

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

Институт Электронного обучения

Специальность Информационно-измерительная техника и технологии

Кафедра физических методов и приборов контроля качества

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы
Измеритель толщины лакокрасочных покрытий на ферромагнитных изделиях

УДК 621.317

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-1401	Мельникова Екатерина Викторовна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель каф. ФМПК	Уразбеков Е.И.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доц. каф. менеджмента	Петухов О.Н.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Асс. каф. ЭБЖ	Кырмакова О.С.			

По разделу «Надежность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель каф. ФМПК	Степанов А.Б.			

По разделу «Конструкторско-технологическая часть»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель каф. ФМПК	Степанов А.Б.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФМПК	Суржиков А.П.	д.ф.-м.н.		

Томск – 2016 г.

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

Институт – Электронного обучения
Специальность – Информационно-измерительная техника и технология
Кафедра – Физических методов и приборов контроля качества

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ Суржиков А.П.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-1401	Мельникова Екатерина Викторовна

Тема работы:

Измеритель толщины лакокрасочных покрытий на ферромагнитных изделиях	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 277/с от 22.01. 2016

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	Измеритель лакокрасочных покрытий толщиной до 5 мм. Диаметр зоны контроля ≤ 15 мм. Индикация измеряемой величины: жидкокристаллические 7 сегментные индикаторы. Требования к электропитанию, потребляемая мощность к источникам питания: аккумулятор 5В. Показатели быстродействия: 1мс. Помехозащищенность – обеспечить по ГОСТ 14254. Допускаемая основная погрешность – ± 1 %.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	Обзор методов и средств измерения толщины лакокрасочных покрытий на ферромагнитных изделиях, выбор метода. Расчет первичного преобразователя. Разработка структурной схемы измерителя толщины лакокрасочных покрытий. Расчет принципиальной схемы, разработка конструкторской документации. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Социальная ответственность.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Структурная схема прибора, Схема электрическая принципиальная, Чертеж печатной платы изделия, Сборочный чертеж печатной платы, Чертеж обще-

		го вида электронного блока, Таблица организации и планирование ИР.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>		
Раздел	Консультант	
По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Доц. каф. Менеджмента Петухов О.Н.	
По разделу «Социальная ответственность»	Асс. каф. ЭБЖ Кырмакова О.С.	
По разделу «Расчет надежности»	Ст. преподаватель каф. ФМПК Степанов А.Б.	
По разделу «Конструкторская часть»	Ст. преподаватель каф. ФМПК Степанов А.Б.	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		
Заключение		

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.09.2015
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Уразбеков Е.И.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-1401	Мельникова Е.В.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
З-1401	Мельникова Екатерина Викторовна

Институт	Электронного обучения	Кафедра	Физических методов и приборов контроля качества
Уровень образования	Специалитет	Направление/специальность	Информационно-измерительная техника и технологии

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Финансовые ресурсы-20 000 руб. Человеческие ресурсы-2 человека
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)	1.Портрет потребителя ИР 2.Оценка конкурентоспособности 3. SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР	Составление календарного плана-графика разработки и внедрения ИР.
3. Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР	Расчет потребности оборотных средств
4. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)	1.Расчет годового фонда заработной платы 2.Расчет численности персонала 3.Баланс эффективного времени одного среднесписочного работника 4.Расчет себестоимости
5. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков	1.Оценка эффективности проекта. 2.Анализ рисков

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценка конкурентоспособности ИР
2. Матрица SWOT
3. График разработки и внедрения ИР

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доц. каф. менеджмента	Петухов О.Н.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1401	Мельникова Екатерина Викторовна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-1401	Мельникова Екатерина Викторовна

Институт	Электронного обучения	Кафедра	Физических методов и приборов контроля качества
Уровень образования	Специалитет	Направление/специальность	Информационно-измерительная техника и технологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Рабочим местом является аудитория кафедры Физических методов и приборов контроля качества, специально оборудованная для этих целей. Это помещение представляет собой аудиторию учебного корпуса. Состояние воздушной среды помещения определяются работой приборов. В данном помещении большое количество измерительной и другой техники. В этой аудитории могут работать восемь студентов и преподаватель.

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 пожаро-

При разработке ВКР к физическим вредным факторам относятся:

- Недостаточная освещенность ;
- Электростатическое поле;
- Электромагнитное поле;
- Повышенный уровень шума;
- Неблагоприятные условия микроклимата.

К физическим опасным производственным факторам относятся:

- Термическая опасность;
- Поражение электрическим током

тушения).	
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.	При выполнении данной работы и разработке устройства был задействован флюс для пайки. При работе с которым происходило его испарение. Каких-либо негативных воздействий на окружающую среду эти пары не оказывали. Также при работе самого устройства, в окружающую среду ничего не выделяется.
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.	Наиболее вероятными ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории, являются пожар и землетрясение. Действия при пожаре, для того, чтобы снизить риск возникновения пожара, в лаборатории имеются датчики дыма и температуры, у выход имеется огнетушитель. Действия при землетрясении, необходимо быстро покинуть здание, следуя плану эвакуации, который расположен в лаборатории.
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.	Под безопасностью понимаются защитные мероприятия и средства, обеспечивающие снижение опасности до минимальной степени риска, когда негативные факторы не превышают допустимой величины.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ЭБЖ	Кырмакова О.С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1401	Мельникова Екатерина Викторовна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 112 страниц текста, 38 рисунков, 18 таблиц, 6 приложений, 17 литературных источников.

Ключевые слова: толщина, методы и средства измерений толщины покрытий, система контроля, вихретоковый контроль, разработка.

Объектом исследования является толщина лакокрасочных покрытий.

Цель работы – разработка более дешевого и простого в применении измерителя толщины лакокрасочных покрытий на ферромагнитных изделиях, чем существующие на рынке.

В процессе работы рассматриваются основные методы и средства измерения толщин лакокрасочных покрытий на ферромагнитных изделиях, производится расчет структурной схемы, выбор и обоснование элементов принципиальной схемы.

В результате был разработан измеритель толщины лакокрасочных покрытий на ферромагнитных изделиях с использованием метода вихревых токов, адаптированный для снятия измерений в промышленных условиях.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010.

Содержание	
Введение	12
1 Характеристики объекта контроля.....	13
2 Обзор и сравнительный анализ методов и средств измерений толщины лакокрасочных покрытий на ферромагнитных изделиях	15
2.1 Радиометрические методы.....	16
2.1.1 Метод, основанный на измерении обратного рассеяния.....	16
2.1.2 Рентгенофлуоресцентный метод.....	18
2.2 Магнитные методы.....	19
2.2.1 Метод, основанный на измерении силы притяжения	19
2.2.2 Методы, основанные на измерении магнитного потока	21
2.2.3 Метод, основанный на измерении магнитной индукции	23
2.3 Метод измерения вихревых токов.....	25
2.4 Ультразвуковой метод	29
3 Выбор метода и средств контроля толщины лакокрасочных покрытий.	32
4 Выбор и обоснование структурной схемы	34
5 Разработка и расчёт принципиальной схемы	35
5.1 Расчет первичного преобразователя	35
5.2 Выбор задающего генератора.....	41
5.3 Расчет усилителя мощности	42
5.4 Расчет ключевого синхронного детектора.....	44
5.4.1 Расчет буферного усилителя и инвертора.....	45
5.4.2 Расчет схемы управления ключа.....	47
5.5 Выбор АЦП.....	51
5.6 Выбор микроконтроллера.....	52
5.7 Выбор индикации	54
5.8 Выбор внешней памяти данных	54
5.9 Выбор кнопок управления	55
5.10 Выбор источника питания.....	56
5.9.1 Расчет контроллера.....	56

