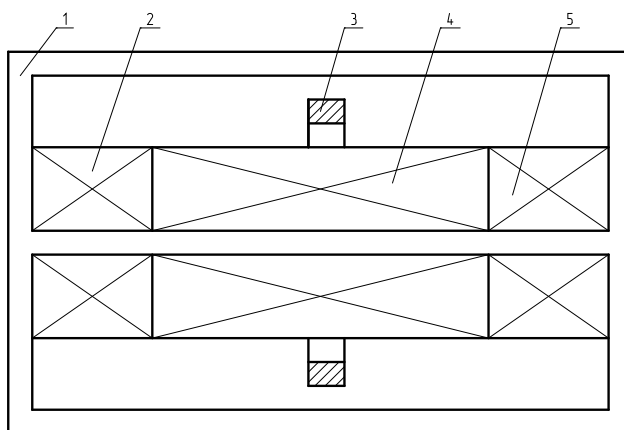


Рисунок 2 – Индукционно динамический датчик с шихтованным магнитопроводом: 1 – магнитопровод; 2,5 – секции первичной обмотки; 3 – экран; 4 – вторичная обмотка

На среднем стержне Ш-образного броневых магнитопровода 1 размещены по краям две сосредоточенные секции 2 и 5 первичной обмотки, между ними расположена равномерно распределенная вторичная обмотка 4, над которой перемещается экран (короткозамкнутый виток) 3. Секции первичной обмотки включены последовательно-встречно.

Наибольший интерес среди преобразователей второй группы вызывают линейные датчики дифференциально-трансформаторного типа (ЛДТ). Существует множество исполнений ЛДТ. Наиболее простая схема ЛДТ представлена на рис. 3.

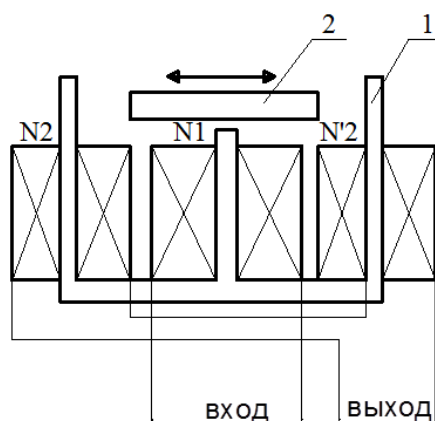


Рисунок 3 – Датчик с ярмом Ш-образной формы: 1 – ярмо; 2 – якорь

Магнитная цепь датчика состоит из ярма 1 и якоря 2, перемещающегося перпендикулярно полюсам. На среднем стержне ярма размещается первичная обмотка N_1 , на крайних две вторичные N_2 и N'_2 обмотки включенные последовательно-встречно. Первичная обмотка питается от сети переменного тока. В среднем положении якоря потоки, сцепленные со вторичными обмотками, равны и наводят равные по амплитуде ЭДС, отличающиеся по фазе на 180° . Выходное напряжение ЛДТ при этом равно нулю. При перемещении якоря ЭДС одной из обмоток увеличивается, а другой – уменьшается, в результате чего появляется напряжение разбаланса.

Устройства такого типа применяются при малых рабочих ходах и широкого распространения не получили из-за большой нелинейности выходной характеристики и наличия большого электромагнитного момента.

В настоящее время наибольшее применение нашли конструкции ЛДТ с разомкнутой магнитной цепью. В магнитной цепи этих датчиков только якорь выполнен из ферромагнитного материала.

На рис. 4 показан датчик типа ЛДТ с разомкнутой магнитной цепью и трехкатушечной схемой. Первичная обмотка N_1 расположена в средней части каркаса, а две вторичные N_2 и N_2' в крайних секциях. Первичная и вторичные обмотки находятся в неодинаковых магнитных условиях.

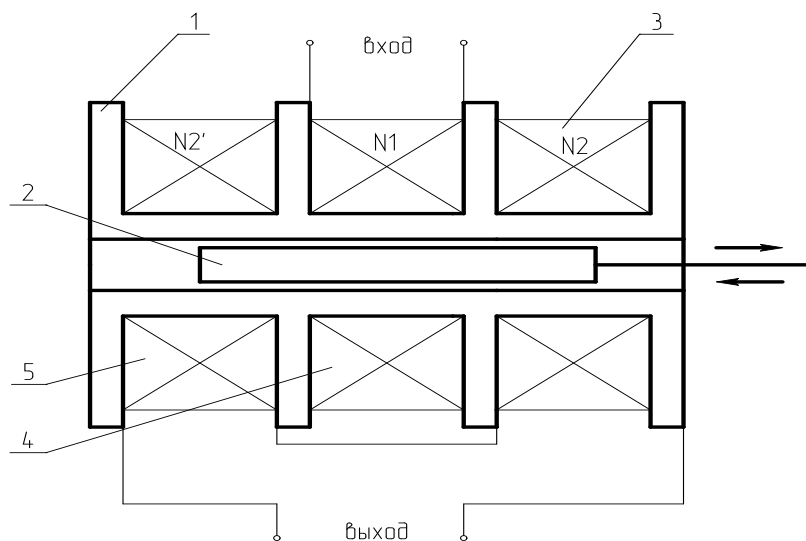


Рисунок 4 – Трехкатушечный дифференциально-трансформаторный датчик:

1 – каркас; 2 – якорь; 3,5 – секции вторичной обмотки;

4 – первичная обмотка

Исходя из сказанного выше, в качестве прототипа был выбран датчик типа ЛДТ с разомкнутой магнитной цепью.

3.2 Принцип действия

На рис. 5 схематично представлена конструкция ЛДТ-датчика, основными составляющими которого являются первичная и две вторичные обмотки (как правило, обмотки расположены на неподвижном сердечнике) и подвижное ядро. Первичная обмотка размещена симметрично между двумя идентичными вторичными обмотками. Катушки расположены на цельном термостабильном армированном полимере и заключены в герметичную оболочку, защищающую их от попадания влаги и агрессивных сред. Подвижное ядро, выполненное из высокопроницаемого магнитного материала, имеет цилиндрическую форму и свободно перемещается по внутренней полости датчика.

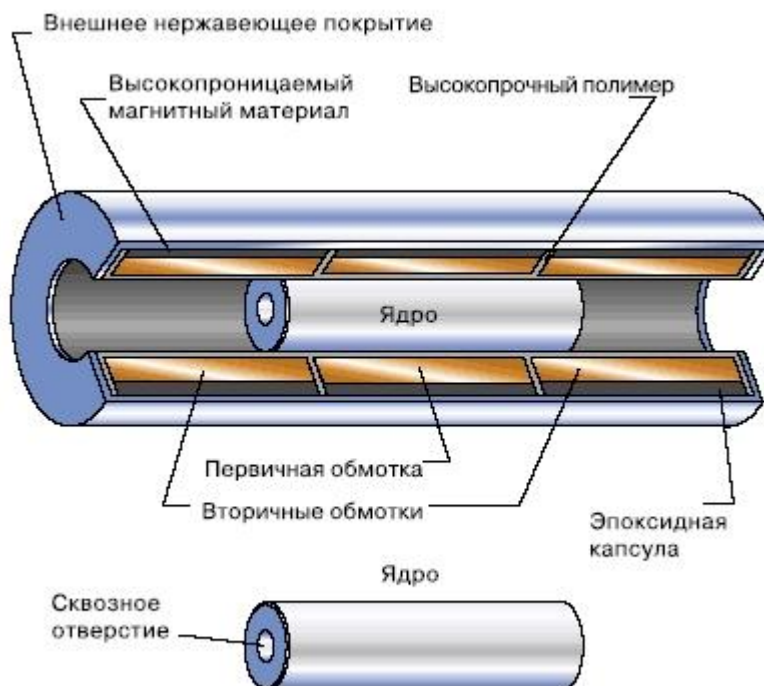


Рисунок 5 – Конструкция ЛДТ-датчика

Электропитание первичной обмотки осуществляется переменным синусоидальным напряжением. Выходным сигналом датчика является разность напряжений вторичных обмоток – дифференциальное напряжение. Обычно дифференциальное переменное напряжение преобразуется встроенным электронным модулем в сигнал постоянного тока.

На рис. 6 проиллюстрирован принцип действия ЛДТ-датчика.

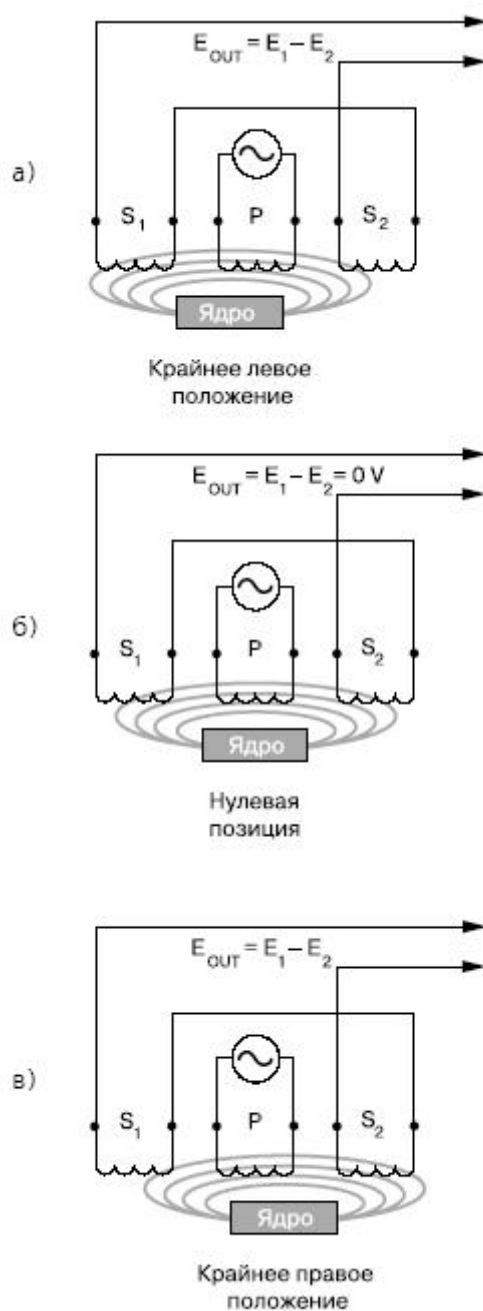


Рисунок 6 – Принцип действия ЛДТ-датчика

Если подвижное ядро находится строго в центре (нулевая позиция), то магнитное поле, создаваемое первичной обмоткой P, симметрично, следовательно магнитные потоки через вторичные обмотки S₁ и S₂ равны, а значит равны и ЭДС E₁ и E₂, индуцируемые в этих обмотках, а значит равно нулю дифференциальное напряжение. Если же подвижное ядро смещается

относительно нулевого положения, то искажается симметрия магнитного поля – через одну из вторичных обмоток, в зависимости от положения ядра, проходит больший магнитный поток, нежели чем через другую (рис. 6). Следовательно, различаются и ЭДС, индуцируемые во вторичных обмотках, — чем больше магнитный поток, тем больше ЭДС.

