

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

Институт Энергетический (ЭНИН)
Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника
Кафедра Электротехнические комплексы и материалы (ЭКМ)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Проектирование датчика линейных перемещений

УДК 681.586'322.001.63

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗГ	Савельев Алексей Валентинович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Богданов Е.П	канд. техн. наук., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Ассистент	Грахова Е.А		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Король И.С	канд. хим. наук, доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭКМ	Гарганеев А.Г	докт. техн. наук, профессор		

Томск – 2017 г.

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

Институт Энергетический (ЭНИН)
Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника
Кафедра Электротехнические комплексы и материалы (ЭКМ)

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ЭКМ

(Подпись) _____ (Дата) Гарганеев А.Г.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5ГЗГ	Савельеву Алексею Валентиновичу

Тема работы:

Проектирование датчика линейных перемещений		
Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.12.16 г.	№10915/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2017
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	
<i>(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.).</i>	<i>Объектом проектирования является датчик линейных перемещений. В качестве исходных данных представлены:</i> <ul style="list-style-type: none">- напряжение питания $U_n = 6 В$;- частота напряжения питания $f = 2000 Гц$;- ток потребления $I_1 = 0,02 А$;- величина выходного напряжения в нулевом положении $U_{max} = 0,6 В$;- крутизна выходной характеристики $K = 0,05 мм^{-1}$;- рабочий ход подвижной части $l_c = 20 \cdot 10^{-3} м$;- длина сердечника $l_c = 30 \cdot 10^{-3} м$;

	<ul style="list-style-type: none"> - сечение сердечника $S_c = S_B = 7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$; - диаметр каркаса по краям первичной обмотки $D_{k1} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; - диаметр каркаса под вторичной обмоткой $D_{k2} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; - диаметр каркаса $D_{кар} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p>(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).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - постановка задачи проектирования; - Анализ существующих конструкций датчиков перемещения; - Анализ и выбор конструкции прототипа датчика линейных перемещений; - проектирование датчика линейных перемещений.
Перечень графического материала	<ul style="list-style-type: none"> - Сборочный чертеж датчика линейных перемещений; - характеристики датчика.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Грахова Елена Александровна
«Социальная ответственность»	Король Ирина Степановна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.09.2016 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Богданов Е.П	канд .техн. наук, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗГ	Савельев А.В		

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

Группа		ФИО	
5ГЗГ		Савельев Алексей Валентинович	
Институт	Институт электронного обучения (ИЭО)	Кафедра	ЭКМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электрические и электронные аппараты

Исходные данные к разделу:

1. <i>Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Исследование проходит на базе лаборатории кафедры ЭКМ, используется ее материально-техническая база; Оклад руководителя и инженера.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Проект выполняется на основе: ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов»; ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»; ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов»; Величина МРОТ (данные за 2017 год) - 7800 руб; Премимальный коэффициент 30%; Коэффициент доплат и надбавок 15%; Коэффициент дополнительной заработной платы 13%; Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 30%.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 27,1 %.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Технико-экономическое обоснование проекта; QuaD- и SWOT-анализ; Оценка коммерческого потенциала проекта.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета проектной работы</i>	<i>Формирование плана и графика проекта: - Определение структур работ; - Определение трудоемкости работ; - Разработка диаграммы Ганта. Формирование бюджета затрат проекта</i>
3. <i>Определение экономической эффективности исследования</i>	<i>Оценка целесообразности и перспективности проекта.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Оценочная карта QuaD</i> 2. <i>Матрица SWOT</i> 3. <i>График Ганта</i> 4. <i>Бюджет НИ</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры менеджмента	Грахова Елена Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗГ	Савельев Алексей Валентинович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5ГЗГ	Савельеву Алексею Валентиновичу

Институт	Энергетический	Кафедра	Электротехнические комплексы и материалы
Уровень образования	бакалавр	Направление/специальность	13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p><i>1. Характеристика объекта исследования и области его применения. (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</i></p>	<p><i>Объект исследования: датчик линейного перемещения. Область применения: Разрабатываемый прибор применяется в автоматизированных системах управления. Рабочая зона: управление винтами вертолета, определение размеров в строительной промышленности. Методика: модернизация СУ.</i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Производственная безопасность <i>1.1 Анализ вредных факторов, проектируемого решения при разработке и эксплуатации в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – 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). 	<p><i>Вредные факторы:</i></p> <p><i>1. Электромагнитные излучения прибора $14560 (В / м)^2$ и находится в пределах нормы ГОСТ 12.1.006-84, СанПиН 2.2.4.1191-03;</i></p> <p><i>2. Недостаток естественного света, требуемая норма освещения $E_{нор} = 200 лк$. Для создания $E_{нор}$ применяется совмещенное освещение: естественное и общее люминесцентное. СП 52.13330.2011 Для защиты органов зрения от ультрафиолетового и инфракрасного излучения и слепящей яркости видимого света применяют защитные очки.</i></p>
<p><i>1.2. Анализ опасных факторов, проектируемого решения при разработке и эксплуатации в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – 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). 	<p><i>Физически опасные факторы:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Электрический ток. Датчик работает на токе 0,02 А, находится в пределах нормы. ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ; – Пожаровзрывобезопасность: горючие жидкости должны находиться на расстоянии не менее 3 метров от прибора. Не проводить манипуляции с датчиком с влажными руками. В случае возникновения КЗ в обмотке датчика, в лаборатории должен находиться огнетушитель.
<p>2. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); 	<ul style="list-style-type: none"> – Влияние на селитебную зону отсутствует, ввиду отсутствия выбросов в атмосферу и гидросферу при изготовлении датчика.

<ul style="list-style-type: none"> – 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. 	<ul style="list-style-type: none"> – Т.к. для производства датчика используют металлы, присутствует влияние на литосферу. – Комплекс мер по утилизации: переплавление металлических составляющих и утилизация непригодных составляющих. СНиП 2.01.08-85
<p>3. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – 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. 	<ul style="list-style-type: none"> – Возможные ЧС: пожар. – Использование средств пожаротушения. – Соблюдения техники безопасности – Следовать плану эвакуации, вызвать пожарных. – Установка пожарной сигнализации
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – Право на условие труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены. – Взаимное расположение элементов рабочей зоны ГОСТ 22269-76 – Рабочее место при выполнении работ сидя ГОСТ 12.2.032-78 – Использовать оборудования и мебель согласно антрометрическим данным. – Работа на неисправном оборудовании и при отсутствии или неисправном ограждении запрещается.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Король И.С	канд .хим. наук, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г3Г	Савельев А.В.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 50 страниц и включает в себя 11 рисунков и 11 таблиц. Было использовано 15 источников, в том числе и зарубежных.

Ключевые слова: перемещение, чувствительность, преобразователь, рабочий диапазон, регулирование, нелинейность, крутизна, каркас, экспериментальное исследование, ресурсоэффективность, социальная ответственность.

Объектом исследования является датчик линейных перемещений.

Цель работы – освоение методики проектирования подобных датчиком с учетом заданных требований.

В процессе исследования произведен электромагнитный и тепловой расчеты. Также были проведены экспериментальные исследования датчика.

По результатам работы был спроектирован датчик линейных перемещений, отвечающий заданным требованиям. Нелинейность составила 1,333 %.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: длина каркаса датчика составила 68 мм., потребляемый ток – 0,02 мА., напряжение на клеммах при нулевом положении равно 2 В., перегрев катушки относительно температуры окружающей среды составляет 1,4 градуса Цельсия.