5.9.2	Расчет необходимой мощности аккумулятора.....	56
5.9.3	Выбор DC-DC преобразователя.....	56
6	Расчет надежности	58
7	Конструкторско- технологическая часть	71
7.1	Разработка конструкции	71
7.2	Разработка печатной платы (ПП)	71
7.2.1	Общие технические требования к ПП	72
7.2.2	Расчет конструктивных и электрических параметров печат- ной платы	73
7.2.3	Технология изготовления платы.....	75
7.3	Общие положения при монтаже ПП	77
8	Расчет погрешности	78
9	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	82
9.1	Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР) ...	82
9.1.1	Портрет потребителя	82
9.1.2	Оценка конкурентоспособности	83
9.1.3	SWOT-анализ	85
9.2	Формирование плана графика разработки и внедрения ИР.....	87
9.3	Составление бюджета инженерного проекта (ИП)	89
9.4	Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффектив- ности ИР и потенциальных рисков	95
9.5	Вывод	98
10	Социальная ответственность	99
10.1	Производственный контроль.....	99
10.2	Анализ опасных и вредных факторов.....	100
10.2.1	Электромагнитное поле.....	101
10.2.2	Электрический ток	101
10.2.3	Электростатическое поле	102
10.2.4	Ионизирующее излучение	102

10.3 Организация рабочего места.....	102
10.4 Расчет искусственного освещения.....	104
10.5 Категория тяжести условий труда.....	108
11 Заключение.....	109
12 Conclusion	110
13 Список использованных источников	111
Приложение А. Структурная схема	
Приложение Б. Принципиальная схема	
Приложение В. Общий вид	
Приложение Г. Печатная плата	
Приложение Д. Сборочный чертеж печатной платы	
Приложение Е. Экономическая таблица	

Введение

Надежность и долговечность изделий машиностроения во многом определяются их коррозионной стойкостью. Однако далеко не все материалы обладают достаточной стойкостью. Поэтому для их защиты от коррозии применяют различные покрытия. Чаще всего для повышения износостойкости на детали наносят защитные покрытия. Именно от толщины защитных покрытий зависят конечные свойства деталей. Так, например, недостаточная толщина покрытия не сможет обеспечить достаточную прочность, а слишком большая в свою очередь может привести не только к снижению механических характеристик изделия, но и значительно увеличить затраты на его производство. Исходя из вышесказанного, следует, что контроль толщины покрытий является весьма актуальной задачей.

Целью дипломной работы является разработка более дешевого и простого в применении измерителя толщины лакокрасочных покрытий на ферромагнитных изделиях, чем существующие на рынке.

Для осуществления поставленной цели следует решить следующие задачи:

- получить общие сведения о лакокрасочных покрытиях;
- произвести анализ существующих методов и средств контроля толщины лакокрасочных покрытий;
- разработать конструкцию прибора на основе провиденного анализа.
- исследовать показания, полученные при контроле толщины покрытия.

Актуальностью задачи разработки толщиномера является то, что существующие на рынке толщиномеры сложные и дорогостоящие. Поэтому и нужно создать более дешевый и простой в применении толщиномер.

1 Характеристики объекта контроля

Лакокрасочные материалы — это составы, которые наносят на поверхности в порошкообразном или жидком виде равномерным тонким слоем. После отвердевания и высыхания эти составы образуют пленку, имеющую прочное сцепление с основанием. Образовавшаяся пленка и есть лакокрасочное покрытие, основными его свойствами является теплозащита, защита от агрессивных сред и атмосферных воздействия, оно также защищает металлы от коррозии, предотвращает опасность поражения электрическим током, при пропускании его через данный объект, выполняет декоративные и другие функции. [1]

Лакокрасочные материалы подразделяют на следующие группы:

- краска;
- лак;
- эмаль;
- шпатлевка;
- антисептик;
- грунтовка.

Основные группы лакокрасочных материалов, которые наиболее часто применяются в устройствах и оборудований это краска и лак.

Краски – общее название для группы разноцветных красящих веществ, предназначенных для непосредственного использования в той или иной сфере быта. По химическому составу пигменты и изготовленные из них краски разделяются на минеральные (неорганические соли или оксиды металлов) и органические (весьма сложные соединения, в основном растительного или животного происхождения). И те и другие могут быть естественными (природными) и искусственными (синтетическими).

Чаще всего под словом «краски» подразумевают суспензии пигментов или их смеси с наполнителями, в связующем – олифе, ПВА - эмульсии, латексах или других пленкообразующих веществах. Краски наносятся непосредственно на имеющийся материал или на грунт.

Лаки – растворы смол (натуральных или синтетических) в различных растворителях (углеводороды, ацетон, вода, этанол, олифы или эфирные масла) до жидкой или полужидкой консистенции, которые, просыхая в тонком слое, находящемся на каком-либо предмете, образуют прочную пленку (как правило прозрачную, в отличие от краски), хорошо противостоящую различным внешним физико-химическим воздействиям. Отверждение пленки лака происходит либо за счет испарения растворителя, либо за счет реакции окислительной полимеризации. Лаки условно делят на термопластичные и термореактивные.

В настоящее время существуют лаки, не содержащие в составе растворителей. Их низкую вязкость обеспечивают олигомеры, которые способны отвердевать в присутствии специальных веществ — отвердителей или катализаторов.

Нанесение лака на поверхность называется лакированием.

Изменение характеристик поверхностных слоев не металлических и металлических изделий приобретает все большую актуальность. Современные требования к надежности оборудования при увеличении нагрузок на него, необходимость в защите металлических деталей от агрессивных сред и очень высоких или, наоборот, низких температур приводят к возрастающему интересу во всех областях промышленности к применению защитных покрытий.

Более всего лакокрасочные покрытия находят применение в автомобилестроении, строительстве, авиационной, радиотехнической и электронной промышленности. Но эстетичный вид и большая цветовая гамма вместе с защитой от неблагоприятного внешнего воздействия привлекают внимание и дизайнеров помещений, например, при отделке ручек дверей, мебели и карнизов, деталей интерьера и экстерьера. Тонкие (от 2-6 до 12-20 микрон) и прочные слои лакокрасочных покрытий увеличивают срок службы и улучшают качество бытовых, медицинских, штамповочных и прессовых инструментов, деталей узлов трения.

2 Обзор и сравнительный анализ методов и средств измерений толщины лакокрасочных покрытий на ферромагнитных изделиях

Наряду с химическим составом, фазовой структурой, твердостью, шероховатостью и пористостью покрытия решающую роль зачастую играет его толщина. Кроме того, толщина слоя является основным критерием при приемке покрытия или изделия в целом. Существующие методы измерения толщины покрытия постоянно совершенствуются, а область их применения расширяется; разрабатываются также новые методы, более совершенные, чем имеющиеся, или позволяющие проводить измерения там, где другие методы неэффективны.

Развитие технологии нанесения покрытий в направлении увеличения производительности и автоматизации производства требует внедрения методов, обеспечивающих непрерывный и бесконтактный процесс измерения. Но это не означает вытеснения из практики других методов, они и далее сохраняют свое значение, например для контроля качества копий (изготавливаемых из благородных металлов), небольших деталей с покрытием, а также в области металловедения. Большинство из описываемых ниже методов измерения толщины покрытия основано на том, что свойства материалов покрытия и защищаемой поверхности имеют определенные различия, причем эти различия имеют скачкообразный характер на поверхности раздела. Дополнительные трудности возникают при необходимости измерения толщины промежуточных слоев, образующихся за счет диффузии, и методов измерения характеристик которых не существует (как, например, для покрытий, наносимых погружением в расплав, плакированием, а также для покрытий, наносимых на кромку листа из газовой фазы).

2.1 Радиометрические методы

Радиометрические методы основаны на использовании способности радиоактивных излучений вступать во взаимодействие с материалом. Эффектами, сопровождающими этот процесс и представляющими интерес для измерения толщины покрытий, являются обратное рассеяние и поглощение излучения, а также возбуждение атомов, вызывающее их собственное излучение.

2.1.1 Метод, основанный на измерении обратного рассеяния

При внедрении пучка радиоактивных частиц в материал их рассеяние происходит во всех направлениях. Доля частиц, отраженных под углом 180° (обратно рассеянных), в этом методе используется в качестве меры толщины рассеивающего слоя. Эта так называемая интенсивность обратного рассеяния в случае применения определенного источника излучения (радиоизотопа) и постоянной геометрии датчиков зависит от порядкового номера вещества в периодической системе и толщины измеряемого слоя. Эмпирически было найдено следующее соотношение между интенсивностью обратного рассеяния $I_{обр}$, интенсивностью насыщения I_n , коэффициентом обратного рассеяния m_r и толщиной слоя d_s :

$$I_{обр} = I_n(1 - e^{-m_r d_s}).$$

Принцип метода пояснен на рис. 1; некоторые радиоизотопы, используемые при измерениях обратного рассеяния Р-излучения.