На рисунке 6а показано, как изменяется амплитуда дифференциального выходного напряжения E_{out} в зависимости от положения ядра внутри сердечника. Максимальное значение E_{out} обычно достигает нескольких вольт. Угол сдвига фаз выходного напряжения E_{out} относительно первичного напряжения остается постоянным вплоть до нулевой позиции, при пересечении которой сдвиг фаз изменяется на 180 градусов (см. рис. 6б). Сдвиг фазы можно использовать для определения направления движения относительно нулевой позиции при преобразовании сигнала переменного тока электронным модулем. Тогда выходной сигнал последнего будет иметь вид, как показано на рисунке 6в.

Из принципа действия и конструкции ЛДТ-датчика следует ряд очевидных преимуществ. Ниже перечислены основные из них.

Отсутствие трущихся частей – одно из главных преимуществ ЛДТ-датчика. При использовании в штатном режиме нет механического контакта между подвижным ядром и катушками. Это преимущество особенно важно при измерениях малых перемещений, например при контроле вибраций.

Высокая чувствительность: отсутствие трения и физический принцип действия позволяют измерять очень малые перемещения ядра при хорошей повторяемости результатов измерений. Минимальная величина измерения ограничивается шумом и разрешением индицирующего прибора.

Практически неограниченная механическая износостойкость является следствием отсутствия трущихся частей. Из-за отсутствия трения и механических контактов между ядром и катушками нет факторов, оказывающих отрицательное влияние на механическую износостойкость. Следовательно, повышается надежность, что очень важно

при использовании, например, в аэрокосмической промышленности и ядерной энергетике, а также в других приложениях, где надежность является ключевым параметром.

Повышенная защита от выбега за пределы трансформатора. Внутреннее отверстие большинства ЛДТ-датчиков открыто с обеих сторон, поэтому в случае «зашкаливания» (перемещения контролируемого объекта и жестко связанного с ним ядра за предусмотренные пределы) не происходит механического повреждения датчика — подвижное ядро попросту вылетает за пределы датчика, не нанося тому никаких повреждений. Эта неуязвимость очень хороша для применений в тензомерах и экстензомерах (приборы для измерения удлинений), которые используются в тестах на растяжение материалов.

Одно направление чувствительности. ЛДТ-датчик реагирует на перемещение ядра только в одном направлении и нечувствителен к перемещению в других направлениях. Эта особенность важна в приложениях, когда ядро передвигается не по идеальной прямой линии, а слегка «рыскает» при перемещении.

Разделение катушек и ядра. Катушки механически отделены от подвижного ядра, причем катушки помещены в герметичную капсулу. Это обстоятельство часто используется для применения ЛДТ в гидроприводах и сервоприводах.

Устойчивость к воздействию внешней среды. Материалы и конструкция, используемые в ЛДТ, антикоррозионные, износостойчивые и прочные, что делает ЛДТ маловосприимчивым к негативным воздействиям внешней среды. Обмотки залиты эпоксидной смолой и почти невосприимчивы к влажности и осадкам, хорошо противостоят одиночным ударам и вибрациям. Внутренний экран из магнитопроницаемого материала минимизирует эффект внешних электромагнитных полей. И ядро и сердечник изготовлены из антикоррозионных материалов, также являющихся магнитными экранами. Обычно ЛДТ-датчики работают в расширенном

диапазоне рабочих температур и могут применяться и в криогенной технике, и при повышенных температурах и радиации, например в ядерных реакторах.

Повторяемость нулевой точки. Положение нулевой точки чрезвычайно стабильно и повторяемо даже при сверхшироких температурных диапазонах.

Хорошие динамические свойства. Отсутствие трения позволяет ЛДТ очень быстро изменять положение ядра. Динамический отклик ограничивается только массой ядра.

4. РАССЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

4.1 Электромагнитный расчет

Индуктивное сопротивление первичной обмотки:

$$X_L = \frac{U_1}{I_1} = \frac{6}{0,02} = 300 \text{ Ом}$$

Индуктивность первичной обмотки:

$$L_1 = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{300}{2 \cdot 3,14 \cdot 2000} = 0,024 \text{ Гн}$$

Количество витков первичной обмотки под сердечником:

$$N_{11} = \sqrt{\frac{L_1 \cdot l_{\text{ср}}}{2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_c \cdot S_c}} = \sqrt{\frac{0,024 \cdot 0,03}{2 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 41 \cdot 7 \cdot 10^{-6}}} = 996,5$$

$$l_{\text{ср}} = 2 \cdot l_p = 2 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 0,03 \text{ м}$$

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} - \text{магнитная проницаемость.}$$

$$\text{Принимаем } N_{11} = 998$$

Длина каркаса:

$$l_k = l_c + 2 \cdot l_p = 25 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 55 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Длина каркаса с учётом корректировок:

$$l_k = l_k + 3 = 55 \cdot 10^{-3} + 3 \cdot 10^{-3} = 58 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Общее количество витков первичной обмотки:

$$N_1 = N_{11} \cdot \frac{l_k}{l_c} = 998 \cdot \frac{58 \cdot 10^{-3}}{25 \cdot 10^{-3}} = 2315$$

Для обмотки выбирается провод марки ПЭТ-155 с диаметром провода

$d_{\text{пр}} = 0,125$ мм и диаметром изоляции $d_{\text{из}} = 0,155$ мм.

Количество витков в одном слое:

$$N_{1c} = \frac{l_k}{d_{\text{из}} \cdot K_y} = \frac{58 \cdot 10^{-3}}{0,155 \cdot 10^{-3} \cdot 1,05} = 356,4$$

Принимаем $N_{1c} = 358$,

где $K_y = 1,05$ – коэффициент укладки обмотки.

Количество слоёв первичной обмотки:

$$n_1 = \frac{N_1}{N_{1c}} = \frac{2315}{358} = 6,5$$

Принимаем $n_1 = 8$

Уточнённое количество витков первичной обмотки:

$$N_1 = N_{1c} \cdot n_1 = 358 \cdot 8 = 2864$$

Уточнённое количество витков первичной обмотки под сердечником:

$$N_{11} = N_1 \cdot \frac{l_c}{l_k} = 2864 \cdot \frac{25 \cdot 10^{-3}}{58 \cdot 10^{-3}} = 1234$$

Принимаем $N_{11} = 1234$

Уточнённое значение индуктивности:

$$L_{1c} = \mu_0 \cdot \mu_c \cdot \frac{2 \cdot N_{11}^2 \cdot S_c}{l_{\text{ср}}} = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 41 \cdot \frac{2 \cdot 1234^2 \cdot 7 \cdot 10^{-6}}{0,03} = 0,037 \text{ Гн}$$

Полная индуктивность первичной обмотки:

$$L_1 = L_{1c} + L_s = 0,037 + 0,008 = 0,045 \text{ Гн}$$

$$L_s = \mu_0 \cdot \frac{(N_1 - N_{11})^2 \cdot S_k}{l_k - l_c} = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{(2864 - 1234)^2 \cdot 7,9 \cdot 10^{-5}}{58 \cdot 10^{-3} - 25 \cdot 10^{-3}} = 0,008 \text{ Гн}$$

$$S_k = \pi \cdot \frac{D_{\text{к1}}^2}{4} = 3,14 \cdot \frac{(10 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 7,9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

Активное сопротивление первичной обмотки:

$$R_1 = \rho \cdot \frac{l_{\text{в1}}}{S_{\text{пр}}} \cdot N_1 = 1,76 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,031}{1,227 \cdot 10^{-8}} \cdot 2864 = 127,4 \text{ Ом}$$

Средняя длина витка:

$$l_{в1} = \pi \cdot D_{к1} = 3,14 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,031 \text{ м}$$

Сечение провода:

$$S_{пр} = \pi \cdot \frac{d_{пр}^2}{4} = 3,14 \cdot \frac{(0,125 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 1,227 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2$$

Полное сопротивление цепи первичной обмотки:

$$Z_1 = R_1 + j \cdot \omega \cdot L_1 = 127,4 + j \cdot 12560 \cdot 0,045 = 579,4 \cdot e^{j76,3} \text{ Ом},$$

$$\text{где } \omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 2000 = 12560 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$|Z_1| = 579,4 \text{ Ом}$$

Ток, потребляемый датчиком:

$$I_1 = \frac{U_H}{Z_1} = \frac{6}{579,4} = 10,4 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

Плотность тока первичной обмотки:

$$\Delta_1 = \frac{I_1}{S_{пр}} = \frac{10,4 \cdot 10^{-3}}{1,227 \cdot 10^{-8}} = 1,63 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2$$

Количество витков секции вторичной обмотки при перемещении сердечника на величину полного рабочего хода:

$$\begin{aligned} N_2 &= U_{max} \cdot \frac{2 \cdot R_{мв}}{I_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot N_{11} \cdot (2 \cdot \mu_c - 1)} \\ &= 0,6 \cdot \frac{2 \cdot 5684 \cdot 10^6}{10,4 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 2000 \cdot 1234 \cdot (2 \cdot 41 - 1)} = 522,2 \end{aligned}$$

Принимаем $N_2 = 524$,

$$\text{где } R_{мв} = \frac{l_0}{\mu_0 \cdot S_{в}} = \frac{0,05}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 7 \cdot 10^{-6}} = 5684 \cdot 10^6 \text{ Ом} - \text{сопротивление воздушного}$$

участка магнитной цепи.