Область применения: авиационная и космическая промышленность.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Чувствительность - это изменение выходного параметра к изменению входного

Крутизна – это изменение выходного напряжения от перемещения

ЛДТ – датчик линейных перемещений

ЭДС – электродвижущая сила

КЗ – короткое замыкание

ЭМП – электромагнитные поля

ОВ – обмотка возбуждения

РО – рабочая обмотка

ФСС – фонд социального страхования

ПФ – пенсионный фонд

ФФОМС – федеральный фонд медицинского страхования

ЧС – чрезвычайная ситуация

Оглавление

Введение	10
1. Системный анализ	11
2. Расчетная часть	14
2.1. Электромагнитный расчет	14
2.3. Тепловой расчет	17
3. Экспериментальная часть	20
3.1. Определение нелинейности характеристики	20
3.2. Выходная характеристика датчика	21
3.3. Коэффициент крутизны выходной характеристики	22
3.4. Построение нагрузочной характеристики	22
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	24
4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	25
4.2. Планирование научно-исследовательских работ	29
4.3. Составление сметы затрат на разработку технического проекта	34
4.4. Формирование сметы технического проекта	38
4.5. Оценка конкурентоспособности и ресурсоэффективности проекта	39
5. Социальная ответственность	41
5.1. Производственная безопасность	41
5.2. Охрана окружающей среды	42
5.3. Защита в чрезвычайных ситуациях	43
5.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	45
Список литературы	47
Приложение А – Сборочный чертеж	49
Приложение Б – Выходная и нагрузочная характеристики	50

Введение

Датчик линейных перемещений – это устройство, которое служит для отслеживания изменения местоположения объекта по одной координате и для определения расстояния до объекта.

Перемещение является одним из основных показателей, которое должно быть измерено, указано и контролируется для применения во многих отраслях промышленности или науки.

Датчики перемещения являются важными компонентами во многих контрольно-измерительных системах. Они исполняются в различных типах. Эти датчики имеют свои относительные преимущества и недостатки если говорить о линейности, дискретности, чувствительности, стабильности, точности, погрешности и т.д.

Любой датчик перемещения, вне зависимости принципа действия, предназначен для преобразования линейного перемещения в цифровой или аналоговый сигнал. Поэтому датчики перемещения могут быть использованы также для отслеживания таких показателей как: деформация, искажение, тепловое расширение, вибрации, импульсов и т.д.

По принципу действия эти датчики можно разделить на:

- Оптические;
- Емкостные;
- Индуктивные;
- Индукционные
- Ультразвуковые;
- Магниторезистивные;
- Потенциометрические;
- Магнитострикционные;
- На основе эффекта Холла.

На основе анализа конструкций датчиков целесообразным является проектирование индукционного датчика, предназначенного для использования в авиационной и космической промышленности.

1. Системный анализ

Данный тип датчика находит очень широкое применение из-за его высокой чувствительности и прочности. Тем не менее, проблемы с регулированием, нелинейностями характеристик, зависимость выходных параметров от конструкции ЛДТ датчика и влияние температуры окружающей среды ограничили его применение и внесли определенные трудности.

Был произведен анализ отечественных и зарубежных литературных источников, в частности изучены труды исследователей К.В. Сантоша и Б.К.Роя из национального технологического института Индии. Ими был предложен метод решения проблемы с нелинейностями и зависимостью выходных характеристик от температуры окружающей среды. В их работе предполагается использование искусственной нейронной сети. Эта сеть способна обучаться, адаптироваться для получения линейности характеристик. С помощью данного метода и решается проблема зависимости выходных параметров от конструкции датчика, входной частоты и температуры.

Предлагаемое мобильное измерение перемещения представлено в виде блок-схемы на рис. 1.



Рис. 1. Блок преобразования данных.

Выходной сигнал датчика преобразуется с помощью преобразователя LTC1967 в сигнал постоянного тока, который линейно пропорционален перемещению сердечника. Преобразователь LTC1967 – это реальный конвертер среднеквадратического значения в напряжения постоянного тока, использующий инновационный метод решения «дельта - сигма». Преимуществами данного преобразователя являются более высокая линейность и точность, независимость пропускной способности от амплитуды, улучшенные показатели зависимости выходных характеристик от изменения температуры окружающей среды.

Сформулированные выше задачи решаются с помощью нейронной сети. Первым шагом в развитии этой сети является создание базы данных для подготовки и проверки сети. Выходное напряжение системы для измерения положения физических параметров датчика, частоты и температуры формируют входную матрицу. Эта матрица будет прогнозировать линейную характеристику датчика, как показано на рис. 2. После многих испытаний различных моделей нейронной сети получили модель, показанную на рис. 3. Она состоит из пяти слоев, имеющих 6,8,8,6,5 нейронов в каждом слое соответственно. Для обучения системы используется алгоритм Левенберга-Маркварда. Алгоритм обеспечивает численное решение проблемы минимизации функции, в основном, нелинейной, за счет учета всех параметров функции.

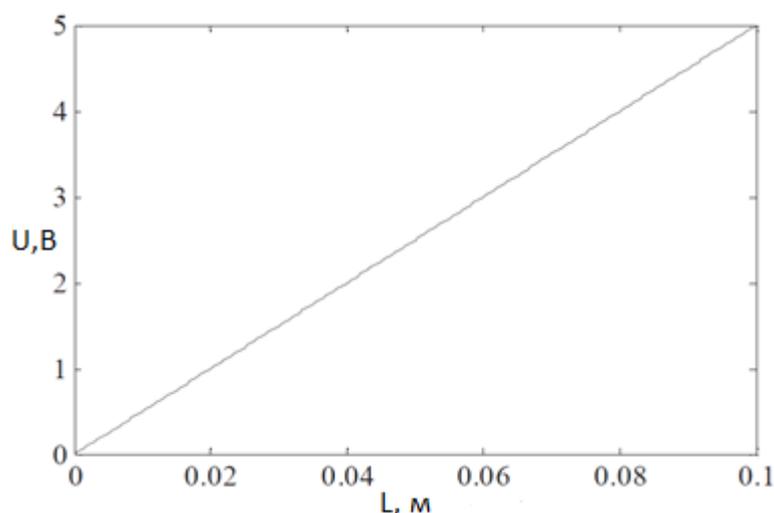


Рис. 2. Характеристика зависимости напряжения от перемещения.



Рис. 3. Блок-схема нейронной сети.

Альтернативным вариантом построения датчика является отечественный датчик. Датчик работает по принципу трансформатора. Как показано на рис. 4 он

состоит из катушки и сердечника. Катушка, как правило, крепится к стационарной форме, в то время как сердечник прикреплен к объекту, положение которого измеряется. Катушка состоит из трех обмоток, намотанных на полу форму. Сердечник проницаемого материала может свободно скользить по центру внутри формы. Возбуждение от источника переменного тока начинается с центра катушки. Магнитный поток, индуцируемый в первичной обмотке, соединенной с двумя вторичными по обе стороны от нее, индуцирует в них ЭДС и напряжение. Электрическая схема датчика представлена на рис. 5., где ОВ - обмотка возбуждения, РО – рабочая обмотка.

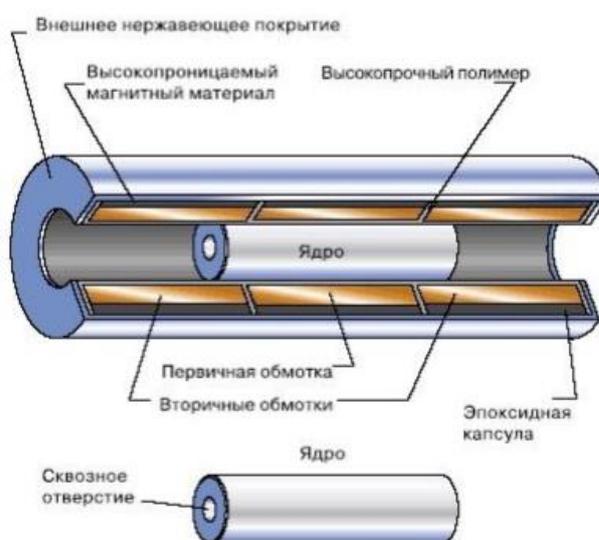


Рис. 4. Конструкция датчика линейных перемещений.

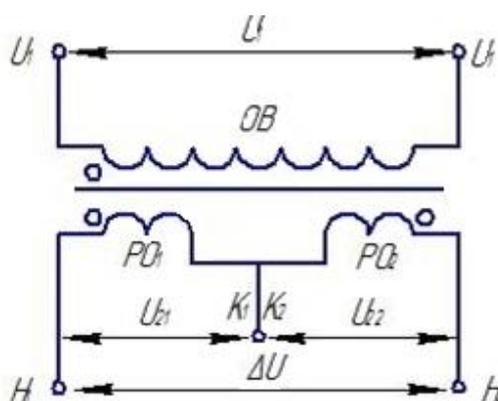


Рис. 5. Электрическая схема датчика линейных перемещений.