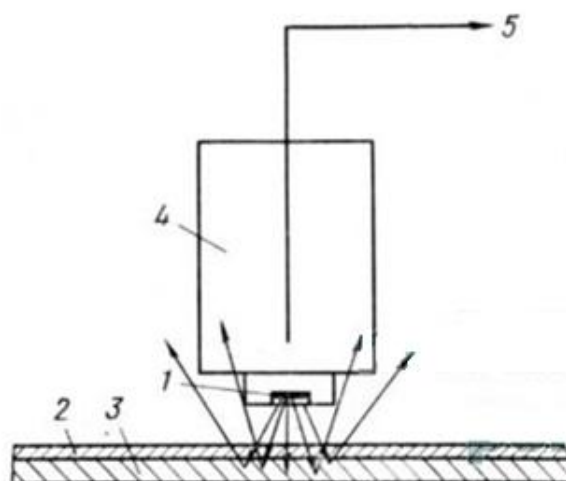


Рис. 1 Схема измерения толщины покрытия, основанного на измерении обратного рассеяния:

- 1- Источник излучения; 2- материал покрытия; 3- основной материал;
4- детектор излучения; 5- измерительный прибор.

Метод, основанный на измерении обратного рассеяния, применим для всех комбинаций материалов, для которых порядковые номера (Z_Q — основного материала, Z_n — материала покрытия) достаточно отличаются друг от друга. Ориентировочно принимают, что должно выполняться условие $|Z_Q - Z_n| > 3$.

Так как при этом порядковый номер материала покрытия может быть как больше, так и меньше порядкового номера основного материала, интенсивность обратного рассеяния, фиксируемая при измерениях, увеличивается или уменьшается при увеличении толщины покрытия. Причина этого эффекта пояснена на рис. 2.

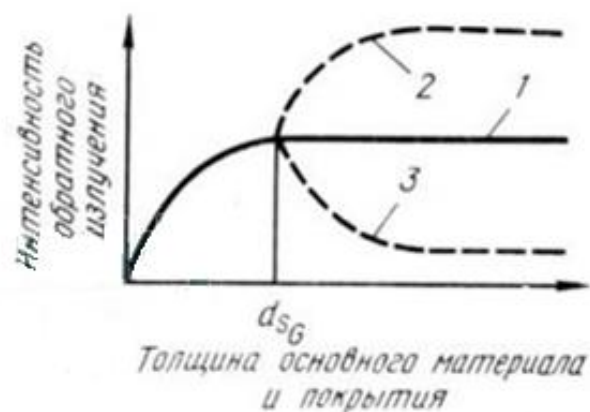


Рис. 2 Зависимость интенсивности обратного рассеяния от толщины покрытия (d_{8G} – толщина основного материала. При которой наступает насыщение обратного рассеяния):

1- без покрытия; 2- $Z_n > Z_0$; 3- $Z_n < Z_0$.

2.1.2 Рентгенофлуоресцентный метод

На рисунке 3 показана схема установки для определения толщины покрытия рентгенофлуоресцентным методом.

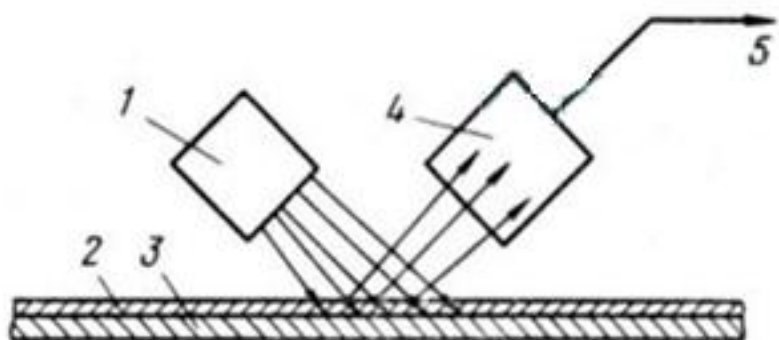


Рис. 3 Схема измерения толщины покрытия рентгенофлуоресцентным методом:

1- источник излучения; 2- материал покрытия; 3- основной материал;
4- детектор излучения; 5- измерительный прибор.

В зависимости от свойств и качества обоих материалов измерения можно проводить при возбуждении атомов того или другого из них. В случае возбуждения атомов материала покрытия мерой толщины слоя является только интенсивность флуоресцентного излучения. При возбуждении же атомов ос-

нового материала толщину слоя оценивают по поглощению флуоресцентного излучения основного материала.

Этот метод особенно пригоден для измерения толщины очень тонких покрытий, примерно до 10 мкм. При этом должно выполняться условие $|Z_D - Z_n| > 1$. Диаметр поля измерения должен быть не менее 10 мм.

Погрешность измерений этим методом в большинстве случаев несколько ниже, чем при использовании метода, основанного на измерении обратного рассеяния.

Рентгенофлуоресцентный метод позволяет проводить измерения как в непрерывном, так и в дискретном режиме.

Достоинствами этого метода являются: дистанционность, удобство применения в автоматизированных системах контроля, долговечность источника излучения. Существенными недостатками являются: малый диапазон измеряемых толщин, опасность для персонала, необходимость сложной тарировки и др.[2].

2.2 Магнитные методы

Измерения толщины покрытия на базе магнитных явлений основаны на прямом или косвенном использовании взаимодействия сил или изменения геометрии и интенсивности магнитного поля в качестве измеряемой величины. Основной магнитной характеристикой, как материала покрытия, так и основного материала, которая позволяет судить о толщине слоя, является магнитная проницаемость. При этом датчиками служат как постоянные, так и электромагниты.

2.2.1 Метод, основанный на измерении силы притяжения

При приближении магнита к ферромагнитной детали она намагничивается, появляющаяся при этом сила притяжения между обоими полюсами зависит от расстояния между магнитом и изделием. Сила притяжения (сила, требу-

емая для отрыва магнита от основного материала, покрытого слоем ферромагнетика) является мерой толщины покрытия.

На рис. 4 показано устройство для измерения толщины покрытия, основанное на измерении сил, возникающих под действием магнитного поля.

Этот метод позволяет измерять толщину неферромагнитных (например, лаковых, пластмассовых, цинковых, медных) и слабоферромагнитных (например, полученных азотированием и гальваническим никелированием) слоев толщиной примерно до 10 мм, нанесенных на ферромагнитный основной материал, с погрешностью около 10—15 %. Измерения проводятся в отдельных точках и всегда дискретны.

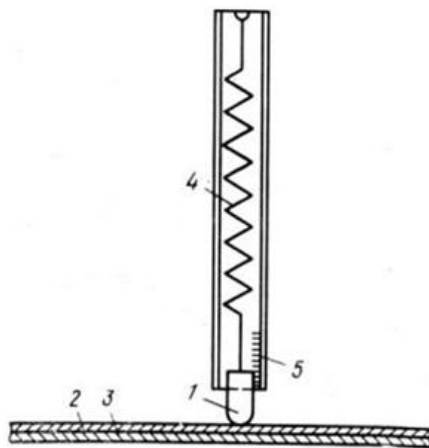


Рис. 4 Схема устройства для измерения толщины покрытия, основанного на использовании сил, вызванных действием поля постоянного магнита:

- 1- постоянный магнит; 2- материал покрытия; 3- основной материал;
- 4- пружина; 5- шкала.

Недостатком этого метода является низкая чувствительность и зависимость показаний от формы магнита и поверхности изделия.

Характерным представителем магнитоотрывных толщиномеров является Константа М1 (рис. 5)

Магнитный толщиномер - карандаш предназначен для оперативного измерения толщины отвердевших немагнитных покрытий, нанесенных на изделия из ферромагнитных металлов.



Рис. 5 Магнитный толщиномер Константа М1

Технические характеристики:

Диапазон измеряемых значений T , мкм 0 — 500; 25 — 700;

Погрешность, мкм не превышает $\pm 0,1 T$.

Принцип измерения

Основан на определении величины удлинения пружины, при котором происходит отрыв магнита от ферромагнитного основания.

Принцип действия

Основан на отрыве постоянного магнита с помощью тарированной пружины от ферромагнитного основания. Толщина покрытия определяется по удлинению пружины (силе, необходимой для отрыва магнита от основания).