Количество витков в слое:

$$N_{2c} = \frac{l_p}{d_{из} \cdot K_y} = \frac{0,015}{1,55 \cdot 10^{-4} \cdot 1,05} = 92,2$$

Принимаем $N_{2c} = 94$

Количество слоёв секции вторичной обмотки:

$$n_2 = \frac{N_2}{N_{2c}} = \frac{524}{94} = 5,7$$

Принимаем $n_2 = 6$

Уточненное количество витков секции вторичной обмотки:

$$N_2 = N_{2c} \cdot n_2 = 94 \cdot 6 = 524$$

Активное сопротивление секции вторичной обмотки:

$$R_2 = \rho \cdot \frac{l_{в2}}{S_{пр}} \cdot N_2 = 1,76 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,025}{1,227 \cdot 10^{-8}} \cdot 524 = 18,89 \text{ Ом},$$

где $l_{в2} = \pi \cdot D_{к2} = 3,14 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 0,025 \text{ м}$ – средняя длина витка.

Индуктивность секции вторичной обмотки:

$$L_{2c} = L_{3c} = N_2^2 \cdot G = 524^2 \cdot 12 \cdot 10^{-9} = 3,3 \cdot 10^{-3} \text{ Гн},$$

$$\text{где } G = \frac{\mu_0 \cdot \mu_c \cdot S_c}{l_{ср}} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 41 \cdot 7 \cdot 10^{-6}}{0,03} = 12 \cdot 10^{-9}$$

Полная индуктивность вторичной обмотки:

$$L_2 = L_{2c} + L_{3c} + L_s = 3,3 \cdot 10^{-3} + 3,3 \cdot 10^{-3} + 0,008 = 0,013 \text{ Гн}$$

Наружный диаметр катушки датчика:

$$D_k = D_{кар} + 2 \cdot n \cdot d_{из} = 7,5 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 14 \cdot 1,55 \cdot 10^{-4} = 0,012 \text{ м}$$

где $n = n_1 + n_2 = 8 + 6 = 14$ – общее количество слоёв.

Напряжение на клеммах рабочей обмотки в нулевом положении подвижной части:

$$U_{21} = \frac{0,5 \cdot U_{max} + \frac{U_{max}}{2}}{K \cdot l_{max}} = \frac{0,5 \cdot 0,6 + \frac{0,6}{2}}{50 \cdot 0,02} = 0,6 \text{ В}$$

$$U_{22} = \frac{U_{max}}{2 \cdot K \cdot l_{max} - 0,5 \cdot U_{max}} = \frac{0,6}{2 \cdot 50 \cdot 0,02 - 0,5 \cdot 0,6} = 0,261 \text{ В}$$

4.2 Тепловой расчет

В катушке данного датчика используется изоляция класса А, допустимая температура нагрева $\Theta = 105 \text{ }^\circ\text{C}$.

Тогда удельное сопротивление медного провода при температуре 105 °C:

$$\begin{aligned}\rho_{105} &= \rho_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot (\Theta - 20)] = 1,76 \cdot 10^{-8} \cdot [1 + 0,043 \cdot (105 - 20)] \\ &= 8,2 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}\end{aligned}$$

$\alpha = 0,043$ - температурный коэффициент сопротивления меди.

Активное сопротивление при температуре 105 °C обмоток:

- Возбуждения:

$$R_{1_{105}} = \rho_{105} \cdot \frac{l_{B1}}{S_{\text{пр}}} \cdot N_1 = 8,2 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,031}{1,227 \cdot 10^{-8}} \cdot 2864 = 1052 \text{ Ом}$$

- Рабочих:

$$R_{2_{105}} = R_{3_{105}} = \rho_{105} \cdot \frac{l_{B2}}{S_{\text{пр}}} \cdot N_2 = 8,2 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,025}{1,227 \cdot 10^{-8}} \cdot 524 = 87,9 \text{ Ом}$$

Полное сопротивление цепи первичной и вторичной обмоток:

$$Z_1 = R_{1_{105}} + j \cdot \omega \cdot L_1 = 1052 + j \cdot 12560 \cdot 0,045 = 1052 + 565,2 \cdot j \text{ Ом}$$

$$Z_2 = 2 \cdot R_{2_{105}} + j \cdot \omega \cdot L_2 = 2 \cdot 87,9 + j \cdot 12560 \cdot 0,013 = 175,8 + 163,3 \cdot j \text{ Ом}$$

Мощность, выделяемая на первичной и вторичной обмотках:

$$P_1 = I_1^2 \cdot R_{1_{105}} = (5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1052 = 0,026 \text{ Вт},$$

$$\text{где } I_1 = \frac{U_H}{Z_1} = \frac{6}{1194} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

$$P_2 = I_2^2 \cdot 2 \cdot R_{2_{105}} = (2,5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 2 \cdot 87,9 = 0,0005 \text{ Вт},$$

$$\text{где } I_2 = \frac{U_{\text{max}}}{Z_2} = \frac{0,6}{239,9} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

Суммарная мощность:

$$P = P_1 + P_2 = 0,026 + 0,0005 = 0,027 \text{ Вт}$$

Поверхность охлаждения катушки:

$$S_{\text{охл}} = \pi \cdot D_k \cdot l_k = 3,14 \cdot 0,012 \cdot 0,055 = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Перегрев катушки τ :

$$\tau = \frac{P}{K_{\text{то}} \cdot S_{\text{охл}}} = \frac{0,027}{9 \cdot 2,1 \cdot 10^{-3}} = 1,42 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Установившаяся температура поверхности:

$$\Theta_y = \Theta_{\text{oc}} + \tau = 40 + 1,42 = 41,42 \text{ }^{\circ}\text{C} < 105 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Исходя из данных электромагнитного и теплового расчётов, полученные параметры являются приемлемыми для данного типа датчика.

5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

5.1 Определение нелинейности характеристики выходного напряжения датчика

На физической модели датчика линейных перемещений типа ЛДТ-3522 сняты экспериментальным путем характеристики датчика. Эксперимент проводился в лаборатории «Бесконтактные электрические аппараты» кафедры «Электротехнические комплексы и материалы» (Рис. 7)

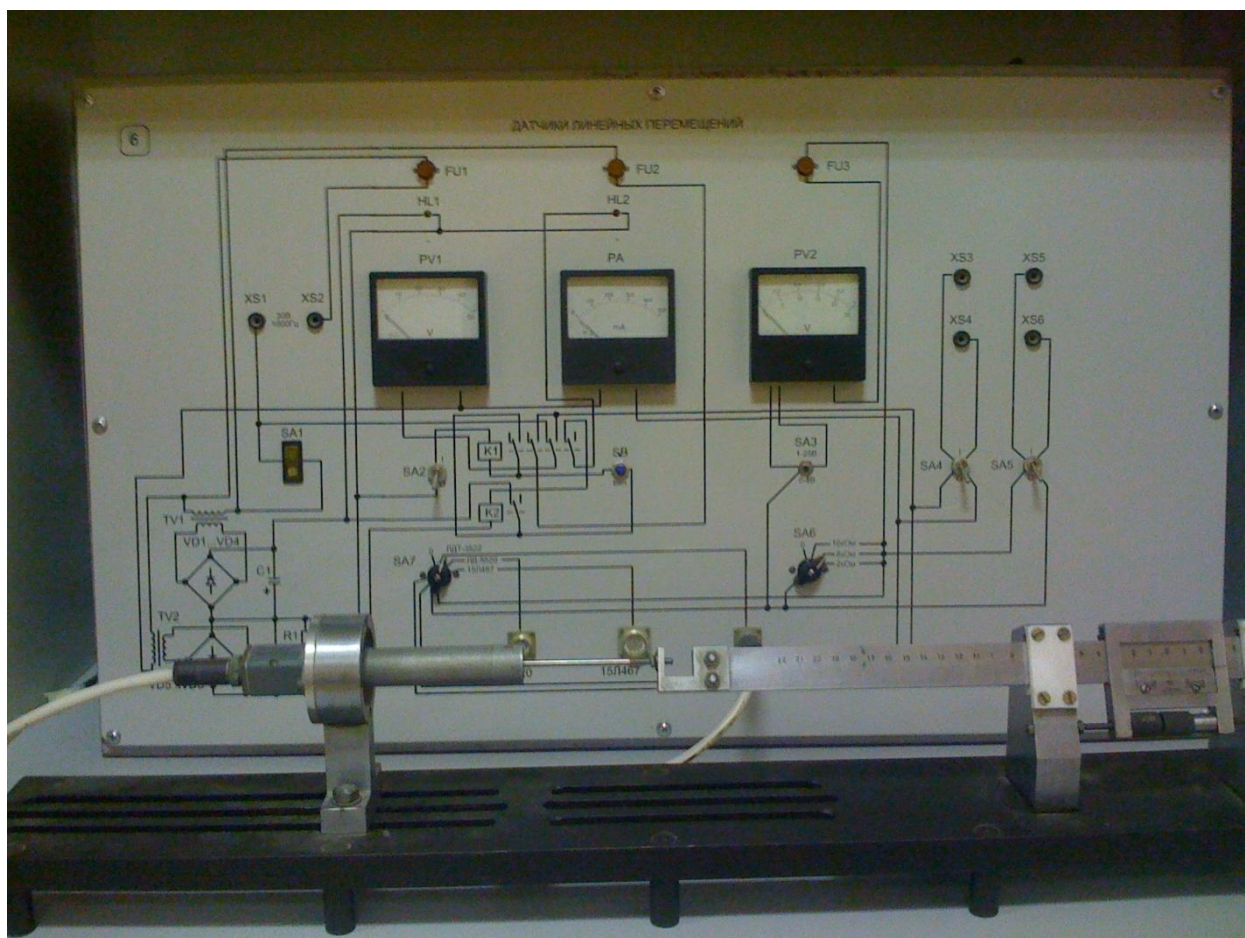


Рисунок 7 – Физическая модель датчика

Сопротивление нагрузки датчиков 10 кОм:

Рабочий диапазон датчика: ± 30 мм;

«+» – перемещение штока в сторону датчика;

«-» – перемещение штока внутрь датчика.