Таким образом, в ходе системного анализа, в качестве прототипа датчика линейных перемещений принят датчик типа ЛДТ – 3522, удовлетворяющий условиям технического задания.

2. Расчетная часть

2.1. Электромагнитный расчет

2.2.1. Индуктивное сопротивление первичной обмотки:

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

2.2.2. Индуктивность первичной обмотки:

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

2.2.3. Количество витков первичной обмотки под сердечником:

$$l_{cp} = 2 \cdot l_p = 2 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 0,04 \text{ м.}$$

$$N_{11} = \sqrt{\frac{L_1 \cdot l_{cp}}{2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_c \cdot S_c}} = \sqrt{\frac{0,024 \cdot 0,04}{2 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 41 \cdot 7 \cdot 10^{-6}}} = 1151 \text{ витков;}$$

$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн / м}$ – магнитная постоянная;

$\mu_c = 41$ эффективная магнитная проницаемость сердечника для сплава 50НХС.

Для обеспечения высокой линейности характеристики необходимо, чтобы индуктивность первичной обмотки была величиной постоянной при перемещении сердечника на всем рабочем ходе. Поэтому обмоткой должна быть намотана плотно виток к витку на всей длине каркаса.

2.2.4. Длина каркаса:

$$l_k = l_c + 2 \cdot l_p = 30 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 0,07 \text{ м.}$$

При выполнении обмотки у щечек каркаса получается нелинейная намотка на длине около 1,5 мм у каждой щечки. В связи с этим длину каркаса необходимо уменьшить на 2 мм. Принимается $l_k = 68 \text{ мм}$.

2.2.5. Общее количество витков первичной обмотки:

$$N_1 = N_{11} \cdot \frac{l_k}{l_c} = 1151 \cdot \frac{0,068}{30 \cdot 10^{-3}} = 2608 \text{ витков.}$$

Для обмотки выбирается провод марки ПЭТ – 155 с диаметром провода $d_{np} = 0,125 \text{ мм}$ и диаметром изоляции $d_{из} = 0,155 \text{ мм}$.

2.2.6. Число витков в одном слое:

$$N_{1c} = \frac{l_k}{d_{uz} \cdot K_y} = \frac{0,068}{0,125 \cdot 10^{-3} \cdot 1,05} = 417,819 \approx 418 \text{ витков},$$

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

2.2.7. Число слоев первичной обмотки:

$$n_1 = \frac{N_1}{N_{1c}} = \frac{2608}{418} = 6,239$$

Число слоев должно быть целым и по конструкторским соображениям четным, чтобы начало и конец обмотки были у одной щетки каркаса. Принимается $n_1 = 8$ слоев.

2.2.8. Уточненное число витков первичной обмотки:

$$N_1 = N_{1c} \cdot n_1 = 418 \cdot 8 = 3344 \text{ витка}.$$

2.2.9. Уточненное число витков первичной обмотки под сердечником:

$$N_{11} = N_1 \cdot \frac{l_c}{l_k} = 3444 \cdot \frac{30 \cdot 10^3}{0,068} = 1475 \text{ витков}.$$

2.2.10. Уточненное значение индуктивности:

$$L_{1c} = \mu_0 \cdot \mu_c \cdot \frac{2 \cdot N_{11}^2 \cdot S_c}{l_{cp}} = 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 41 \cdot \frac{2 \cdot 1475^2 \cdot 7 \cdot 10^{-6}}{0,04} = 0,039 \text{ Гн}.$$

2.2.11. Полная индуктивность первичной обмотки:

$$S_k = \pi \cdot \frac{D_{k1}^2}{4} = 3,14 \cdot \frac{0,01}{4} = 7,854 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2;$$

$$L_s = \mu_0 \cdot \frac{(N_1 - N_{11})^2 \cdot S_k}{l_k - l_c} = 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{(3344 - 1475)^2 \cdot 7,854 \cdot 10^{-5}}{0,068 - 0,03} = 9,07 \cdot 10^{-3} \text{ Гн};$$

$$L_1 = L_{1c} + L_s = 0,039 + 9,07 \cdot 10^{-3} = 0,048 \text{ Гн}.$$

2.2.12. Активное сопротивление первичной обмотки:

$$R_1 = \rho \cdot \frac{l_{e1}}{S_{np}} \cdot N_1 = 1,76 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,031}{1,227 \cdot 10^{-8}} \cdot 3344 = 150,667 \text{ Ом},$$

где, $\rho = 1,76 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ – удельное сопротивление меди;

$l_{e1} = \pi \cdot D_{k1} = 3,14 \cdot 0,01 = 0,031 \text{ м}$ – средняя длина сердечника;

$$S_{np} = \pi \cdot \frac{d_{np}^2}{4} = 3,14 \cdot \frac{(1,25 \cdot 10^{-4})^2}{4} = 1,227 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2 \text{ – сечение провода}.$$

2.2.13. Полное сопротивление цепи первичной обмотки:

$$Z_1 = R_1 + j\omega L_1 = 150,667 + j \cdot 607,181 \text{ Ом};$$

$$\arg(Z_1) = 76,064 \text{ deg};$$

$$|Z_1| = 625,595;$$

где $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 2000 = 12570 \text{ рад/с}$ – круговая частота.

2.2.14. Потребляемый датчиком ток:

$$I_1 = \frac{U_1}{Z_1} = \frac{6}{625,595} = 9,591 \cdot 10^{-3} \text{ А.}$$

2.2.15. Плотность тока первичной обмотки:

$$\Delta I = \frac{I_1}{S_{np}} = \frac{9,591 \cdot 10^{-3}}{1,227 \cdot 10^{-8}} = 0,78 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

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

$$N_2 = \frac{U_{max} \cdot 2 \cdot R_{мв}}{I_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot N_{11} \cdot (2 \cdot \mu_c - 1)} =$$
$$= \frac{0,6 \cdot 2 \cdot 5,684 \cdot 10^9}{9,591 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 2000 \cdot 1475 \cdot (2 \cdot 41 - 1)} = 473,6 \approx 474 \text{ витка},$$

$$\text{где } R_{мв} = \frac{l_0}{\mu_0 \cdot S_6} = \frac{0,05}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 7 \cdot 10^{-6}} = 5,684 \cdot 10^9 \frac{1}{\text{Гн}} \text{ – сопротивление}$$

воздушного участка магнитной цепи.

2.2.17. Число витков в слое:

$$N_{2c} = \frac{l_p}{d_{из} \cdot K_y} = \frac{0,02}{1,55 \cdot 10^{-4} \cdot 1,05} = 122,888 \approx 123 \text{ витка}.$$

2.2.18. Число слоев секции вторичной обмотки:

$$n_2 = \frac{N_2}{N_{2c}} = \frac{474}{123} = 3,854 \approx 4.$$

Число витков обмотки должно быть целым и четным. Принимается $n_2 = 4$.

2.2.19. Число витков секции вторичной обмотки:

$$N_2 = N_{2c} \cdot n_2 = 123 \cdot 4 = 492 \text{ витка}.$$

2.2.20. Активное сопротивление секции вторичной обмотки:

$$R_2 = \rho \cdot \frac{l_{e2}}{S_{np}} \cdot N_2 = 1,76 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,025}{1,227 \cdot 10^{-8}} \cdot 492 = 17,734 \text{ Ом},$$

где $\rho = 1,76 \cdot 10^{-8}$ Ом·м – удельное сопротивление меди;
 $l_{\text{с2}} = \pi \cdot D_{k2} = 3,14 \cdot 0,008 = 0,025$ м – средняя длина сердечника.