Цена 8024руб.

2.2.2 Методы, основанные на измерении магнитного потока

Плотность магнитного потока зависит от магнитной проницаемости материала, через который проходят магнитные силовые линии. Если в замкнутый контур магнитных силовых линий ввести ферромагнитный материал с неферромагнитным или слабоферромагнитным покрытием, то плотность магнитного потока может служить мерой толщины этого покрытия.

На рис. 6 показана схема измерения изменения магнитного потока с помощью так называемого зонда Холла.

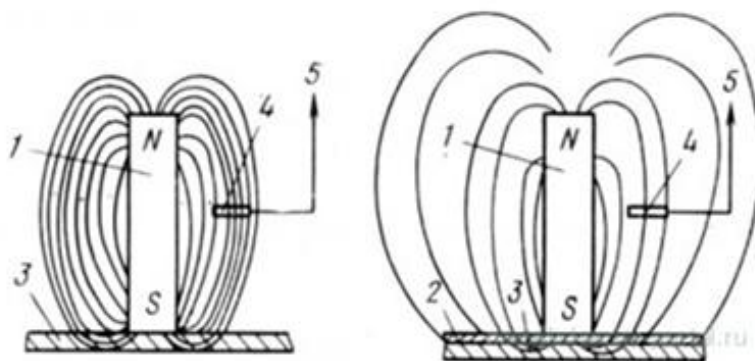


Рис. 6 Схема измерения толщины покрытия посредством определения плотности магнитного потока:

- 1- стержневой магнит; 2- материал покрытия; 3- основной материал;
4- зонд Холла; 5- измерительный прибор.

Принцип измерения толщины покрытия посредством фиксации изменения геометрии магнитных силовых линий пояснен на рис. 7.

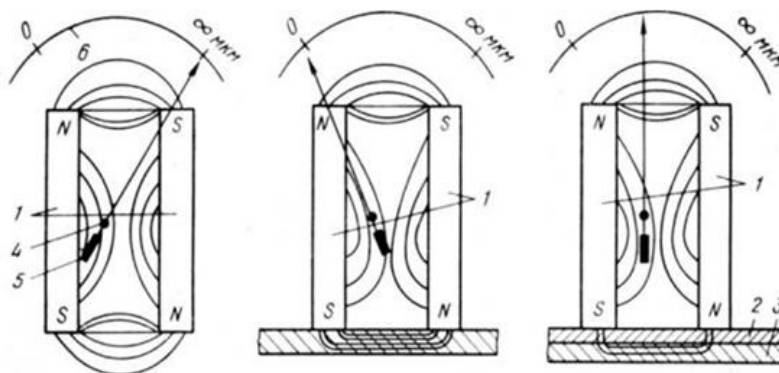


Рис. 7 Схема измерения толщины покрытия посредством фиксации изменения геометрии магнитных силовых линий:

- 1- стержневой магнит; 2- материал покрытия; 3- основной материал;
4- ось вращения; 5- подвижный магнит; 6- шкала.

Этот метод позволяет измерять толщину неферромагнитных (лаковых) или слабоферромагнитных (цинковых, медных, свинцовых и др.) покрытий, нанесенных на ферромагнитный основной материал. Диапазон измеряемой величины составляет 0..10 мм, погрешность измерений — около $\pm 10\%$. При использовании двухполюсного ярма всегда определяют сумму толщин слоев, лежащих ниже обоих сердечников полюсов[2].

Измерения производятся в точках и всегда дискретно.

Недостатками такого метода является зависимость показаний от температуры и ферромагнитных характеристик материала основания.

2.2.3 Метод, основанный на измерении магнитной индукции

На сердечник катушки устанавливают вторую (измерительную) обмотку, в которой индуцируется напряжение, пропорциональное магнитному потоку. Это напряжение, которое после усиления и выпрямления индуцируется стрелочным прибором, при прочих равных условиях является мерой толщины покрытия.

На рис. 8 показаны схемы двух устройств, предназначенных для измерения толщины покрытия этим методом.

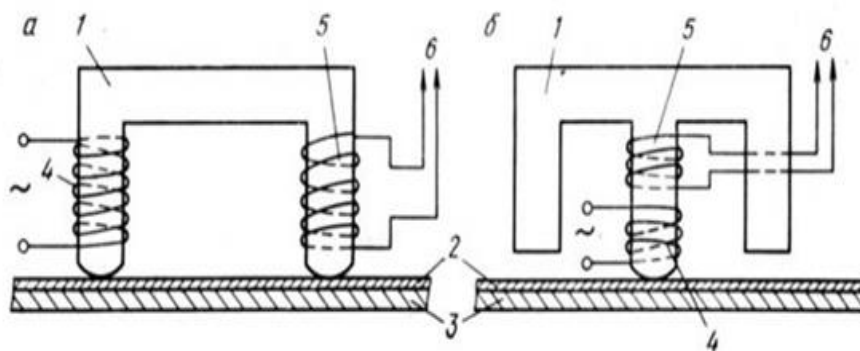


Рис. 8 Схема измерения толщины покрытия методом, основанным на измерении магнитной индукции, однополюсным (а) и двухполюсным (б) зондами:

1- сердечник магнита; 2- материал покрытия; 3- основной материал; 4- катушка возбуждения; 5- катушка измерения; 6- к измерительному прибору.

Метод, основанный на измерении магнитной индукции, позволяет измерять толщину неферромагнитных покрытий, нанесенных на ферромагнитный основной материал. Диапазон измеряемых толщин — от 0 до 10 мм, средняя погрешность измерений невелика и составляет от ± 3 до ± 5 %.

При большой глубине проникновения магнитного поля можно измерять также толщину ферромагнитных покрытий, нанесенных на неферромагнитный основной материал. При этих условиях толщина измеряемого слоя в большинстве случаев должна быть, как правило, меньше 1 мм.

Аппаратура проста по конструкции и в обслуживании, она позволяет проводить измерения в точках, причем только в дискретном режиме.

Достоинства индукционного метода:

- независимость показаний от электропроводности покрытия и основания;
- высокая точность измерений толщины покрытий на изделия правильной формы с хорошо подготовленной поверхностью;

Недостатки индукционного метода:

- сильное влияние шероховатости основания на результаты измерений (возможно уменьшение за счет проведения измерений с усреднением по зоне);
- трудность проведения измерений на малоразмерных деталях (винты, гайки, заклепки и т.д.) без специальной оснастки и стендов.

Представителем данного метода является толщиномер DELTASCOPE MP30.

Толщиномер модели DELTASCOPE MP30(9) используется для тестирования покрытий из цветных металлов (хром, медь, цинк и т. д.), а также лакокрасочных и пластиковых покрытий по железу и стали.



Рис. 9 Толщиномер DELTASCOPE MP30

Общие характеристики толщиномеров

Большой жидкокристаллический дисплей, на котором отображаются цифровые показатели результатов измерений, пиктограммы с указанием состояния прибора, а также построчный комментарий о процессе измерений.

Легкосъемные датчики сменного типа.

Автоматическое распознавание датчика.

Автоматическое включение процесса измерения при касании датчика измеряемого объекта.

Звуковое подтверждение произведенного измерения.

Диапазон измерения: 0- 1200 мкм;

Погрешность измерения: 1%;

Источник питания (батареи): 6LR61;

Потребляемая мощность: не более 0,2 ВА.

Цена: 75306 руб.

2.3 Метод измерения вихревых токов

Если через катушку пропустить переменный ток, то в расположенном под ней токопроводящем металле возникают вихревые токи, которые посредством индукции оказывают воздействие на первичный ток катушки. Это изменение первичного тока зависит от электрических и магнитных свойств, а также геометрии и, следовательно, толщины металлического слоя. На рисунке 10 представлена схема измерения толщины вихретоковым методом.