Определяется зависимость выходного напряжения датчика ЛДТ от перемещения в точках:

-30; -25; -20; -15; -10; -5; 0; 5; 10; 15; 20; 25; 30 мм.

Результаты измерений заносим в таблицу 2.

Таблица 2.

Перемещ., мм.	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30
U _{вых} , В	7	6.5	5.5	4	2.5	1	0	1	2.3	4	5.5	6.5	7
Нелин, %	1.4	15.2	35.2	52.6	70.8	94.4	0	94.4	67.5	52.6	35.2	15.2	1.4

Нелинейность характеристик рассчитывается по формуле:

$$n = \frac{\frac{U_i}{K} - l_i}{l_k} \cdot 100\%,$$

где U_i – напряжение, измеренное в точках указанных в таблице, В;

l_i – точки, указанные в таблице, В;

K – коэффициент, показывающий крутизну характеристики выходного напряжения в конце рабочего диапазона;

l_k = 30 мм – рабочий диапазон.

Пример расчета для одной точки:

$$n = \frac{\frac{U_i}{K} - l_i}{l_k} \cdot 100\% = \frac{\frac{6,5}{0,22} - 30}{30} \cdot 100\% = 15,2\%$$

Коэффициент K рассчитывается отдельно в положительную и отрицательную стороны по формуле (рис. 10):

$$K = \frac{U_{вых}}{l_k} = \frac{7}{30} = 0,23,$$

где $U_{\text{вых}}$ – напряжение в конце рабочего диапазона.

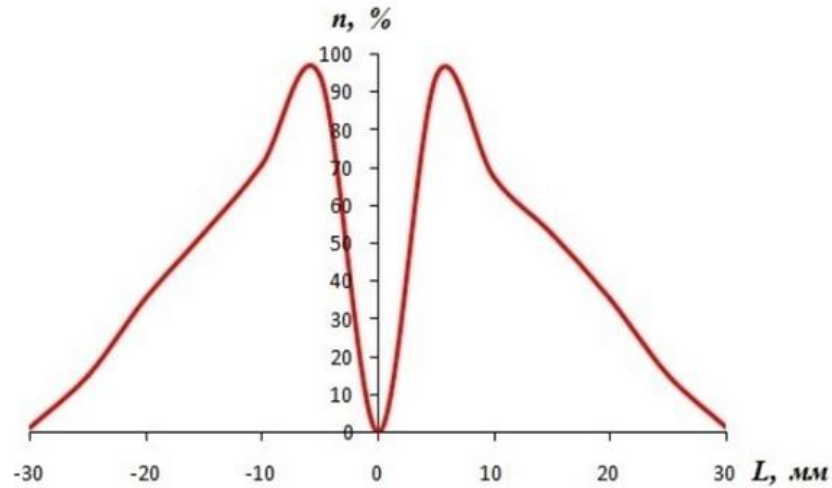


Рисунок 8 – Нелинейность характеристики при перемещении датчика

5.2 Выходная характеристика датчика

Выходная характеристика датчика представляет собой зависимость выходного напряжения от положения подвижной части и описывается выражением:

$$U_{\text{вых}} = f(l_i).$$

Строится по данным полученным из опыта. Представлена на рисунке 9.

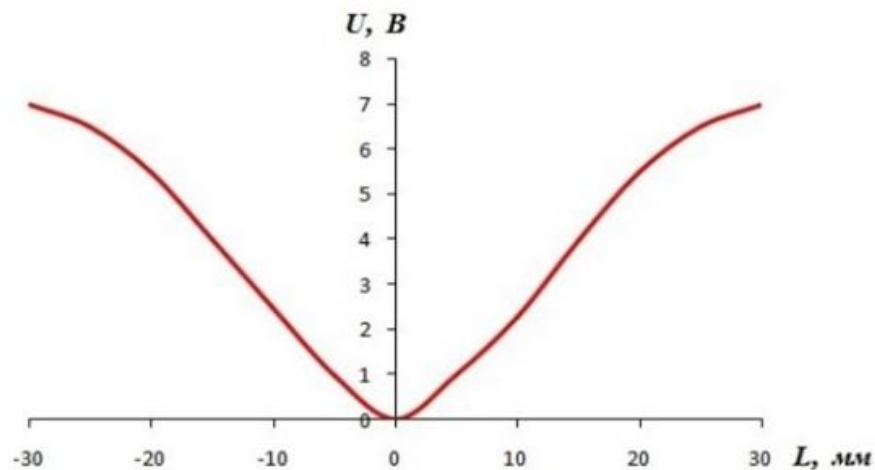


Рисунок 9 – Выходная характеристика датчика

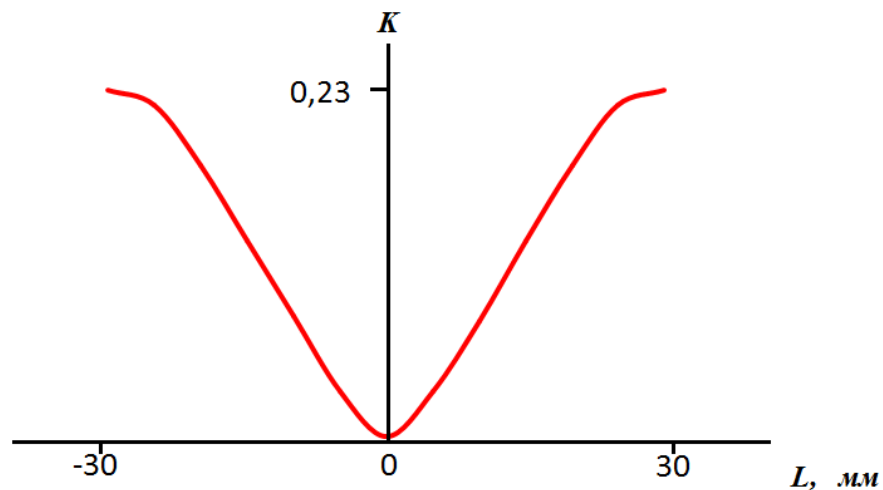


Рисунок 10 – Коэффициент крутизны выходной характеристики

5.3 Построение нагрузочной характеристики

Нагрузочная характеристика необходима для определения пределов, в которых можно измерять нагрузку так, чтобы выходное напряжение датчика изменялось незначительно.

Нагрузочная характеристика описывается выражением:

$$U_{\text{вых}} = f(R_{\text{н}})$$

Данные заносятся в таблицу 3, нагрузочная характеристика показана на рисунке 11.

Таблица 3.

Нагрузка $R_{\text{н}}$, кОм	2 кОм	6 кОм	10 кОм
Напряжение $U_{\text{вых}}$, В	7,6	8	8,2

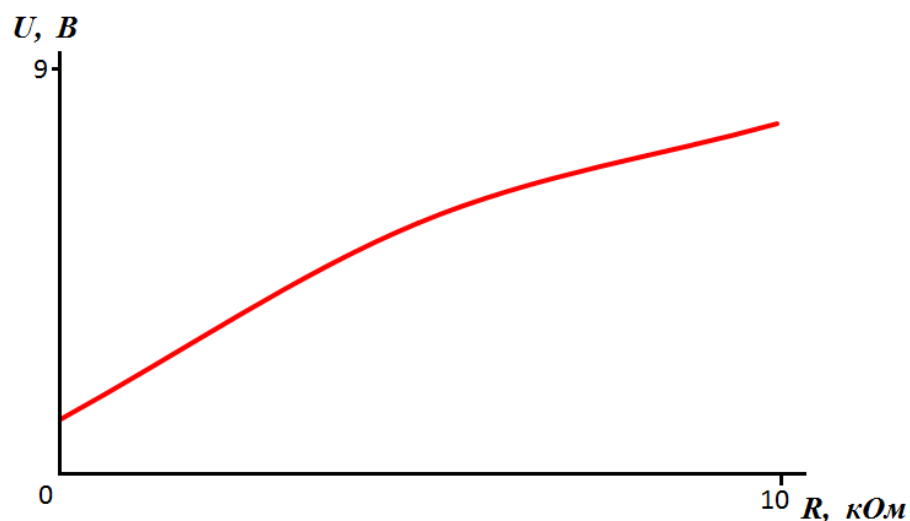


Рисунок 11 – Нагрузочная характеристика

В результате исследования параметров и характеристик датчика линейного перемещения было выяснено, что нелинейность характеристики увеличивается при приближении штока датчика к нулевому положению. По выходной характеристике также видно, что она нелинейна и минимум характеристики совпадает с нулевым положением штока. Такие результаты объясняются некоторой неравномерностью электромагнитной связи между обмотками, причиной которой может быть неравномерное распределение секций рабочей обмотки над обмоткой возбуждения и соотношением витков этих обмоток под сердечником.

Нагрузочная характеристика показывает, что при изменении нагрузки от 2 до 10 кОм выходное напряжение меняется незначительно, и это изменение носит нелинейный характер, что объясняется насыщением сердечника при протекании больших токов при меньшей нагрузке.