2.2.21. Индуктивность секции вторичной обмотки:

$$L_{2c} = L_{3c} = N_2^2 \cdot G = 492^2 \cdot 9,016 \cdot 10^{-9} = 2,183 \cdot 10^{-3} \text{ Гн},$$

$$\text{где } G = \frac{\mu_0 \cdot \mu_c \cdot S_c}{l_{cp}} = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 41 \cdot 7 \cdot 10^{-6}}{0,04} = 9,016 \cdot 10^{-9} \text{ Гн}.$$

2.2.22. Полная индуктивность вторичной обмотки:

$$L_2 = L_{2c} + L_{3c} + L_s = (2,183 \cdot 10^{-3} + 2,183 \cdot 10^{-3} + 9,07 \cdot 10^{-3}) = 0,013 \text{ Гн}.$$

2.2.23. Наружный диаметр катушки датчика:

$$D_k = D_{kap} + 2 \cdot n \cdot d_{\text{из}} = 7,5 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 12 \cdot 1,55 \cdot 10^{-4} = 0,011 \text{ м},$$

где $n = n_1 + n_2 = 8 + 4 = 12$ – общее число слоев.

2.2.24. Напряжения на клеммах рабочей обмотки в нулевом положении подвижной части:

$$U_{21} = \frac{0,5 \cdot U_{\text{max}} + \frac{U_{\text{max}}}{2}}{K \cdot l_{\text{max}}} = \frac{0,5 \cdot 0,6 + \frac{0,6}{2}}{0,05 \cdot 6} = 2 \text{ В};$$

$$U_{22} = \frac{U_{\text{max}}}{2 \cdot K \cdot l_{\text{max}} - 0,5 \cdot U_{\text{max}}} = \frac{0,6}{2 \cdot 0,05 \cdot 6 - 0,5 \cdot 0,6} = 2 \text{ В};$$

где $l_{\text{max}} = 6$ мм – максимальное перемещение подвижной части датчика.

2.3. Тепловой расчет

При протекании тока по токоведущим деталям электрического аппарата возникают потери электрической энергии в виде тепла. В общем случае тепловая энергия расходуется на повышение температуры аппарата и частично рассеивается в окружающей среде.

При повышении температуры происходит ускоренное старение изоляции проводников и уменьшение их механической прочности. Например, срок службы изоляции при возрастании длительной температуры всего лишь на 8°C выше номинальной сокращается в два раза. Поэтому во всех возможных режимах работы температура их не должна превышать таких значений, при которых обеспечивается заданная длительность работы аппарата.

2.3.1. Рассчитывается превышение температуры катушки датчика над температурой окружающей среды.

По закону Ньютона-Рихмана, превышение температуры катушки определяется как:

$$\tau = \frac{P}{K_{TO} \cdot S_{охл}},$$

где P – мощность потерь, выделяемая в обмотке;

$$K_{TO} = 9..14 \frac{Вт}{м^2 \cdot град} \text{ – коэффициент теплоотдачи для катушек аппаратов;}$$

$S_{охл}$ – поверхность охлаждения катушки.

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

2.3.2. Тогда удельное сопротивление медного провода при температуре 105°C :

$$\rho_{105} = \rho_{20}[1 + \alpha(\theta - 20)] = 1,76 \cdot 10^{-8} [1 + 0,043(105 - 20)] = 8,193 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

где α – температурный коэффициент сопротивления меди.

2.3.3. Активное сопротивление при температуре 105°C обмоток:

– возбуждения:

$$R1_{105} = \rho_{105} \cdot \frac{l_{e1}}{S_{np}} \cdot N_1 = 8,193 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,031}{1,227 \cdot 10^{-8}} \cdot 3344 = 701,356 \text{ Ом}.$$

– рабочих:

$$R2_{105} = \rho_{105} \cdot \frac{l_{e2}}{S_{np}} \cdot N_2 = 8,19 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,025}{1,227 \cdot 10^{-8}} \cdot 492 = 82,552 \text{ Ом}.$$

2.3.4. Полное сопротивление цепи первичной и вторичной обмоток:

$$Z_1 = R1_{105} + j\omega \cdot L_1 = 701,356 + j607,181 \text{ Ом};$$

$$\arg(Z_1) = 40,884 \cdot \text{deg};$$

$$|Z_1| = 927,669.$$

$$Z_2 = 2 \cdot R2_{105} + j\omega \cdot L_2 = 165,104 + j168,828 \text{ Ом};$$

$$\arg(Z_2) = 45,639 \cdot \text{deg};$$

$$|Z_2| = 236,14.$$

2.3.5. Мощность, выделяемая на первичной и вторичной обмотках:

$$P_1 = I_1^2 \cdot R_{1_{105}} = 6,468 \cdot 10^{-3} \cdot 701,356 = 0,029 \text{ Вт},$$

$$\text{где } I_1 = \frac{U_1}{Z_1} = \frac{7}{927,669} = 6,468 \cdot 10^{-3} \text{ А}.$$

$$P_2 = I_2^2 \cdot 2 \cdot R_{2_{105}} = 2,541 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 82,552 = 1,066 \cdot 10^{-3} \text{ Вт},$$

$$\text{где } I_2 = \frac{U_{\max}}{Z_2} = \frac{0,6}{236,14} = 2,541 \cdot 10^{-3} \text{ А}.$$

2.3.6. Суммарная мощность:

$$P = P_1 + P_2 = 0,029 + 1,066 \cdot 10^{-3} = 0,03 \text{ Вт}.$$

2.3.7. Поверхность охлаждения катушки:

$$S_{\text{охл}} = \pi \cdot D_k \cdot l_k = 3,14 \cdot 0,011 \cdot 0,068 = 2,397 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

2.3.8. Перегрев катушки:

$$\tau = \frac{P}{K_{\text{ТО}} \cdot S_{\text{охл}}} = \frac{0,03}{9 \cdot 2,397 \cdot 10^{-3}} = 1,409^\circ\text{С}.$$

2.3.9. Установившаяся температура поверхности:

$$\theta_y = \theta_{\text{oc}} + \tau = 40 + 1,409 = 41,409^\circ\text{С} < 105^\circ\text{С}.$$

Т.е. температура не превышает допустимую для данного класса изоляции.

Вывод: Исходя из данных, полученных при электромагнитном и тепловом расчетах, можно сказать, что полученные параметры являются приемлемыми для данного типа датчика, т.к. удовлетворяют заданным требованиям.

3. Экспериментальная часть

Для подтверждения корректности теоретических расчетов и получения дополнительной информации, были проведены экспериментальные исследования датчика.

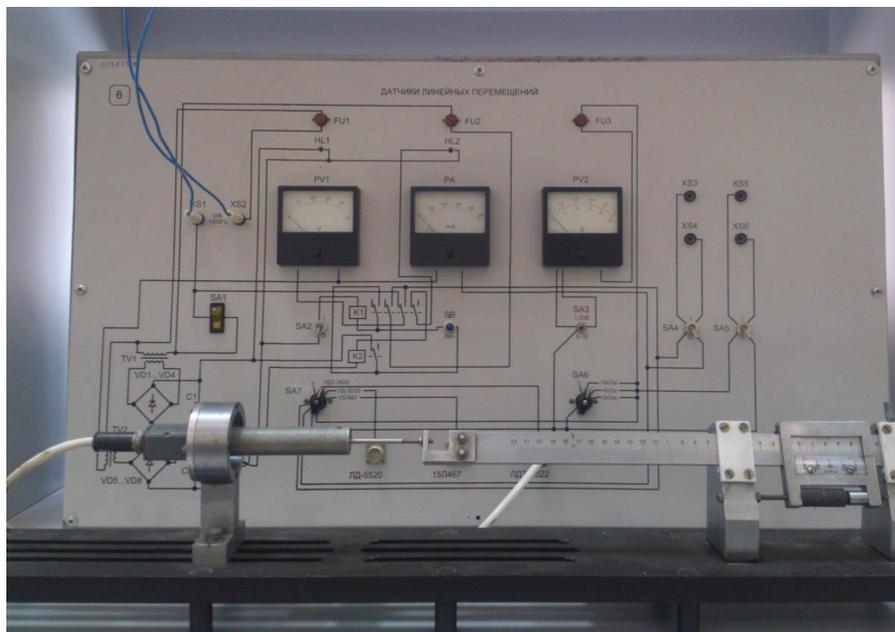


Рис. 6. Физическая модель датчика.

3.1. Определение нелинейности характеристики

Сопротивление нагрузки датчиков 10 кОм:

Рабочий диапазон датчика: ± 30 мм;

"+" – перемещение штока в сторону датчика;

"-" – перемещение штока во внутрь датчика.