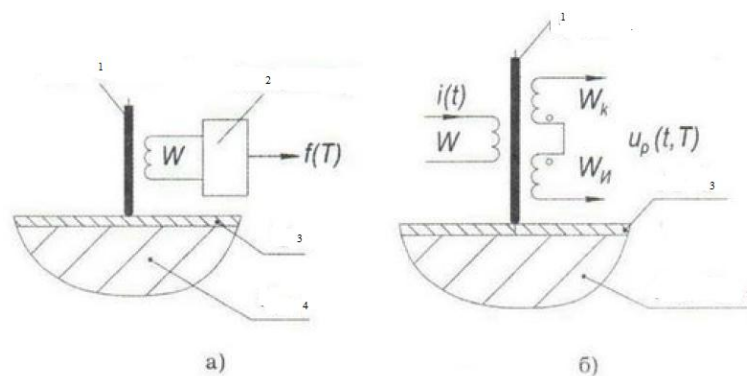


Рис. 10 Схема измерения толщины покрытия методом вихревых токов - а) с частотным генератором; б) с фазовым и амплитудно- фазовым преобразователем:

1- ферритовый сердечник; 2- автогенератор; 3- материал покрытия; 4- основной материал.

Этот метод универсален и применим для самых различных комбинаций материалов, поскольку электропроводности при соответствующих составах материала покрытия и основного материала или магнитные проницаемости в случае ферромагнитных материалов достаточно различны. Точность измерения этим методом тем больше, чем больше это различие.

Метод измерения, основанный на измерении вихревых токов, чаще всего применяют для следующих комбинаций материалов:

— токонепроводящее покрытие (эпоксаль, лак, пластмасса) на электропроводном неферромагнитном основном материале (Al, Си, Zn и их сплавы). Диапазон измеряемой величины составляет от 0 до 500 мкм;

— электропроводный неферромагнитный слой (Al, Си, Zn и их сплавы) на токонепроводящем основном материале. При таких комбинациях материалов глубина проникновения вихревых токов должна быть больше, чем у измеряемого электропроводного покрытия. При этом можно измерять толщины от менее 1 мкм до нескольких мм;

— электропроводное неферромагнитное покрытие на электропроводном основном материале (например, медь на цинке, золото на латуни и т. п.). Основными условиями при этом являются: глубина проникновения вихревых токов должна быть больше толщины покрытия, а электропроводности материала

покрытия и основного материала должны быть достаточно различны (примерно в три раза).

Погрешность измерений этим методом, имеющим различные варианты, составляет в среднем от +3 до ± 5 %. Он позволяет осуществлять только дискретные измерения.

Достоинства вихретокового метода:

- исключительно малое влияние шероховатости изделия на результаты измерения;
- возможность создания преобразователей с эквивалентным диаметром зоны контроля $\sim 1,5$ мм (рабочая частота $f(t) = 1,2 \dots 3$ МГц), что позволяет проводить измерения толщины покрытий (например, цинковых) на малоразмерных деталях (винты, гайки и т.д.) без специальных приспособлений;
- обеспечение отстройки от влияния зазора (например, диэлектрических покрытий);
- возможность проведения измерений на изделиях с переменной и высокой намагниченностью;
- возможность измерения ряда электропроводящих ферромагнитных покрытий на электропроводящих ферромагнитных основаниях.

Недостатки вихретокового метода:

- зависимость результатов измерений от электропроводности покрытия, что обуславливает необходимость снятия на этапе изготовления прибора и хранения нескольких градуировочных характеристик в памяти прибора или преобразователя.

Представителем данного метода является Elcometer 355 Standart(рис.11).



Рис. 11 Вихретоковый толщиномер Elcometer 355

Точность измерений, простота в использовании, универсальность и гибкость ключевые понятия, характеризующие прибор Elcometer 355, который представляет собой современную портативную измерительную систему, оснащенную функциями позволяющими экономить время и снижать себестоимость.

Большая память устройства позволяет хранить до 5000 показаний с возможностью вывода данных на ПК, регистратор данных или принтер. Полный ассортимент модулей датчиков обеспечивает подбор нужного типа для конкретной области применения. Все модули поставляются с поверочной фольгой.

- Диапазон измерения: в зависимости от применяемого датчика: от 0 до 25000мкм (по магнитному основанию), от 0 до 5000 мкм (по немагнитному основанию)
 - Точность измерений $\pm 1\%$
 - Вывод на принтер/ПК через последовательный RS232 и параллельный порты
 - Прибор имеет износостойкий алюминиевый корпус
 - Информация о дате и времени
 - Прибор соответствует стандартным методам измерения толщины покрытий: BS, ISO DIN, ASTM и SSPC

- В комплект устройства входит ПО
- Память на 5000 показаний в виде 25 предварительно настроенных файлов

Цена: 87936 р.

2.4 Ультразвуковой метод

Отраженное эхо ультразвукового импульса используется для измерения толщины покрытий на неметаллических поверхностях (пластик, дерево и т.д.) без повреждения покрытия. Зонд инструмента имеет ультразвуковой датчик, который посылает импульс через покрытие. Импульс отражается от поверхности и преобразуется датчиком в высокочастотный электрический сигнал. Эхо сигнала оцифровывается и анализируется для определения толщины покрытия. В некоторых случаях могут быть измерены отдельные слои многослойной системы покрытия.

Типичная погрешность составляет 3%. Точные ультразвуковые толщинометры (ультразвуковые дефектоскопы) работают в частоте от 500 КГц до 40 МГц и оснащены пьезоэлектрическими датчиками, которые при получении электрического импульса генерируют импульс звуковой энергии. Для промышленного использования разработано большое количество разнообразных датчиков с различными акустическими характеристиками. Обычно низкочастотные датчики используются для улучшения проникающей способности в толстых слоях, а так же материалах с высоким коэффициентом рассеивания и затухания. Тогда как высокие частоты рекомендованы для оптимизации разрешения в тонких материалах с низкими показателями рассеивания и затухания ультразвуковой волны.

Ультразвуковые толщинометры (ультразвуковые дефектоскопы), основанные на принципе “импульс- эхо”, определяют толщину изделия или структуры исходя из точного измерения времени, требующегося генерируемому в датчике импульсу, на прохождение через тестовый материал, отражение от внутренней поверхности и возвращение опять в датчик. В большинстве случаев

этот отрезок составляет несколько микросекунд или меньше. Полученный временной интервал делится пополам для определения времени прохождения сигнала в одном направлении, а затем умножается на скорость звука в материале. Обобщенная структурная схема современного ультразвукового толщиномера (дефектоскопа) с микропроцессорным управлением. Генератор, контролируемый микропроцессором, производит однонаправленный широкополосный импульс напряжения, который передается в смоченный широкополосный ультразвуковой датчик(датчик для ультразвукового дефектоскопа). Генерируемый датчиком импульс передается в тестовый образец, обычно через слой контактной жидкости. Эхо сигналы, возвращающиеся от задней и передней поверхности тестового образца, принимаются датчиком, и конвертируется в электрический сигнал, который усилятся амплифером с автоматическим контролем коэффициента усиления (AGC). Логические схемы одновременно синхронизируют генератор и выбирают соответствующий эхосигнал для измерения временного интервала.

Представителем данного метода является ультразвуковой толщиномер DM5E(рис. 12).



Рис. 12 Ультразвуковой толщиномер DM5E

Технические характеристики толщиномера DM5E:

Диапазон измерений: зависит от преобразователя и материала, 0.60 мм - 508 мм от зондирующего импульса до 1го донного эхо-сигнала; 2.00 мм - 127.0 мм в режиме Dual-Multi, при толщинах покрытия от 0,30 мм до 2,50 мм Разре-

шение измерений: 0.01 мм по умолчанию, выборочный 0.01, 0.1 мм Скорость звука: 0.508 - 18.699 мм/мс

Разрешение скорости в материале: 1м/с

Единицы измерения: дюймы, мм

Калибровка: по одной точке, по двум точкам, на образце и в воздухе

Генератор импульсов:

импульс возбуждения: остроконечный, напряжение 120В с нагрузкой 50 Ом, при использовании осциллографа 20 МГц

Приемник: ширина полосы прозвучивания 500кГц - 12МГц (-3дБ), автоматическая регулировка усиления

Дисплей: ЖК-индикатор высокого разрешения, 64x128 пикс. 53.0 мм x 27.0 мм с подсветкой и настройкой контрастности

Частота обновления: 4Гц или 8 Гц, выбираемая пользователем, 24Гц скорость в режиме сканирования Индикация значений толщины: NORMAL (нормальный режим) - 5 цифр, высота 10.6 мм, В-SCAN (В-развертка) - 5 цифр, высота 2.55 мм Индикация последнего результата: жирные или полые цифры означают, соответственно, наличие или отсутствие акустического контакта Питание: 2 батареи типа АА.