6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Темой данного раздела является разработка технологического процесса общей сборки датчика линейных перемещений.

В настоящее время без автоматизированных систем управления и регулирования невозможно представить ни одно крупное производство. Широкое использование АСУ привело к повышенному спросу на информационно-измерительные функциональные преобразователи угловых и линейных перемещений, которые в значительной мере определяют основные технические показатели этих систем и, прежде всего, точность и быстродействие.

Важной задачей при производстве таких столь необходимых для индустрии устройств как датчики является обеспечение надёжности конструкции и качества сборки.

Задача данного раздела – применение современных технологий сборки, тщательный выбор оборудования и оснастки, а так же обоснованное нормирование сборочных работ.

6.1 Анализ конструкции датчика на технологичность

Технологичность детали можно оценить по следующим критериям:

1. Конструкторская база может быть использована как измерительная. Это позволяет повысить точность изготовления за счет уменьшения погрешностей базирования.
2. Поверхности детали являются однотипными
3. Постановка размеров позволяет обеспечить точность параметров детали.
4. Возможно использование метода получения заготовок, обеспечивающих поверхности с точностью и шероховатостью не требующих дальнейшей обработки поверхности, что позволяет сократить объем и трудоемкость механической обработки.

5. Возможно применение высокопроизводительных процессов.

6. Имеется типовой технологический процесс изготовления детали, что позволяет сократить технологическую подготовку производства.

7. Групповая обработка возможна.

Кроме основных показателей имеются дополнительные технические и технико-экономические показатели.

Предусмотрены нормативные технические показатели технологичности, с которыми необходимо сравнить расчетные показатели. Для каждой группы изделий определен состав базовых показателей из числа предусмотренных. Их выбирают с учетом наибольшего влияния на технологичность конструкции прибора.

Данный аппарат обладает достаточным показателем технологичности, в его конструкции присутствуют детали, требующие высокой точности при изготовлении.

Конструкцию ЛДТ возможно разбить на сборочные узлы: корпус, шток, катушка на стакане (стакан представляет собой каркас катушки из немагнитной стали), пробка, закрывающая корпус.

Корпус изготавливается при помощи токарного станка, имеет достаточно простую форму и не требует дополнительной обработки.

Подвижная часть и стакан так же изготавливаются на токарном станке, что обеспечивает возможность изготавливать их большими партиями и в автоматическом режиме.

Основной деталью, требующей высокой точности при изготовлении является катушка. Для обеспечения высокой точности показаний датчика, в ней должно быть точно выдержано число витков, качественно проложена изоляция между слоями, а так же должен быть качественный провод с хорошей изоляцией.

Объем выпуска аппарата составляет 7000 штук в год. Аппарат предназначен для выпуска в серийном производстве.

6.2 Составление схемы сборки и маршрутной технологии общей сборки датчика

Схема сборки датчика представлена на рис. 12.

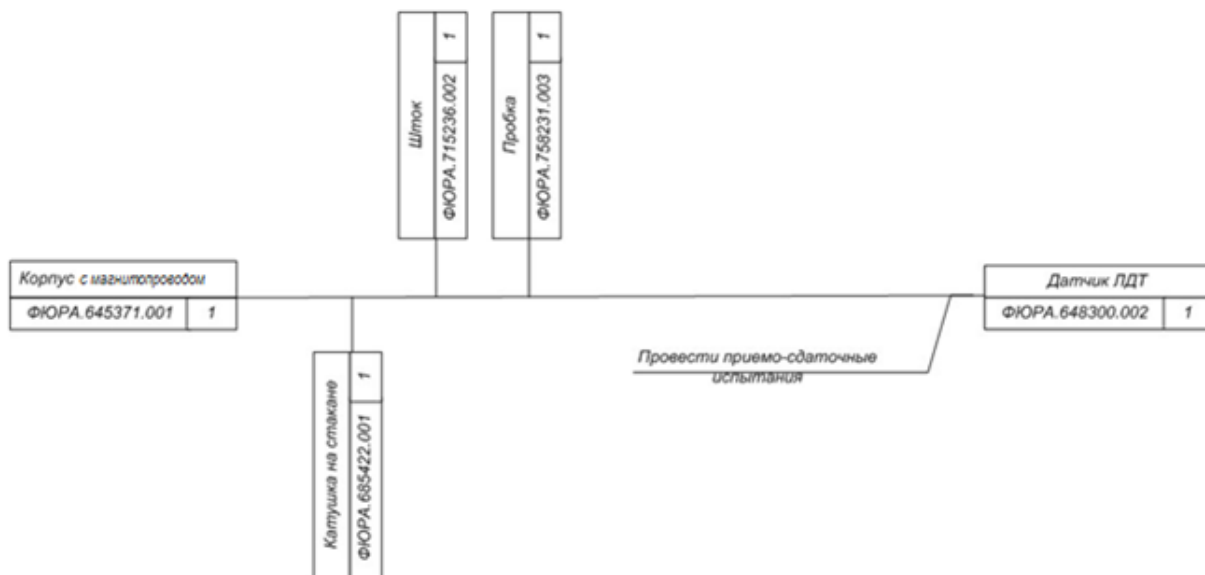


Рисунок 12 – Схема сборки контактора

К сборщику на рабочее место проступают сборочные единицы и детали, представленные в спецификации.

Базовой сборочной единицей является корпус с магнитопроводом. Установить в корпус катушку со стаканом до упора в дно, без нагрузки на выводные концы. Установить подвижную часть внутрь стакана. Продеть выводные концы в отверстие на пробке. Закрутить пробку.

Окончательным этапом общей сборки являются приёмо-сдаточные испытания.

6.3 Выбор сборочного оборудования и оснастки

Все сборочные операции осуществляются без применения специальных инструментов поступательными движениями в вертикальной плоскости.

Сборочные операции производятся на столе сборщика - верстак К-2-130.

Контроль размеров производится с помощью мерительных инструментов.

Приёмо-сдаточные испытания производятся на том же верстаке.

Необходимо испытать изоляцию катушки, путем подачи более высокого напряжения, чем номинальное на корпус и любой из выводов катушки. При испытании использовать напряжение 200 В.

Необходимо протестировать точность датчика в его нулевом и краевых положениях (35 мм в обе стороны от нулевого положения). Данный тест производить с жестким фиксированием датчика в посадочном месте. Сравнить полученные результаты с эталонными данными из таблицы 4. Отклонения должны лежать в пределах нормы.

Таблица 4.

Перемещ., мм.	-35	0	35
$U_{\text{вых}}, \text{ В}$	7	0	7

Техника безопасности:

При выполнении работ следует придерживаться правил инструкций по технике безопасности. Для этой цели на предприятии имеется отдел по технике безопасности, который проводит инструктаж рабочего персонала, разрабатывает мероприятия для снижения травматизма.

6.4 Нормирование сборочных работ и расчет количества технологического оборудования для обеспечения заданной программы

Программа выпуска равна 7000 шт./г. Ниже приведены таблицы норм времени приёмо-сдаточных испытаний и общей сборки.

Таблица 5. Приемо-сдаточные испытания изделия.

Наименование	Штучное время, $t_{\text{шт}}$, мин
Установка датчика в посадочное место на верстаке и снятие по завершении испытаний	3,00
Испытание изоляции катушки	0,5
Испытание датчика на точность	2,00
Общее время для одного датчика	5,5

Таблица 6. Контрольные операции.

Наименование	Штучное время, $t_{шт}$, мин
Внешний осмотр	0,08
Контроль габаритных размеров	0,20
Контроль массы	0,06
Общее время для одного датчика	0,34

Таблица 7. Общая сборка изделия и слесарно-сборочные операции.

Номер перехода	Содержание работы	Штучное время, $t_{шт}$, мин
1	Корпус, установить его на верстак	0,02
2	Установить в корпус катушку со стаканом до упора в дно	0,2
3	Установить шток	0,2
4	Продеть выводные концы в пробку и закрутить ее	0,2
Общее время для одного датчика		0,62

При непрерывной сборке количество изделий, выпускаемых за день одним сборщиком, будет равно:

$$Q_{дн} = \frac{Q_{г} \cdot k}{247},$$

где $Q_{дн}$ – дневной объем выпуска, шт./день;

$Q_{г}$ – объём запуска, шт./г.

K - принимаемое количество брака, в нашем случае - 4 %.

247 – количество рабочих дней в году.

$$Q_{дн} = \frac{7000 \cdot 1,04}{247} \approx 30 \text{ шт/день}.$$

Проверим, возможно ли произвести общую сборку 29 контактора в день.

$$t_{\text{дн}} = t_{\text{шт}} \cdot Q_{\text{дн}} = 6,46 \cdot 30 = 194 \text{ мин},$$

при длительности рабочей смены в 450 мин (8 часовая рабочая смена, с вычетом свободного времени рабочего) сборка возможна в 1 поток.

Согласно проведенным расчетам рабочие уложатся в план годовой программы выпуска.

6.5 Определение необходимого количества оборудования

Количество оборудования, необходимое для организации производства, и его загрузка являются исходными данными для проектирования участка цеха. Определяем составляющие на 2015 год, число дней в котором 365.

$V_{\text{д}} = 118$ – количество выходных дней;

$P_{\text{д}} = 14$ – количество праздничных дней;

$P_{\text{пд}} = 5$ – количество предпраздничных дней;

$z = 1$ – число смен работы оборудования;

$K_{\text{р}} = 1$.

Эффективный годовой фонд времени работы верстака К-2-130 равен

$$\begin{aligned} F_{\text{д}} &= [(365 - V_{\text{д}} - P_{\text{д}}) \cdot 8 - P_{\text{пд}}] \cdot z \cdot K_{\text{р}} = \\ &= [(365 - 118 - 14) \cdot 8 - 5] \cdot 1 \cdot 1 = 1859 \text{ часов}. \end{aligned}$$

Расчетное число оборудования равно

$$C_{\text{р}} = \frac{T_{\text{шт-к}} \cdot N}{60 F_{\text{д}}} = \frac{6,46 \cdot 7000}{60 \cdot 1859} = 0,4, \text{ где}$$

$T_{\text{шт-к}}$ – сумма штучно-калькуляционного времени по всем операциям для одного верстака.