Определяется зависимость выходного напряжения датчика ЛДТ – 3522 от перемещения в точках: $-30; -25; -20; -15; -10; -5; 0; 5; 10; 15; 20; 25; 30$ мм.

Результаты измерений заносятся в табл. 1.

Табл. 1. Экспериментальные данные.

Перемещение	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30
$U_{\text{вых}}, В$	7,6	6,5	5,5	4	2,5	1,25	0,5	1	2,25	3,5	5,25	6,5	7,5
Нелин., %	200	183,333	166,667	150	133,333	116,667	100	83,333	66,667	50	33,333	16,667	0
$K, В / мм$	0,25	0,217	0,183	0,133	0,083	0,042	0,017	0,033	0,075	0,117	0,175	0,217	0,25

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, мм;

K – крутизна характеристики выходного напряжения в конце рабочего диапазона;

$l_k = 30$ мм – рабочий диапазон.

Пример расчета для одной точки:

$$n_1 = \frac{\frac{U_i}{K} - l_i}{l_k} \cdot 100\% = \frac{\frac{7,6}{0,25} - 30}{30} \cdot 100\% = 1,333 \%$$

Коэффициент крутизны K рассчитывается отдельно в положительную и отрицательную стороны по формуле:

$$K_1 = \frac{U_{\text{вых}}}{l_k} = \frac{7,6}{30} = 0,253,$$

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

3.2. 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 (рис. 7).

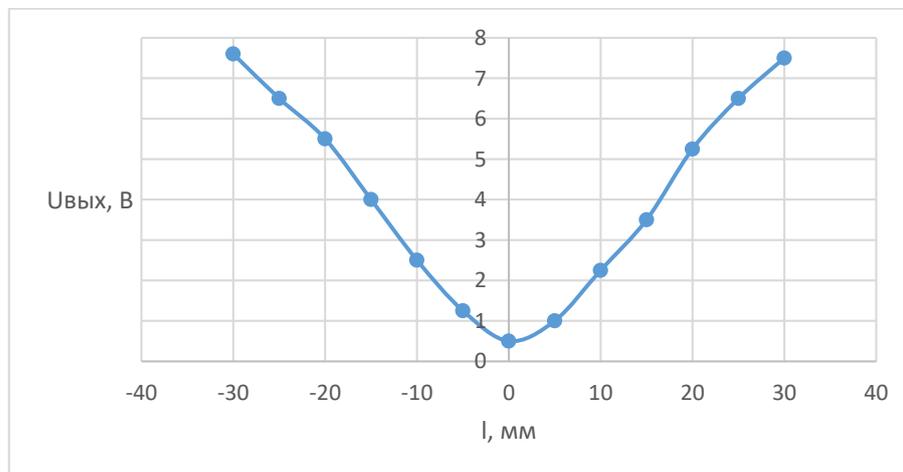


Рис. 7. Выходная характеристика датчика.

Вывод: Выходная характеристика имеет незначительную нелинейность. Такие результаты можно объяснить 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.

3.3. Коэффициент крутизны выходной характеристики

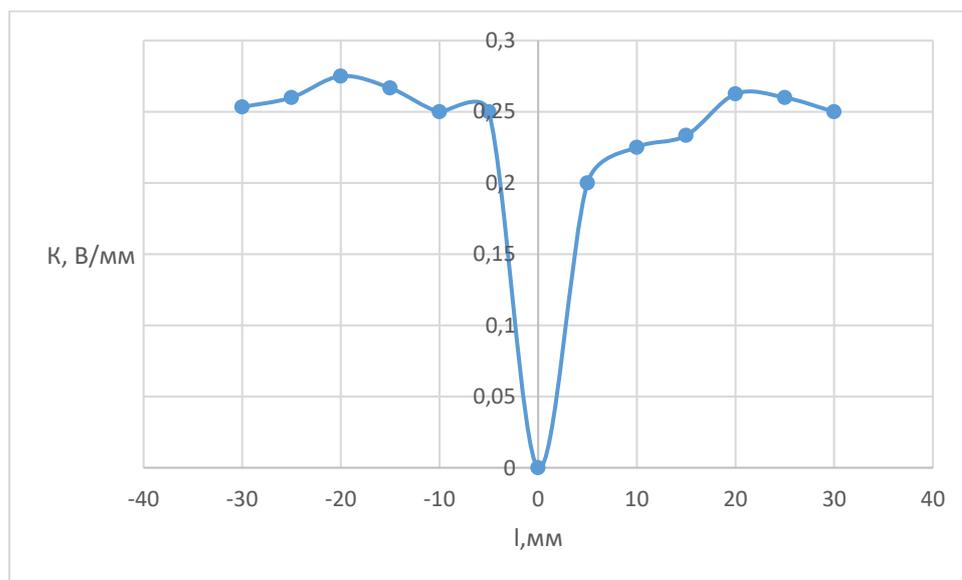


Рис. 8. Графическая зависимость коэффициента крутизны выходной характеристики от перемещения датчика.

3.4. Построение нагрузочной характеристики.

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

Нагрузочная характеристика описывается выражением: $U_{\text{вых}} = f(R_H)$ и представлена на рис. 9.

Таблица 2. Нагрузочная характеристика.

Нагрузка R_H , кОм	2 кОм	6 кОм	10 кОм
Напряжение $U_{\text{вых}}$, В	6,5	6,6	6,75

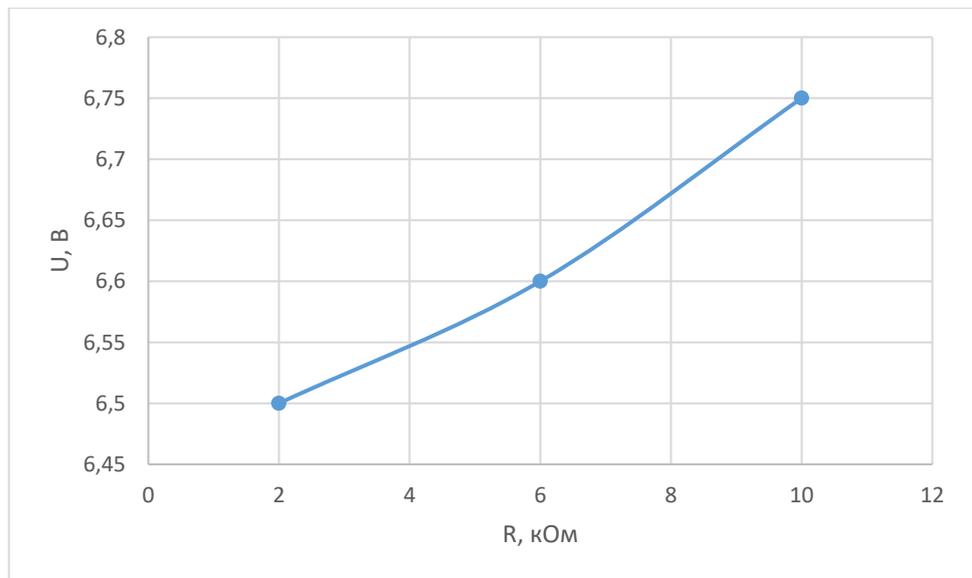


Рис. 9 Нагрузочная характеристика.

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

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Данный раздел необходим для анализа технического проекта, выполненного в рамках ВКР, с точки зрения ресурсосбережения и ресурсоэффективности.

Темой выпускной квалификационной работы является «Датчик линейного перемещения». Выбранный проект является важной составляющей во многих контрольно-измерительных системах. Как и любой механизм, датчик имеет свои достоинства и недостатки.

Объективно произвести анализ затруднительно, поэтому в качестве инструментов для выполнения анализа будет использовано несколько способов.

Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований определяется с помощью выделения целевого рынка потребления результатов проводимого исследования, его основных сегментов в настоящее и будущее время.

Другими словами, для достижения поставленной цели необходимо:

- Определить целевую аудиторию;
- Произвести оценку социальной и экономической эффективности исследования;
- Определить и обосновать сроки выхода готового продукта на рынок;
- Определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- Определить перспективы развития;
- Осуществить планирование этапов выполнения исследования.