Цена: Ультразвуковой толщиномер DM5E Basic (базовая модель) от 2 471 евро, ультразвуковой толщиномер DM5E от 3124 евро, толщиномер DM5E DL от 3 877 евро.

3 Выбор метода измерения

На основе выше описанных методов и средств измерения, был выбран вихретоковый метод контроля толщины лакокрасочного покрытия.

Критерием выбора этого метода является удовлетворение техническому заданию. На сегодняшний день метод вихревых токов является одним из самых достоверных методов контроля, технической диагностики, толщинометрии, дефектоскопии.

Принцип действия метода заключается во взаимодействии внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых возбуждающей катушкой в электропроводящем объекте контроля этим полем.

Встроенная в вихретоковый преобразователь индуктивная катушка чаще всего используется в качестве источника электромагнитного поля. Действующий в катушке вихретокового преобразователя ток создает электромагнитное поле, которое возбуждает вихревые токи в исследуемом металлическом объекте. Электромагнитное поле воздействует на катушку преобразователя и наводит в ней ЭДС. Сигнал с вихретокового датчика (преобразователя) поступает в электронный блок вихретокового прибора, и полученные данные преобразуются в значения толщины покрытия.

Особенностями и преимуществами данного метода являются:

- возможность проверки большого числа параметров изделия;
- проверка слоев материала небольшой толщины;
- бесконтактный контроль (не требуется электрического и даже механического контакта датчика с изделием), возможность контроля быстро движущихся деталей;
- высокая чувствительность к микроскопическим дефектам, расположенным непосредственно на поверхности либо близко к поверхности контролируемого металлического объекта (подповерхностные дефекты);
- высокая скорость контроля;

- возможность контроля объектов со сложной геометрией, мест трудного доступа;
- вихретоковый метод не представляет опасности здоровью оператора.

4 Выбор и обоснование структурной схемы

На рисунке 13 представлена структурная схема измерителя толщины лакокрасочных покрытий, использующего амплитудный способ выделения информации.

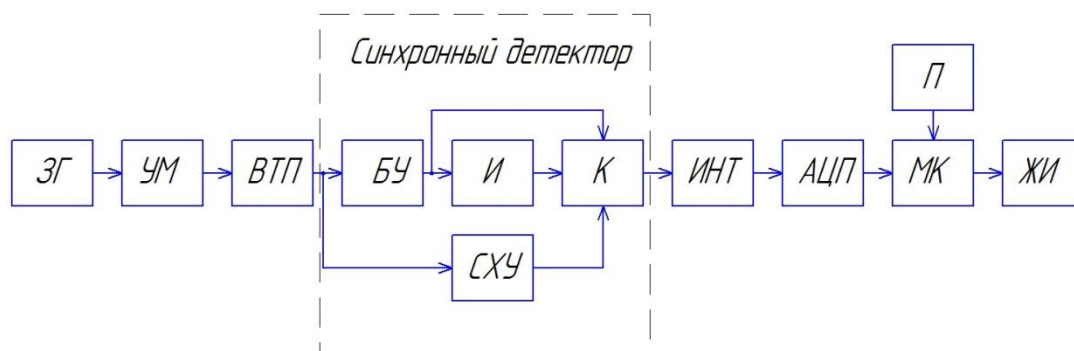


Рис. 13- Структурная схема.

Задающий генератор (ЗГ) синусоидальных напряжений и усилитель мощности (УМ) обеспечивают необходимый ток возбуждения вихревого преобразователя (ВТП). Сигналы с ВТП поступают на вход синхронного детектора, предназначенного для выделения мнимой Im и действительной Re составляющих вносимого напряжения U , которые в свою очередь интегрируются электронным интегратором (ИНТ). Сигналы поступающие с интегратора преобразуются в цифровую форму при помощи аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и поступают на микроконтроллер (МК). Микроконтроллер (МК) должен управлять элементами измерительного прибора, а также согласовывать их работу, затем цифровой сигнал подается на жидкокристаллический индикатор (ЖИ).

Синхронный детектор реализуется по классической схеме с аналоговым ключом и состоит из буферного усилителя (БУ), инвертора (И), схемы управления ключом (СХУ) и самим ключом (К).

Далее реализуем элементы структурной схемы по отдельности.

Структурная схема приведена в приложении А.

5 Разработка и расчёт принципиальной схемы

Для дальнейшей реализации проектирования измерительного устройства необходимо разработать принципиальную схему, путём выбора подходящих под наши задачи элементов. Элементы принципиальной схемы выбираются исходя из требований технического задания, предъявляемых к системе контроля толщины покрытий, а так же из экономических и практических соображений.

5.1 Расчет первичного преобразователя

Первичный преобразователь состоит трех обмоток, каркас которых изготовлен из пластика. Обмотка возбуждения w_1 , измерительная обмотка w_2 и дополнительная компенсирующая обмотка w_3 (рис. 14).

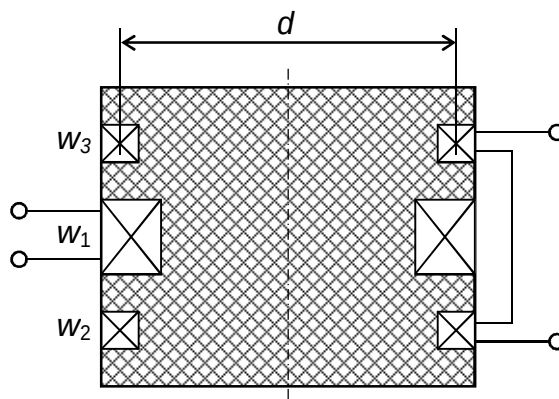


Рис. 14 Конструкция первичного преобразователя

Дополнительная компенсирующая обмотка w_3 идентична измерительной обмотке w_2 , они расположены симметрично относительно обмотки возбуждения w_1 . Рассчитаем число витков обмотки возбуждения и измерительной обмотки:

По техническому заданию диаметр зоны контроля ≤ 15 мм, следовательно диаметр обмотки примем в пределах 30...35 мм.