Принимаем число верстаков равным $C_{\text{п}}=1$ и определяем коэффициент загрузки оборудования $K_{\text{з}} = (C_{\text{р}} / C_{\text{п}}) \cdot 100 = (0,4/1) \cdot 100 = 40 \%$.

График загрузки оборудования представлен на рис. 13.

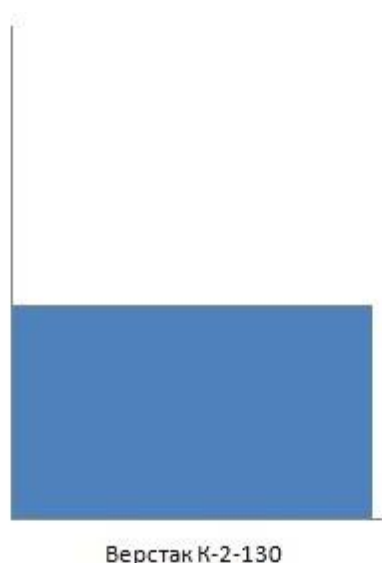


Рисунок 13 – График загрузки оборудования

7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

7.1 Производственная безопасность

7.1.1 Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого датчика линейных перемещений

При разработке и эксплуатации датчика линейных перемещений вредным фактором являются возникающие электромагнитные поля и волны.

Биологическое действие ЭМП радиочастот характеризуется тепловым действием и нетепловым эффектом. Под тепловым действием понимается интегральное повышение температуры тела или отдельных его частей при общем или локальном облучении. Нетепловой эффект связан с переходом электромагнитной энергии в объекте в нетепловую форму энергии (молекулярное резонансное истощение, фитохимическая реакция и др.). При длительном воздействии ЭМП возникает расстройство центральной нервной системы, происходят сдвиги эндокринно-обменных процессов, изменения состава крови. Облучение глаз может привести к помутнению хрусталика

(катаракте). Наибольшей биологической активностью обладает диапазон СВЧ в сравнении с УВЧ и ВЧ.

Так как электромагнитные поля возникающие при эксплуатации при разработке и эксплуатации датчика линейных перемещений пренебрежимо мало, защита от них не требуется.

7.1.2 Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого датчика линейных перемещений

Опасным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

В отделе предприятия могут наличествовать следующие опасные факторы:

- прикосновение к частям электропроводки или электрооборудования, находящихся под напряжением в случае аварийного режима (например, короткого замыкания);
- прикосновение или приближение к токоведущим частям;
- нарушение норм санитарии (гигиена труда - область профилактической медицины, изучающая условия сохранения здоровья на производстве, и мероприятия способствующие этому; системы и устройства вентиляции, отопления, теплоснабжения, водоснабжения, канализации, защиты человека от вибрации, шума и т.д.);
- наличие емкостей с вредными веществами;
- раскаленные тела.

Так как датчик линейных перемещений может эксплуатироваться в различных автоматизированных системах управления, это может привести к возникновению различных опасных факторов при его эксплуатации. При некорректном срабатывании датчика система получит ложные данные,

функции контроля и регулирования не смогут быть осуществлены должным образом, что может повлечь за собой травмы.

7.3 Экологическая безопасность

Влияние на селитебную зону отсутствует.

При эксплуатации и утилизации датчика перемещений отсутствуют выбросы в атмосферу и гидросферу.

Так как для производства датчика используют металлы, существует влияние на литосферу, проявляющееся в следующем:

- Создание антропогенных зон мезорельефа (карьеры, отвалы и т.д.);
- Активизация геологических процессов (оседания, осыпи и т.д.);
- Механическое и химическое загрязнение почв;
- Изменение физических полей.

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

На обмотках датчика линейных перемещений есть напряжение, возникает опасность возникновения коротких замыканий. В случае, если датчик применен в системах высокого давления с легко воспламеняемыми веществами, это может привести к возникновению ЧС. Наиболее вероятный сценарий ЧС – пожар.

Необходимо использование средств и мер для предупреждения пожаров. Пожарные извещатели, способны контролировать весь объем здания, не оставляя "слепых зон". Своевременность сигналов обеспечивает спокойную эвакуацию людей без паники.

На промышленных предприятиях, таких как химические комбинаты, где риск возникновения пожаров большой, система предупреждения и оповещения включается в общую структуру внутренней службы пожарной безопасности. Участки риска оснащаются не только датчиками, но и средствами ликвидации огня. На них находится звуковая сигнализация,

противопожарный щит и аварийная насосная станция для самостоятельного ведения борьбы с огнем до прибытия централизованных подразделений.

Для ликвидации пожара необходимо прекратить доступ окислителя (кислорода воздуха) или горючего вещества в зону горения либо снизить их поступление до величин, при которых горение не может происходить; охладить зону горения до температуры ниже температуры самовоспламенения или сделать температуру горящего вещества ниже температуры воспламенения; разбавить горючие вещества негорючими.

Для этих целей применяют огнетушащие вещества. Основными огнетушащими веществами являются вода в жидком и парообразном состоянии, химическая и воздушно-механическая пена, водные растворы солей, инертные газы, галоидированные огнетушащие составы, сухие огнетушащие порошки.

К первичным средствам пожаротушения в цехе и на предприятии относятся приборы, используемые рабочими, служащими и при возникновении пожара: ручные огнетушители, внутренние пожарные краны, оборудованные рукавами и стволами, и пр. В качестве огнетушащего средства в огнетушителях используют химическую или воздушно-механическую пену, диоксид углерода (в жидком состоянии), аэрозольные бромсодержащие составы и порошки.

Для тушения пожаров в здании в начальный период их развития наряду с первичными средствами тушения используют внутренние пожарные краны, устанавливаемые на стояках внутреннего водопровода. Они представляют собой расположенные в нишах с дверцами патрубки с соединительными головками, предназначенными для присоединения пожарных рукавов со стволами. Пожарные краны размещены в коридорах, на лестничных клетках.

При возникновении пожара или загорания на любом участке цеха (в помещении, на складе, территории) немедленно объявляют пожарную тревогу (по местному телефону) и сообщают в пожарную охрану. Для этого

используют ближайший телефон. Номер телефона пожарной охраны вывешен на видных местах на территории предприятия, в помещениях, на промышленных площадках и у каждого телефонного аппарата с выходом в городскую или объектовую телефонную сеть.

Одновременно с сообщением о пожаре рабочие и служащие принимают меры к его ликвидации и эвакуации людей из горящего здания или помещения, а также меры по усилению охраны объекта.

Для тушения пожара используют имеющиеся на предприятии первичные средства пожаротушения (огнетушители, воду, песок, асбестовые покрывала).

При загорании изоляции проводов или обмоток электродвигателей прежде всего обесточивают электрическую сеть (это делает дежурный электрик).

После прибытия на предприятие к горящему помещению, цеху либо складу городской или объектовой пожарной части члены ДПД, боевых расчетов, а также остальные рабочие и служащие поступают в распоряжение руководителя тушения пожара пожарной части и действуют в соответствии с его указаниями.

7.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ) регламентируются СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96.

Предельно допустимые уровни воздействия ЭМИ на человека приведены в таблице 8.

Таблица 8.

Диапазоны частот	Предельно допустимая энергетическая экспозиция		
	По электрической составляющей, $(В/м)^2 \times ч$	По магнитной составляющей, $(А/м)^2 \times ч$	По плотности потока энергии, $(мкВт/кв.см) \times ч$
30 кГц - 3 МГц	20000,0	200,0	
3 - 30 МГц	7000,0	Не разработаны	
30 - 50 МГц	800,0	0,72	
50 - 300 МГц	800,0	Не разработаны	
300 МГц - 300 ГГц			200,0

ГОСТ 12.1.006-84 регламентирует допустимые уровни электромагнитных полей на рабочих местах и содержит требования к проведению контроля ЭМП на рабочих местах

Требования к проведению контроля:

- Уровни ЭМП на рабочих местах контролируются измерением в диапазоне частот 60 кГц – 300 МГц напряженности электрической и магнитной составляющих, в диапазоне частот 300 МГц – 300 ГГц плотности потока, энергии ЭМП с учетом времени пребывания персонала в зоне облучения.
- Для измерений в диапазоне частот 60 кГц - 300 МГц следует использовать приборы, предназначенные для определения среднего квадратического значения напряженности электрической и магнитной составляющих поля с погрешностью 30%.
- Для измерений в диапазоне частот 300 МГц - 300 ГГц следует использовать приборы, предназначенные для определения средних

значений плотности потока энергии, с погрешностью 40% в диапазоне частот 300 МГц - 2 ГГц и 30% в диапазоне частот выше 2 ГГц.

- Измерения напряженности и плотности потока энергии ЭМП следует проводить не реже одного раза в год, а также в следующих случаях: при вводе в действие новых установок; при внесении изменений в конструкцию, размещение и режим работы действующих установок; во время и после проведения ремонтных работ, которые могут сопровождаться изменением излучаемой мощности; при внесении изменений в средства защиты от ЭМП; при организации новых рабочих мест.
- Измерения напряженности или плотности потока энергии ЭМП допускается не проводить в случаях если: установка не работает в режиме излучения на открытый волновод, антенну или другой элемент, предназначенный для излучения ЭМП в окружающую среду, и ее номинальная мощность согласно паспортным данным не превышает: 2,5Вт - в диапазоне частот от 60 кГц до 3 МГц; 400мВт - в диапазоне частот выше 3 МГц до 30 МГц; 100 мВт - в диапазоне частот выше 30 МГц до 300 ГГц.
- Измерения следует выполнять при наибольшей используемой мощности источника ЭМП. Допускается проведение измерений в антенных полях передающих радиотехнических объектов при неполной излучаемой мощности с последующим пересчетом результатов на условия максимального излучения.
- Измерения ЭМП на рабочих местах проводят на расстояниях от источников ЭМП, соответствующих нахождению тела работающих, на нескольких уровнях от поверхности пола или земли с определением максимального значения напряженности или плотности потока энергии ЭМП для каждого рабочего места. В каждой точке проводят не менее 3-х измерений. Наибольшее из зарегистрированных значений заносят в протокол.