В данном разделе рассматривается процесс проектирования, включающий планово-временные и материальные показатели.

4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Целевой рынок: Строительная отрасль, военная промышленность.

Сегментирование рынка: вертолетостроение, эксплуатационный мониторинг строительных конструкций, мониторинга промышленной автоматизации.

Основной сегмент, на который ориентирован проект – вертолетостроение, оценка кинематических характеристик вращения лопастей вертолета в полете.

Данный проект может быть переориентирован на иной сегмент рынка внесением небольших коррективов в расчетах.

В роли потребителей выступают отрасли авиационной промышленности РФ. Крупнейшей, из интересующих нас компаний, является российская вертолетостроительная компания – холдинг «Вертолеты России».

В процессе проектирования датчика линейного перемещения не было множества вариаций конфигурации источника питания. Это связано с спецификой производимых расчетов, из-за которой, согласно различным нормативным нормам проектирования инженер-проектировщик не имеет права проектировать электрическую схему многовариантно.

Описание определенных качеств, важных отличительных показателей новой разработки и оценка перспективности на рынке будет произведена при помощи технологии QuaD. Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, с целью поддержания актуальности разработки. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок

конкурентов. С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Все показатели определяются при помощи метода оценивания. Оценку производит инженер-проектировщик. При это 1- наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Суммарно веса показателей должны быть равны 1.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

4.1.2. QuaD– анализ

Для сравнения с проектируемым датчиком проанализированы существующие прототипы подобных устройств.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты по технологии QuaD, приведенной в табл. 3 и 4.

Таблица 3. Оценочная карта. Датчик линейного перемещения.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средне-взвешенное значение, 10^2
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
1. Надежность	0,05	80	100	0,7	3,5
2.Износостойкость	0,05	100	100	1	5

3. Уровень материалоемкости разработки	0,15	10	100	0,1	1,5
4.Безопасность	0,1	80	100	0,8	8
5.Ремонтопригодность	0,2	100	100	1	20
6.Энергоэффективность	0,05	50	100	0,5	2,5
7.Простота обслуживания	0,15	100	100	1	15
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
8.Конкурентоспособность продукта	0,05	30	100	0,3	1,5
9. Затраты на монтаж	0,05	80	100	0,8	4
10. Инвестиционная привлекательность	0,05	50	100	0,5	2,5
11. Цена	0,1	60	100	0,6	6
Итого	1	730	1100	7,3	69,5

Таблица 4. Оценочная карта. Оптодатчик.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средне-взвешенное значение, 10^2
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
1. Надежность	0,05	80	100	0,7	3,5
2.Износостойкость	0,04	100	100	1	4
3. Уровень материалоемкости разработки	0,15	10	100	0,1	1,5
4.Безопасность	0,20	80	100	0,8	16
5.Ремонтопригодность	0,05	100	100	1	5
6.Энергоэффективность	0,05	50	100	0,5	2,5
7.Простота обслуживания	0,05	100	100	1	5
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
8.Конкурентоспособность продукта	0,05	30	100	0,3	1,5
9. Затраты на монтаж	0,24	80	100	0,8	19,2
10. Инвестиционная привлекательность	0,06	50	100	0,5	3
11. Цена	0,6	60	100	0,6	36
Итого	1	730	1100	7,3	96,7

Таким образом, анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что использование датчика линейных перемещений хоть и требует больше материалов, но за счет более высокой износостойкости, ремонтпригодности является более перспективным и рациональным вариантом.

4.1.3. SWOT – анализ.

Применительно к данной теме, подобный анализ позволяет дать оценку как сильным, так и слабым сторонам технического проекта. Также имеется возможность оценить перспективы развития и угрозы.

Для проведения SWOT – анализа составляется матрица SWOT (табл. 5).

Таблица 5. Матрица SWOT.

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Высокая энергоэффективность и энергосбережение технологии.</p> <p>С2. Упрощенное техническое обслуживание.</p> <p>С3. Высокая чувствительность и точность.</p> <p>С4. Облегчение конструкции.</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Относительная сложность интеграции в цифровую СУ.</p> <p>Сл2. Высокая стоимость оборудования.</p> <p>Сл3. Влияние температуры окружающей среды.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Уменьшение зависимости выходных характеристик от температуры окружающей среды.</p> <p>В2. Решение проблемы с регулированием нелинейности характеристик.</p> <p>В3. Оперативное решение производственных и технических вопросов.</p>	<p>Использование искусственной не нейронной сети. Эта сеть способна обучаться, адаптироваться для получения линейности характеристик.</p>	<p>Появление автоматизированной системы управления приведет к существенному удорожанию проекта в целом. Сюда относится: переобучение персонала, покупка, установка и эксплуатация дорогостоящего оборудования и пр.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Пониженная защита от взлома.</p> <p>У2. Угрозы выхода из строя сложного энерго-емкого оборудования.</p> <p>У3. Прерывание электро-снабжения предприятия.</p>	<p>Наличие сложного и энергоемкого оборудования дает необходимость наличия квалифицированного персонала, который, в свою очередь, обеспечит надежную и безотказную установку и эксплуатацию оборудования.</p>	<p>Снижение уровня защиты критично для оборонной промышленности и может привести не только к выходу из строя электроники, а к остановке всего технологического процесса, что может привести к поломке дорогостоящего оборудования.</p>

Таким образом, анализируя полученные данные следует, что преимущества технического проекта, что преимуществами технического проекта являются: высокая точность измерения, приоритетом всего производства – безопасность, в связи с особенностью отрасли. Все в совокупности создает условия для высокой точности и линейности измерений. Внедрение данного датчика является экономически целесообразно.

4.2. Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

1. определение структуры работ в рамках научного исследования;
2. определение участников каждой работы;
3. установление продолжительности работ;
4. построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, состав которой определяется количеством задействованных во всем проекте человек. В данном случае группа состоит из четырех человек. По каждому виду запланированных работ установлена соответствующая должность исполнителей. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл.6.

Таблица 6. Порядок этапов и производимых работ.

Основные этапы	№ работы	Наименование работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, инженер
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Описание объекта разработки	
	4	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, инженер
	5	Электромагнитный расчет	Инженер

Теоретические и экспериментальные исследования	6	Тепловой расчет	
	7	Определение параметров и построение характеристик	
	8	Оценка выходных характеристик	
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, инженер
Оформление отчета по техническому проектированию	10	Составление пояснительной записки	Инженер
	11	Выполнение раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Инженер, консультант
	12	Выполнение раздела «Социальная ответственность»	
Подготовка итогового отчета	13	Проверка выпускной квалификационной работы	Научный руководитель, консультанты
	14	Исправление ошибок	Научный руководитель, инженер
Сдача выпускной квалификационной работы	15	Подготовка к защите ВКР	Научный руководитель, инженер

4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{mini} + 2 \cdot t_{maxi}}{5},$$

где $t_{ожі}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.дн.;

t_{mini} - минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: предполагается наиболее благоприятное стечение обстоятельств), чел.дн.;

$t_{\max i}$ - максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: предполагается наиболее неблагоприятное стечение обстоятельств), чел.дн.;

Для обоснованного расчета заработной платы сотрудника необходимо определить продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающую параллельность работ несколькими исполнителями. Удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет приблизительно 65% .

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

где T_{pi} - продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожi}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.дн.;

$Ч_i$ - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.2.3. Разработка графика выполнения работы

При выполнении дипломных работ студенты, в основном, становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным представлением является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого этапа работы из рабочих дней переведена в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot K_{кал},$$

где: T_{ki} - продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} - продолжительность выполнения i-й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ - коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по выражению:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}},$$

где: $T_{кал}$ - количество календарных дней в году;

$T_{вых}$ - количество выходных дней в году;

$T_{пр}$ - количество праздничных дней в году.

Все рассчитанные значения сводим в табл. 7.