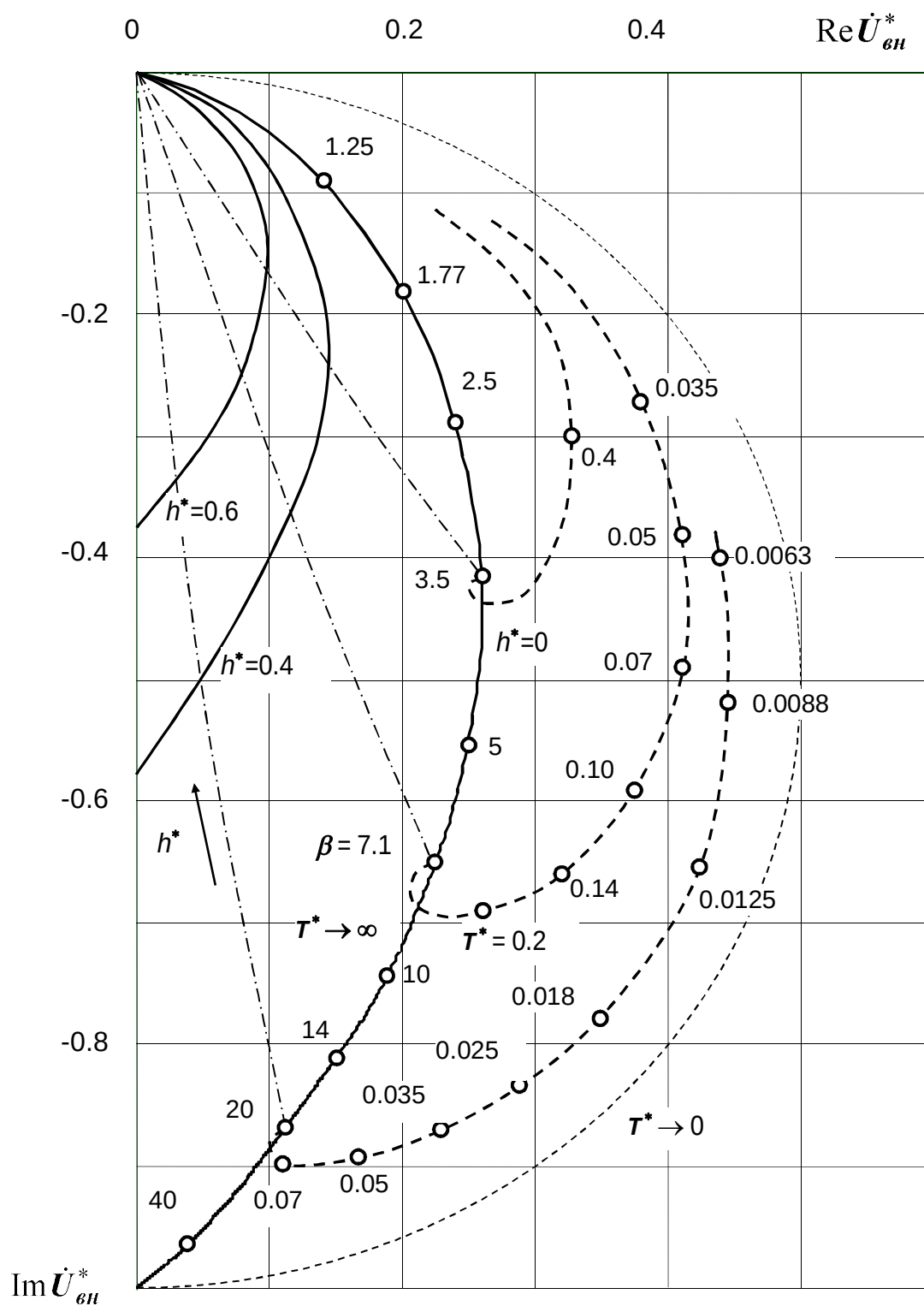


Рис. 15 Годографы относительного вносимого напряжения вихретокового преобразователя с немагнитной электропроводящей пластиной:

$$h^* = h/R; T^* = T/R; \beta = R\sqrt{\omega\sigma\mu_0}.$$

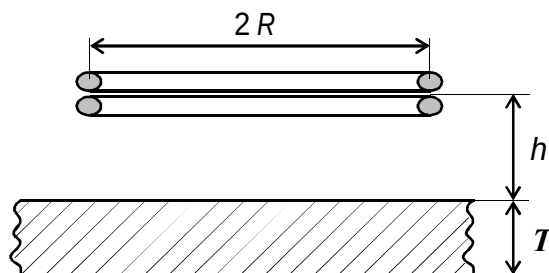


Рис. 16 Первичный преобразователь над объектом исследования

Рассмотрим годографы относительного вносимого напряжения вихревого преобразователя (рис. 15).

Поскольку по техническому заданию измеряемая толщина покрытий до 5мм., примем $h=5\text{мм}$,

$$h^* = \frac{h}{R}, \quad [1]$$

$$h^* = \frac{5}{17}.$$

По годографу определяем мнимую и действительную комплексные составляющие относительного вносимого напряжения .

Получаем $\text{Re } U_{\text{вн}}^* = 0,2 \text{ В}$

$\text{Im } U_{\text{вн}}^* = -0,7 \text{ В};$

Рассчитаем амплитуду относительного вносимого напряжения по формуле:

$$U_m^* = \sqrt{{U_{\text{вн}}^*}^2 + {U_{\text{вн}}^*}^2}, \quad [2]$$

$$U_m^* = \sqrt{0,2^2 + (-0,7)^2} = 1 \text{ В}.$$

Следовательно, на выходе измерительной обмотки напряжение = 1 В.

Для расчета параметров измерительной обмотки W_2 используем закон Фарадея. Так как обмотка состоит из нескольких витков, тогда закон Фарадея можно записать в следующем виде:

$$e(t) = \left| \frac{d\psi}{dt} \right|, \quad [3]$$

Где ψ – полный магнитный поток, равен

$$\psi = W_2 \Phi \quad [4]$$

Где W_2 - количество витков измерительной обмотки,

Φ -магнитный поток, равен

$$\Phi = BS \sin \alpha. \quad [5]$$

Проинтегрировав выражение [3] получим следующее

$$e(t) = W_2 S \sin \alpha \frac{dB}{dt}.$$

Связь магнитной индукции B с напряженностью магнитного поля

$$B = \mu \mu_0 H,$$

тогда

$$e(t) = W_2 \mu_0 S \sin \alpha \frac{dH}{dt}.$$

Так как угол α , α , то

$$e(t) = W_2 \mu_0 S \frac{d(H_m \sin \omega t)}{dt},$$

$$E_m = W_2 \mu_0 S H_m \omega,$$

$$W_2 = \frac{E_m}{\mu_0 S H_m \omega}. \quad [6]$$

Где согласно выражению [2] $E=1B$;

μ_0 -магнитная постоянная, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

S – площадь контура, при $R=17$ мм. равна

$$S = \pi R^2 = 3.6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

R – радиус измерительной обмотки, $R=17$ мм;

H –напряженность магнитного поля, примем порядка 500 А/м ,

W_2 – количество витков измерительной обмотки;

ω - круговая частота, равна

$$\omega = 2\pi f$$

f – частота, поскольку глубина проникновения волны должна превышать h , возьмем $f = 10$ кГц., т.к. такая частота позволяет проводить измерение покрытий превышающих 5 мм.

$$W_2 = \frac{E_m}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3.6 \cdot 10^{-6} \cdot 500 \cdot 2\pi \cdot 10^4} = 1.1 \cdot 10^6 \text{ Витков}$$

Для реализации измерительной обмотки W_2 и компенсирующей обмотки W_3 воспользуемся проводом с изоляцией на основе эмальлаков ПЭТ-155 с диаметром $d=0,1$ мм., т.к. при таком диаметре достаточно просто мотать.

Рассчитаем параметры обмотки возбуждения W_1 .

Напряженность магнитного поля на оси кругового тока, создаваемого элементом проводника Idl , равна

$$|d\vec{B}| = \frac{\mu_0}{4\pi} * \frac{Idl}{r^2},$$

Поскольку в данном случае

$$d\vec{l} \perp \vec{r}.$$

При интегрировании по витку вектор $d\vec{B}$ будет описывать конус, так что в результате останется только компонента поля вдоль оси Oz . Поэтому достаточно просуммировать величину

$$dB_z = |d\vec{B}| \cos \alpha = |d\vec{B}| \frac{R}{\sqrt{R^2+h^2}} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} * \frac{R}{(R^2+h^2)^{\frac{3}{2}}} * dl. \quad [7]$$

Интегрирование

$$B = \oint dB_z,$$

Выполняется с учетом того, что подынтегральная функция не зависит от переменной I , а

$$\oint dl = \pi.$$

Соответственно, полная магнитная индукция на оси витка равна

$$B = \frac{\mu_0 I}{2} * \frac{R^2}{(R^2+h^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{\mu_0 I}{2R} * \frac{1}{(1+\frac{h^2}{R^2})^{\frac{3}{2}}}, \quad [8]$$

Т.к. в катушке содержится W_1 витков, то суммарная магнитная индукция на оси обмотки равна

$$B = \frac{\mu_0 I W_1}{2R} * \frac{1}{(1+\frac{h^2}{R^2})^{\frac{3}{2}}}. \quad [9]$$

Связь магнитной индукции B с напряженностью магнитного поля

$$B = \mu \mu_0 H, \quad [10]$$

Где μ - магнитная проницаемость изотропной среды,

μ_0 -магнитная постоянная. Магнитная проницаемость воздуха μ , тогда магнитная индукция

$$B = \mu_0 H.$$

Подставив выражение [9] получим формулу:

$$H = \frac{IW_1}{2R} * \frac{1}{(1 + \frac{h^2}{R^2})^{\frac{3}{2}}}, \quad [11]$$

Из выражения [11] следует

$$W_1 = \frac{2R * H * (1 + \frac{h^2}{R^2})^{\frac{3}{2}}}{I}. \quad [12]$$

Где H – напряженность магнитного поля, примем порядка 1500 А/м ,

I – ток протекающий в обмотке возбуждения W_1 , примем $=100 \text{ мА}$;

W_1 – количество витков обмотки возбуждения;

R – радиус обмотки возбуждения, $R=17 \text{ мм}$;

h – зазор между обмоткой возбуждения и объектом контроля. $h=5 \text{ мм}$.