- Во время проведения измерений персонал не должен находиться в зоне измерения. При невозможности выполнения данного требования в протоколе измерений делается специальная отметка.
- Лицо, проводящее измерения, не должно находиться между источником излучения и измерительной антенной.

Эксплуатируемое оборудование должно быть в полной исправности. Ограждение или защитные устройства должны быть установлены на место и соответствующим образом закреплены. Работать на неисправном оборудовании и при отсутствии или неисправном ограждении запрещается.

Вновь установленное или вышедшее из капитального ремонта оборудование может быть пущено в работу только после его комиссионной приемки с участием начальника цеха и инженера по охране труда.

Верстаки, столы и стеллажи должны быть прочными, устойчивыми и безопасными для работы и надежно закреплены на полу. Ящики верстаков должны иметь стопоры.

Поверхность верстаков должна быть обита гладким материалом, столы и стеллажи не должны иметь выбоин, заусенцев, трещин и др. дефектов.

Полки стеллажей должны иметь наклон внутрь во избежание падения хранящихся предметов.

При обивке верстака нельзя допускать выступающих кромок и острых уголков. Ширина верстака должна иметь не более 0,75м. Расстояние между тисами на верстаках должно соответствовать размеру обрабатываемых деталей и быть не менее 1м между осями тисов.

Для защиты рабочих от отлетающих осколков на верстаке должны быть установлены сетки высотой не менее 1м с ячейками не более 3-х мм.

Детали и материалы, поступившие на обработку, должны размещаться на специальных и четко обозначенных местах.

Для каждого работающего должно быть обеспечено удобное рабочее место, не стесняющее его действий во время исполняемой работы. Рабочее место должно быть обеспечено достаточной площадью для размещения

вспомогательного оборудования, а так же необходимым инвентарем для хранения инструмента, оснастки заготовок и обрабатываемых изделий (стеллажи, столы, ящики, тумбочки и т.п.).

На рабочем месте под ногами рабочего должен быть исправный деревянный решетчатый настил, у которого расстояние между планками должно соответствовать 25-30мм.

Рабочее место должно быть достаточно освещенным и содержаться в чистоте.

Уборка рабочего места должна производиться в течение рабочего дня и после каждой смены по мере накопления на рабочих местах готовой продукции и отходов.

Перед началом работы проверить весь инструмент, хорошо осмотреть свою одежду. На рабочем костюме не должно быть болтающихся концов тесемок, манжеты рукавов следует завязать или застегнуть на пуговицы, длинные волосы убрать под головной убор.

Работы по ТО и ТР, испытанию и наладке электрического и электронного оборудования необходимо производить в соответствии с ГОСТ 12.1.019 – 79 и ПУЭ. Стенд для диагностики и ремонта электронного оборудования должен иметь защитное заземление (или устройство защитного отключения). Испытания электрических машин, аппаратов и счетчиков электрической энергии на электрическую прочность изоляции должны производиться на специально оборудованной станции (площадке, стенде), имеющей необходимое ограждение, сигнализацию, знаки безопасности и блокирующие устройства. Перед началом и во время испытаний на станции (площадке) не должны находиться посторонние лица.

Условия труда определяются, с одной стороны трудовым процессом, а с другой - санитарно-гигиенической обстановкой, в которой выполняется трудовой процесс.

Санитарно-гигиеническая обстановка, определяющая условия труда, характеризуется метеорологическими параметрами, действием вредных и ядовитых веществ, наличием шумов, вибраций, излучений и т.д.

Стены и потолки необходимо сооружать из малотеплопроводных материалов, не задерживающих осаждение пыли. Полы должны быть теплыми, эластичными, ровными и нескользкими.

Важную роль для здоровья человека играет состояние окружающей среды, метеорологические условия или микроклимат на производстве. Эксплуатируемое оборудование должно быть в полной исправности. Ограждение или защитные устройства должны быть установлены на место и соответствующим образом закреплены. Работать на неисправном оборудовании и при отсутствии или неисправном ограждении запрещается.

8. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Одним из важнейших свойств электрического аппарата, характеризующего его с технико-экономической точки зрения, является его надежность. Под надежностью понимается свойство аппарата выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки (числа операций, километров пути и др.) и обусловленное безотказностью, ремонтпригодностью и сохраняемостью работоспособного состояния. Здесь уместно сказать, что годовая стоимость ремонта и обслуживания аппаратов одного производственного объекта в ряде случаев превышает стоимость этих аппаратов вследствие их недостаточной надежности. При этом надо учитывать ущерб, наносимый простоями, возникающий вследствие выхода из строя аппаратов.

8.1 Расчетная калькуляция датчика линейных перемещений

Составим калькуляцию расходов сырья и материалов на производство датчика линейных перемещений. Затраты делятся на основные и накладные. Основные затраты непосредственно связаны с производственной деятельностью, накладные затраты связаны с организацией, обслуживанием и управлением производством. Калькуляция включает в себя следующие статьи затрат:

- Материальные затраты;
- Затраты на оплату труда;
- ЕСН;
- Накладные расходы.

Определение материальных затрат на единицу продукции.

Определение материальных затрат на единицу продукции. Перечень составных частей датчика сведен в таблицу 9.

Таблица 9. Перечень составных частей датчика

Наименование комплектующих	Норма расхода, шт.	Цена на 1 шт., руб.	Затраты, руб.
Корпус	1	97,00	97,00
Магнитопровод	1	150,40	150,40
Стакан	1	47,70	47,70
Катушка	1	250,30	250,30
Шток	1	50,60	50,60
Пробка	1	18,00	18,00
Всего			614

Материальные затраты на единицу продукции составили $C_m = 614$ руб./шт.

с учетом ТЗР 4% составили $C_m = 639$ руб./шт.

8.1.1 Расчет затрат на заработную плату

Определим затраты на оплату труда производственных рабочих.

Найдем технологическую трудоемкость по отдельным операциям.

Трудоемкость следует из программы выпуска (7000 шт. в год; 30 шт. в день).

Таблица 10. Определение трудоемкости операций

Наименование операции	Трудоемкость, час
Сборка элементов датчика	0,05
Тестирование работы датчика	0,06
Технологическая трудоемкость	0,11

Тарифная заработная плата сборщика равна в размере 60 р/ч:

$$З_{\text{тар}} = 0,11 \cdot 60 = 7 \text{ руб.}$$

Определим премию за выполнение норм плана:

$$\text{Пр} = З_{\text{тар}} \cdot 20\% = 7 \cdot 0,2 = 2 \text{ руб.}$$

С учетом районного коэффициента:

$$\text{Рк} = (З_{\text{тар}} + \text{Пр}) \cdot 30\% = (7 + 2) \cdot 0,3 = 3 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата производственных рабочих с учетом премии и надбавки равна:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{тар}} + \text{Пр} + \text{Рк} = 7 + 2 + 3 = 12 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата производственных рабочих равна 12% от основной заработной платы производственных рабочих:

$$З_{\text{доп}} = 0,12 \cdot З_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 12 = 2 \text{ руб.}$$

Единый социальный налог:

Отчисления на социальные нужды включают в себя: отчисления в пенсионный фонд 20% , отчисления на социальное страхование 2,9% , отчисления на медицинское страхование 1,1% , на территориальный фонд страхования 2%, страхование от несчастных случаев 2%.

$$С_{\text{отч}} = (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \cdot 0,28 = (12 + 2) \cdot 0,28 = 4 \text{ руб.}$$

8.1.2 Расчет накладных расходов

Сумма накладных затрат составляет 110% от суммы основной заработной платы труда основных рабочих и включает в себя :

- заработная плата вспомогательных рабочих;
- отчисления на социальные цели вспомогательных рабочих;
- заработная плата административно-управленческого персонала;
- отчисления на социальные цели административно-управленческого персонала;
- амортизация основных средств;
- командировочные расходы;
- расходы на рекламу;
- прочие.

Сумма накладных затрат определяется по формуле:

$$С_{\text{накл}} = 110\% \cdot З_{\text{осн}} = 1,1 \cdot 12 = 14 \text{ руб.}$$

Расчет себестоимости сведен в таблицу 11.

Таблица 11. Смета затрат на один датчик линейных перемещений

Наименование	Сумма, руб.	Удельный вес, %
Материальные затраты	639	93
Основная заработная плата производственных рабочих	12	2
Дополнительная заработная плата производственных рабочих	2	3
Единый социальный налог	4	1
Итого прямые расходы	657	98
Накладные расходы	14	2
Итого:	671	100

Таким образом, полная себестоимость одного датчика равна 671 руб.

Рыночная цена контактора постоянного тока составляет 1200 руб./шт.

Определяем рентабельность данного производства:

$$\text{Рент} = \frac{\text{П}}{\text{С}} \cdot 100\% = \frac{1200 - 700}{700} \cdot 100\% = 71\%.$$

8.1.3 Расчет прибыли остающейся у предприятия

Определить выручку от реализации

Выручку от реализации определяем по формуле $Q_{\text{реал}} = \text{Ц} \cdot Q_t$,

где Ц – цена изделия, руб.;

Q_t – производственная программа, шт.

$$Q_{\text{реал}} = 700 \cdot 7000 = 4,9 \text{ млн. руб.}$$

Определить затраты ($\text{С}_{\text{полн}}$)

Затраты представляют собой сумму переменных затрат и постоянных затрат.