Пример расчета (составление и утверждение технического задания):

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,8 \approx 4 \text{ чел.дн};$$

$$T_p = \frac{t_{ож}}{q} = \frac{3,8}{2} = 1,9 \approx 2 \text{ чел};$$

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 116 - 14} = 1,553;$$

$$T_k = T_p \cdot k_{кал} = 2 \cdot 1,553 = 3,106 \approx 4 \text{ дня}.$$

Таблица 7. Продолжительность работ.

работа	t_{\min}	t_{\max}	$t_{ож}$	Исполнители	T_p	T_k	U_i	Γ_i
№	чел-дн	чел-дн	чел-дн		раб. дн.	кал. дн	%	%
1	3	5	3,8	рук., инж.	1,9	2	3,10	3,10
2	4	6	4,8	инженер	4,8	6	7,83	7,90
3	3	7	4,6	инженер	4,6	6	7,50	12,50
4	4	5	4,4	рук., инженер	4,4	5	7,18	16,90
5	1	3	2	инженер	2	2	3,10	18,2
6	1	3	2	инженер	2	2	3,10	20,57
7	1	3	2	инженер	2	2	3,10	23,26
8	1	3	2	инженер	2	2	3,10	26,43
9	3	5	3,8	рук., инж.	1,9	2	3,10	28,71
10	20	32	24,8	инженер	24,8	30	28,06	69,17
11	2	6	3,6	конс., инженер	3,6	4	5,87	75,04
12	3	4	3,4	конс., инженер	3,4	4	5,55	80,59
13	1	3	1,8	рук., конс.,	0,9	1	1,47	82,06
14	7	14	9,8	рук., инженер	9,8	12	15,99	98,04
15	3	7	2,4	рук., инж	1,2	2	1,96	100,00
итого	53	94	67,2	-	69,3	82	100,00	-

Техническая готовность темы. Значение каждой работы в общей продолжительности работ:

$$Y_i = \frac{T_{p.i}}{T_p} \cdot 100\% = \frac{1.9}{69,3} \cdot 100\% = 2.74 \%$$

где Y_i - удельное значение каждой работы в %;

$T_{p.i}$ - продолжительность одной работы, раб.дн;

T_p - суммарная продолжительность темы, раб.дн.

Тогда техническую готовность темы Γ_i

$$\Gamma_i = \frac{\sum_{i=1} T_{p.i}}{T_p} \cdot 100\% = \frac{1.4}{69.3} \cdot 100\% = 2.02 \%$$

где $\sum_{i=1} T_{p.i}$ - нарастающая продолжительность на момент выполнения i -й работы.

На основе таблицы построим календарный план-график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. График строится с помощью программы GanttProject. График строится для ожидаемой по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по неделям (7 дней) за период времени дипломирования. При этом представлены 2 графика: рис. 10 – диаграмма Ганта, рис. 11 – занятость исполнителей и проверяющих ВКР.

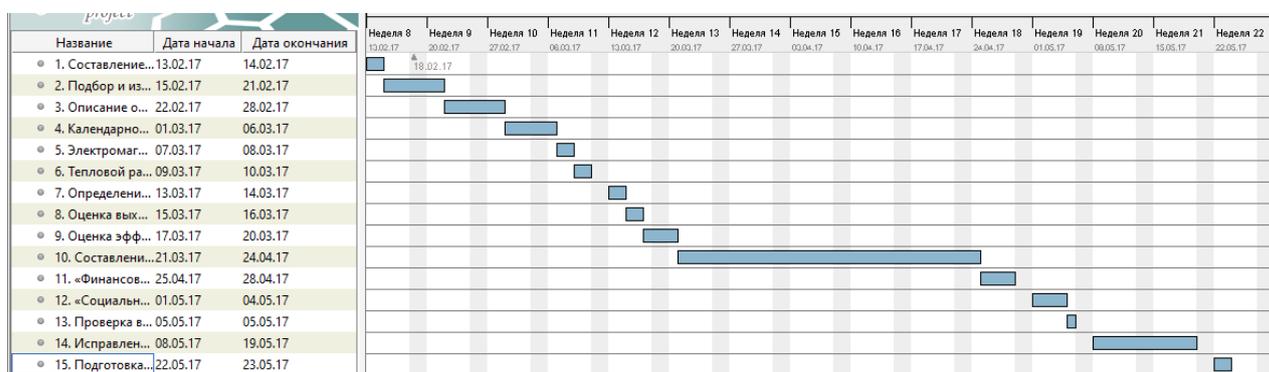


Рис. 10. Календарный план-график проведения исследований.

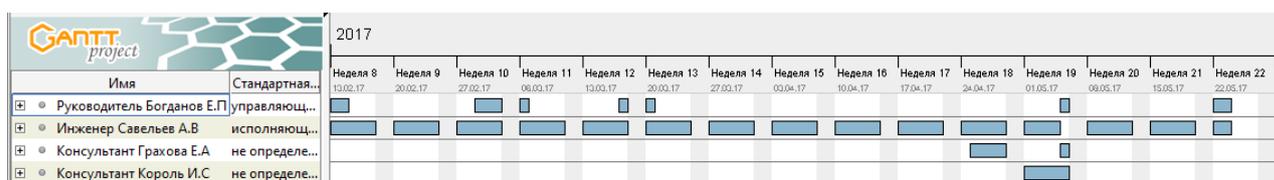


Рис. 11. План-график затрачиваемого времени участников проекта.

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность выполнения технического проекта составит 99 дней (из них 71 – рабочие дни, 28 – выходные). Исполнители и проверяющие ВКР потратят следующее количество времени:

- 85 дней – инженер;
- 24 дня – научный руководитель;
- 5 дней – консультант: Грахова Е.А.;
- 5 дней – консультант: Король И.С.

4.3. Составление сметы затрат на разработку технического проекта

Смета затрат – полный расчет затрат на создание технического проекта. Она включает в себя:

- Материальные затраты;
- Заработную плату исполнителей технического проекта;
- Отчисления во внебюджетные фонды;
- Накладные расходы.

4.3.1. Расчет материальных затрат

В материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, информационные носители (флеш-карты), картриджи и т.п.

Таблица 8. Материальные затраты.

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Z_m)
Бумага	1	250	250
Ручка	2	35	70
Папка	1	45	45
Калькулятор	1	525	525
Итого			890

При расчете материальных затрат не учитывались транспортные расходы, т.к. данные канцелярские принадлежности были доставлены на рабочее место самими исполнителями технического проекта.

4.3.2. Расчет полной заработной платы исполнителей темы

Полная заработная плата включает основную и дополнительную заработную плату и определяется как:

$$З_{полн} = З_{осн} + З_{доп},$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Заработная плата инженера главного специалиста определяется как:

$$З_{П} = З_{осн} + З_{доп},$$

где $З_{доп}$ – дополнительная заработная плата, составляет $0,33 \cdot З_{осн}$;

$З_{осн}$ – основная заработная плата.

Размер основной заработной платы определяется по формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p,$$

где $З_{дн}$ – среднедневная заработная плата;

T_p – суммарная продолжительность работ, выполняемая научно-техническим работником.

Размер среднедневной заработной платы рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_M \cdot M}{F_D},$$

где Z_M – месячный оклад научно-технического работника;

M – количество месяцев работы без отпуска ($M = 10,95$ для пятидневной рабочей недели и отпуске в 32 рабочих дней);

F_d – действительный годовой фонд научно технического персонала (определяется за вычетом выходных, праздничных и больничных дней).

Месячный оклад научно-технического работника определяется по формуле:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p;$$

где Z_{TC} – заработная плата по тарифной ставке;

k_{np} – премиальный коэффициент, равный 0,3;

k_d – коэффициент доплат и надбавок, 0,35;

k_p – районный коэффициент, для наших исследуемых зон возьмем усредненный 1,3.

Размер заработной платы по тарифной ставке определяется по формуле:

$$Z_{TC} = T_{ci} \cdot k_T;$$

где T_{ci} – тарифная ставка работника;

k_T – тарифный коэффициент в зависимости от ставки.

С помощью представленных выше формул находим основную заработную плату руководителя:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,3) \cdot 1,3 = 54704 \text{ руб};$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d} = \frac{54704 \cdot 10,4}{366 - 126} = 2370,5 \text{ руб};$$

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p = 2370,5 \cdot 15 = 35557,6 \text{ руб};$$

$$Z_{\text{п}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} + 0,15 \cdot Z_{\text{осн}} = 35557,6 + 0,15 \cdot 35557,6 = 40891,2 \text{ руб}.$$

По аналогии рассчитаем заработную плату инженера:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,3) \cdot 1,3 = 35360 \text{ руб};$$

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d} = \frac{35360 \cdot 10,4}{366 - 126} = 1532,3 \text{ руб};$$

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 1532,3 \cdot 80 = 122581,3 \text{ руб};$$

$$Z_{п} = Z_{осн} + Z_{доп} = Z_{осн} + 0,15 \cdot Z_{осн} = 122581,3 + 0,12 \cdot 122581,3 = 140968,5 \text{ руб}.$$

Таблица 9. Расчет основной заработной платы.

Исполнители	Z_{TC} , руб.	Z_M , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.	$Z_{доп}$, руб.	$Z_{полн}$, руб.
Руководитель	26300	54704	2370,5	15	35557,6	5333,6	40891,2
Инженер	17000	35360	1532,3	80	122581,3	18387,2	140968,5
Итого					158138,9	23720,8	181859,7

4.3.3. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}),$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На основании пункта 1 ст.58 Федерального закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2016 году вводится пониженная ставка – 27,1 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{внеб1} = 0,271 \cdot 40891,2 = 11081,52 \text{ руб.}$$

$$З_{внеб2} = 0,271 \cdot 140968,5 = 38202,5 \text{ руб.}$$

4.3.4. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергия, почтовые и телеграфные расходы и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{накл} = \sum(\text{статей}) \cdot k_{нр} = (890 + 158138,9 + 23720,8 + 49284) \cdot 0,16 = 37125,4 \text{ руб.}$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

4.4. Формирование сметы технического проекта.

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку проекта. Определение суммы затрат на технический проект представлено в табл. 10.

Таблица 10. Смета затрат технического проекта.

Наименование статьи	Сумма, руб.	Доля, %
Материальные затраты	890	0,33
Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	181859,7	67,57
Отчисления во внебюджетные фонды	49284	18,31
Накладные расходы	37125,4	13,79
Итого	269159	100,0

Смета затрат на разработку технического проекта составляет 269159, руб, из которых более половины (67,57 %) составляют затраты на оплату труда исполнителей проекта. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы.

4.5. Оценка конкурентоспособности и ресурсоэффективности проекта

Конкурентоспособность анализируется на основании сравнения с другими разработками на рынке. При этом используется информация о бюджете разработки и технические характеристики проекта.

Ресурсоэффективность и ресурсосбережение – основные позиции, которые дают возможность проведения оценки с перспективой будущего развития научного проекта. В качестве критериев используются следующие параметры:

1. Надежность. Определяется точностью измерений.
2. Экономичность. Потребление электрической энергии должно быть минимизировано.
3. Износостойкость. Датчик должен быть способен выдержать сверхнагрузки, и прослужить максимально длительное время.
4. Безопасность. С точки зрения воздействия на человека электрический ток является опасным. Соответственно электроэнергетическое оборудование должно удовлетворять всем требованиям безопасной эксплуатации и ремонта.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в табл. 11.

Таблица 11. Сравнительная оценка характеристик проекта.

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки	Конкурентоспособность
Износостойкость	0,2	4	0,8
Надежность	0,25	5	1,25
Безопасность	0,35	5	1,75
Экономичность	0,1	2,5	0,25
Ремонтопригодность	0,1	3	0,3
Итого	1	-	4,35

Позиция оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Значения показателей, определяемые экспертным путем, в сумме равны 1.

Анализ конкурентоспособности проекта определяется согласно выражению:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где K - конкурентоспособность научной разработки;

B_i - вес показателя (в долях единицы);

B_i - балл i -го показателя.

$$K_{k\Sigma} = 0,2 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 + 0,35 \cdot 5 + 0,1 \cdot 2,5 + 0,1 \cdot 3 = 4,35$$

Вывод: Ссылаясь на таблицу 3 и 4 можно сделать вывод, что показатель конкурентоспособности проекта достаточно высок.

Таким образом в разделе «финансовый менеджмент» был произведен расчет бюджета всего проектирования, оценка ресурсоэффективности, целесообразность и перспективность разработки.

Заключение

Во введении рассмотрены понятие датчика линейных перемещений, их классификация и области применения.

В разделе «системный анализ» были проанализированы отечественные и зарубежные разработки, выбран прототип датчика.

В расчетном разделе были произведены электромагнитный и тепловой расчеты.

Также проведены экспериментальные исследования на датчике типа ЛДТ - 3522, которые позволили получить дополнительные сведения о датчике. С помощью данного раздела, в лабораторных условиях, была проверена верность теоретических расчетов.

Произведен анализ технического проекта в разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», а именно проработаны следующие темы: оценка коммерческого потенциала и перспективность проекта с помощью QuaD- и SWOT-анализов, планирование научно-исследовательских работ. Также разработан календарный план график выполнения технического проекта и составлены сметы затрат.

В разделе «Социальная ответственность» были произведены анализы вредных и опасных факторов, меры защиты, и разработаны условия предупреждения возникновения чрезвычайных ситуаций. Также произведен анализ влияния прибора на окружающую среду и проработаны правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

В результате, спроектирован датчик линейных перемещений, удовлетворяющий условиям технического задания.

Список литературы:

1. Е.П. Богданов. Датчики линейных перемещений. Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Бесконтактные электрические аппараты». – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 20 с.
2. Е.П. Богданов. Лабораторный практикум по курсу «Бесконтактные электрические аппараты». – Томск: Изд-во ТПУ, 2002. – 63 с.
3. А.А. Чунихин. 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: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 88 с.
5. Р.Я. Кляйн. Электрические и электронные аппараты. Ч. II: Электромеханические аппараты: учебное пособие / Р.Я. Кляйн. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. - 161 с.
6. О.В. Григораш. 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.
7. А.А. Яковлев. Разработка множеств технических решений установок для преобразования энергии: монография / А.А. Яковлев. – М.: Машиностроение – 1, 2007. – 128 с.
8. S. C. Saxena and S. B. L. Seksena. A self-compensated smart LVDT transducer. IEEE Transactions on Instrument and Measurement. vol. 38, no. 3, pp. 748–753, Jun. 1989.
9. G. Y. Tian, Z. X. Zhao, R. W. Baines, and N. Zhang. Computational algorithms for linear variable differential transformers (LVDTs). Proc. Inst. Elect. Eng.—Sci. Meas. Technol., vol. 144, no. 4, pp. 189–192, Jul. 1997.
10. D. Crescini, A. Flammini, D. Marioli, and A. Taroni. Application of an FFT-based algorithm to signal processing of LVDT position sensors. IEEE Transactions on Instrument and Measurement. vol. 47, no. 5, pp. 1119–1123, Oct. 1998.

11. R.M. Ford, R. S.Weissbach, and D. R. Loker,. A novel DSP-based LVDT signal conditioner. *IEEE Transactions on Instrument and Measurement*, vol. 50, no. 3, pp. 768–774, Jun. 2001.
12. S. K. Mishra, G. Panda, D. P. Das, S. K. Pattanaik, and M. R. Meher. A novel method of designing LVDT using artificial neural network. In *Proceedings IEEE Conference, ICISIP*, pp. 223–227, Jan. 2005.
13. A. Flammini, D. Marioli, E. Sisinni, and A. Taroni, “Least mean square method for LVDT signal processing. *IEEE Transactions on Instrument and Measurement*, vol. 56, no. 6, pp. 2294–2300, Dec. 2007.
14. Zhongxun Wang, Zhonghua Duan. The Research of LVDT Nonlinearity Data Compensation based on RBF Neural Network. *Proceeding of World Congress on Intelligent Control and Automation, Chongqing, China, June 25-27, 2008*.
15. Saroj Kumar Mishra, Ganapati Panda, Debi Prasad Das. A Novel Method of Extending the Linearity Range of Linear Variable Differential Transformer Using Artificial Neural Network.*IEEE Transactions on Instrument and Measurement*, Vol 59, No 4, pp 947-953, 2010.