Переменные затраты:

$$C_{\text{пер}} = (C_{\text{м}} + C_{\text{зп}}) \cdot N_{\text{пр}},$$

где $C_{\text{м}}$ - прямые материальные затраты учитывают стоимость материалов, идущих на изготовление данного вида продукции, руб.;

$C_{\text{зп}}$ - затраты на оплату труда основных рабочих складываются из затрат труда основных рабочих и отчислений на социальные нужды, руб.

$$C_{\text{пер}} = (639 + 12 + 2 + 4) \cdot 7000 = 4,599 \text{ млн.руб./год}$$

Постоянные затраты $C_{\text{пост}}$ - это затраты, которые не зависят от объемов выпускаемой продукции. К ним относятся накладные расходы.

$$C_{\text{пост}} = 14 \cdot 7000 = 98 \text{ тыс. руб.}$$

$$C_{\text{полн}} = 4599000 + 98000 = 4697 \text{ тыс. руб.}$$

Налогооблагаемая прибыль рассчитывается следующим способом:

$$\Pi_{\text{н}} = Q_{\text{реал}} - C_{\text{полн}} = 4900000 - 4697000 = 203000 \text{ руб.}$$

Налог на прибыль составляет 24 % от налогооблагаемой прибыли:

$$H_{\text{пр}} = 0,24 \cdot \Pi_{\text{н}} = 0,24 \cdot 203000 = 48720 \text{ руб.}$$

Чистая прибыль:

$$\Pi_{\text{ч}} = \Pi_{\text{н}} - H_{\text{пр}} = 203000 - 48720 = 154280 \text{ руб.}$$

Расчет прибыли сведен в таблицу 12.

Таблица 12. Расчет прибыли.

Наименование	Сумма, руб.
Выручка от реализации	4900000
Переменные затраты	4599000
Постоянные затраты	98000
Налогооблагаемая прибыль	203000
Налог на прибыль	48720
Чистая прибыль	154280

По результатам таблицы 12 строится график точки безубыточности (рисунок 14). График точки безубыточности показывает влияние на прибыль объемов производства, продажной цены и себестоимости продукции, а также позволяет найти точку безубыточности, т.е. объем производства, при котором предприятие уже не имеет убытков, но еще и нет прибыли.

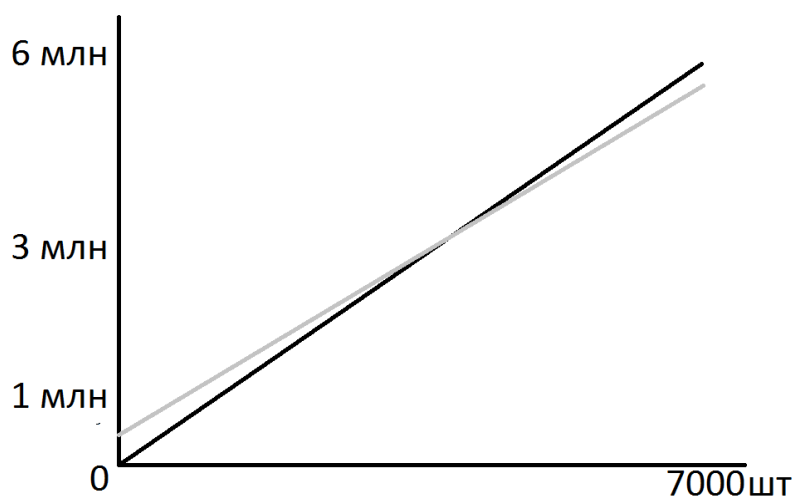


Рисунок 14 - График точки безубыточности

8.1.4 Определение точки безубыточности

Точка безубыточности рассчитывается по формуле:

$$N_{кр} = C_{пост} / (Ц - C_{пер}) = 98000 / (1200 - 657) = 180 \text{ шт.}$$

Следовательно, при рентабельности в 86 % после выпуска 180 контакторов предприятие начинает получать прибыль. Это значит, что при заданной программе производства предприятие получает прибыль.

Величина запаса безопасности рассчитывается по формуле:

$$K_{фy} = \frac{N - N_{\sigma/y}}{N} \cdot 100 \% = \frac{500 - 109}{500} \cdot 100 \% = 78\%$$

Чем выше этот показатель, тем более устойчиво предприятие перед угрозой негативных изменений (уменьшение выручки или увеличение издержек). Следовательно, мы видим у данного производства достаточно высокий запас безопасности.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе разработан датчик линейных перемещений.

В ходе проделанной работы были рассмотрены возможные типы датчиков линейного перемещения, произведен анализ выбора конструктивной схемы датчика, рассмотрены его характеристики и принцип действия, произведены электромагнитный и механический расчеты.

В технологической части представлен процесс общей сборки датчика линейных перемещений.

Экономическая часть представляет собой расчет себестоимости изделия и определение точки безубыточности.

В разделе «Социальная ответственность» проведен анализ вредных производственных факторов, вопросов техники безопасности на производстве.

Список литературы

1. Богданов Е.П. Датчики линейных перемещений. Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Бесконтактные электрические аппараты». – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 20 с.
2. Богданов Е.П. Лабораторный практикум по курсу «Бесконтактные электрические аппараты». – Томск, Изд-во ТПУ, 2002. – 63 с.
3. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс: учебник для вузов / А. А. Чунихин. – 4-е изд., стер. – М.: Альянс, 2008. – 720 с.: ил.
4. Электрические аппараты: учебное пособие / сост. Н.Ю. Сипайлова, Р.Я. Кляйн, Е.П. Богданов. – Томск: Из-во Томского политехнического университета, 2012. – 88 с.
5. Кляйн Р.Я. Электрические и электронные аппараты. Ч. II: Электромеханические аппараты: учебное пособие / Р.Я. Кляйн. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 161 с.
6. Копылов Ю.В. Лабораторный практикум. Методические указания по выполнению лабораторных работ по курсу «Электрические и электронные аппараты». – Томск: Изд-во ТПУ 2007 г. – 107 с.
7. Григораш О.В. Электротехника и электроника: учебник для вузов / О. В. Григораш, Г. А. Султанов, Д. А. Нормов. – Ростов-на-Дону; Краснодар: Феникс: Неоглори, 2008. – 462 с.: ил.
8. Яковлев А.А. Разработка множеств технических решений установок для преобразования энергии: монография / А. А. Яковлев. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 128 с.
9. Маркман Г.З. Энергоэффективность преобразования и транспортировки электрической энергии [Электронный ресурс]: учебное пособие / Г. З. Маркман; Томский политехнический университет (ТПУ). - 1 компьютерный файл (pdf, 5.2 MB). – Томск: Изд-во ТПУ, 2008.

Дубл.										
Взам.										
Подл.										
				ЭНИН	ФЮРА.648300.002СБ					
					Контактор постоянного тока					
КОМПЛЕКТ ДОКУМЕНТОВ на технологический процесс общей сборки датчика линейных перемещений ФЮРА.648300.002СБ										
					Руководитель: Доцент, к.т.н		Баранов П.Р.			
					Исполнитель: Студент гр. 5Г2Г		Баклан С.Д.			
ТЛ										

[illegible]

ФЮРА 648300.002

Перв. примен.

Справ. №

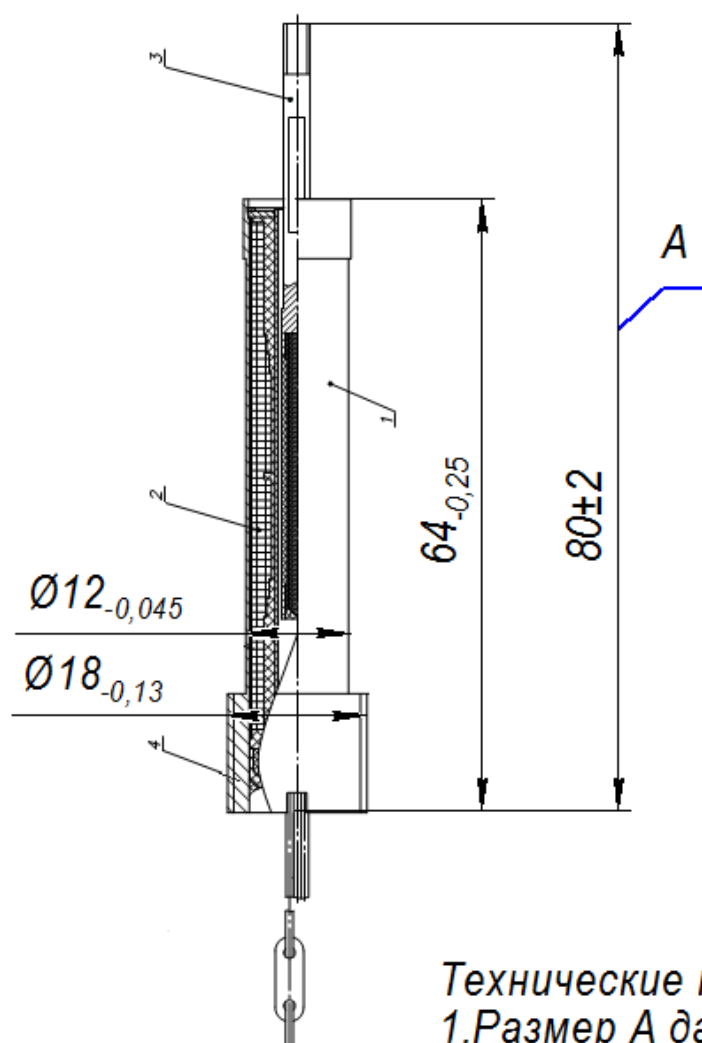
Подп. и дата

Изм. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Изм. № подл.



Технические требования:
1.Размер А дан при нулевом
положении подвижной части
датчика

ФЮРА 648300.002

Датчик
ЛДТ

Лит.	Масса	Масштаб
у		1:1
Лист	Листов	1

ТПУ ЭНИН
Группа 5Г2Г

Копировал

Формат А4