Подставив значения в выражение [12] рассчитаем количество витков обмотки возбуждения W_1

$$W_1 = \frac{2 * 17 * 10^{-3} * 1500 * \left(1 + \frac{(5 * 10^{-3})^2}{(17 * 10^{-3})^2}\right)^{\frac{3}{2}}}{100 * 10^{-3}} \quad \text{Витков.}$$

Для реализации обмотки возбуждения W_1 воспользуемся так же проводом с изоляцией на основе эмальлаков ПЭТ-155 с диаметром $d=0,2 \text{ мм.}$, заведомо достаточным для пропускания тока $I=200 \text{ мА}$.

Рассчитаем сопротивление обмотки возбуждения W_1 .

Сопротивление проводника R_{W_1} определяется его удельным сопротивлением ρ , длиной l и площадью поперечного сечения S .

$$R_{W_1} = \rho \frac{l}{S}, \quad [13]$$

Где $\rho_{\text{мед}} = 0,0175 * 10^{-6} \text{ Ом*м}$,

$$l = \pi R * W_1, \quad [14]$$

Где R – радиус обмотки

$$l = 2 * \pi * R^2 * W_1 = 64 \text{ м.} \quad [15]$$

Где r - радиус проволоки, $r=0,1 \cdot 10^{-3}$ м.

$$S \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-6} \text{ м}^2,$$

Полученные значения подставим в выражение [13]

$$R_{W_1} \cdot 10^{-6} \cdot \frac{64}{31,4 \cdot 10^{-6}} \text{ Ом.}$$

5.2 Выбор задающего генератора

Микросхема MAX038 (рис. 17) - это прецизионный высокочастотный функциональный генератор с минимальным числом внешних компонентов, который вырабатывает колебания правильной синусоидальной, прямоугольной, треугольной, пилообразной и импульсной формы.

Отличительные особенности:

- рабочий диапазон частот от 0,1 Гц до 20 МГц;
- форма сигнала: треугольный, пилообразный, синусоидальный, прямоугольный и импульсный;
- корректировка независимой частоты и скважности импульса;
- низкоомный выходной буфер;
- напряжение питания -5 +5 В.

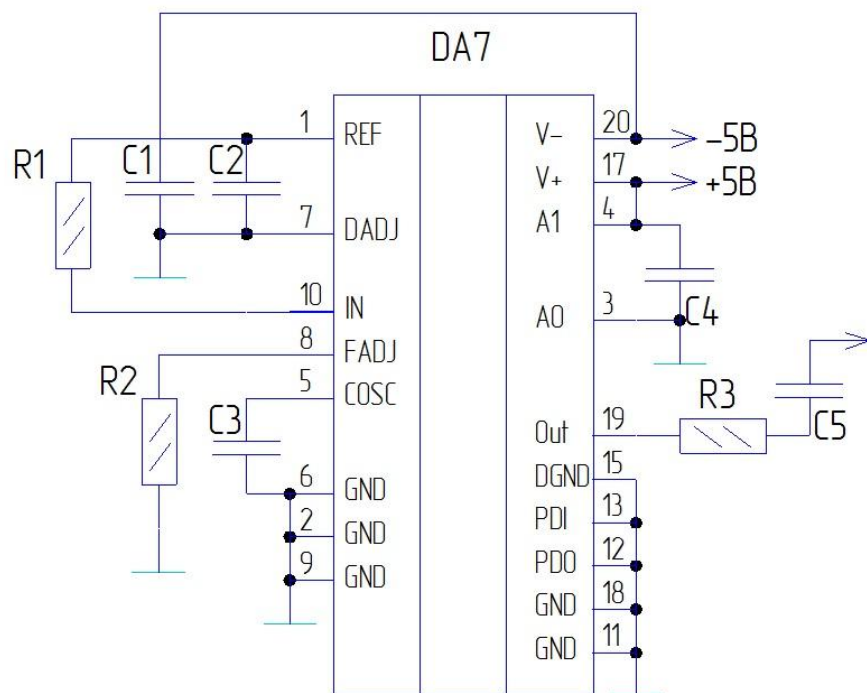


Рис. 17 Задающий генератор MAX038

$R1=20 \text{ кОм}$, $R3=50 \text{ Ом}$, $C1=1 \text{ мкФ}$, $C2=1 \text{ нФ}$, $C4=1 \text{ мкФ}$, $C5=600\text{пФ}$. Рассчитаем вреязадающую цепь RC.

Формула для расчета частоты:

$$F = \frac{2 \cdot 2,5B}{R2 \cdot C3}, \quad [16]$$

При частоте $F=1 \text{ кГц}$, $R2=12\text{кОм}$, рассчитаем $C3$.

$$C = \frac{2 \cdot 2,5}{12 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^3}.$$

$C3=0,4 \text{ мкФ}$. Ближайший конденсатор в ряде керамических многослойных конденсаторов К10-17Б = 0,39 мкФ. $C3=0,39 \text{ мкФ}$

5.3 Расчет усилителя мощности

Рассчитаем усилитель мощности при токе обмотки возбуждения $I=100\text{мА}$, для этого воспользуемся микросхемой ОРА547 (рис. 18).

Технические параметры:

- Входное напряжение смещения: 1 мВ;
- Напряжение двустороннего питания: $\pm 4 \dots \pm 30 \text{ В}$;
- Напряжение одностороннего питания: 8 ...60 В;
- Рабочая температура, мин.: $-40 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Рабочая температура, макс.: $+125 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Сила тока на выходе: 500 мА;
- Усиление разомкнутого контура: 600 В/мВ;
- Ширина полосы пропускания: 1 МГц;
- Шумы напряжения: 90 нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$;
- Рабочая температура: $-40 \dots +125 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Ток питания: 10 мА.

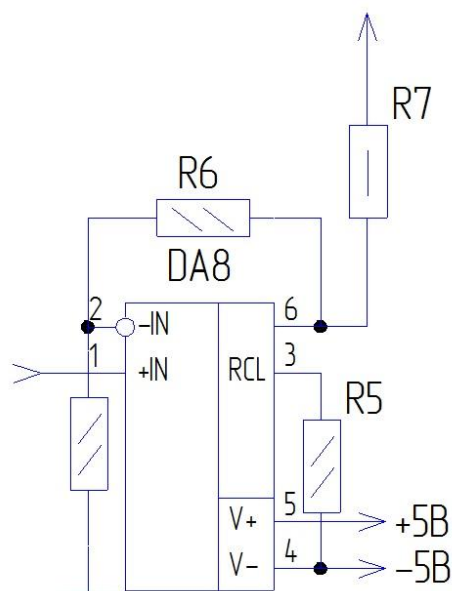


Рис. 18 Усилитель мощности ОРА547

Так как нет потребности в коэффициенте усиления (K_u) примем его равный 2. Формула для расчета K_u :

$$K_u = \frac{R_6}{R_4}, \quad [17]$$

Отсюда $\frac{R_6}{R_4}$, возьмем $R_6=2 \text{ кОм}$, $R_4=2 \text{ кОм}$. Сопротивление R_5 обеспечивает необходимый ток нагрузки, для расчета воспользуемся формулой:

$$R_5 = \frac{(5000) \cdot (4,75)}{I}, \quad [18]$$

Где I – ток нагрузки $I=100 \text{ мА}$,

$$R_5 = \frac{5000 \cdot (4,75)}{100 \cdot 10^{-3}} \text{ кОм.}$$

Рассчитаем R_7 , установленное для согласования сопротивления нагрузки.

$$R_7 + R_{W_1} = \frac{U_{\pi}}{I}, \quad [19]$$

Отсюда

$$R_7 = \frac{U_{\pi}}{I} - R_{W_1}, \quad [20]$$

Где U_{π} - напряжение питания, $U_{\pi} = 5 \text{ В}$

I – ток обмотки возбуждения, $I=100 \text{ мА}$,

R_{W_1} - сопротивление проводника, $R_{W_1} = 0,1 \text{ Ом}$

Подставив значения в выражение [20] получим следующее

$$R_7 \quad \frac{\quad}{* \quad -3} \quad \text{Ом}$$

5.4 Расчет ключевого синхронного детектора

Рассмотрим принцип действия ключевого синхронного детектора.

Устройство имеет дифференциальный вход. На вход электронного переключателя подаются два одинаковых детектируемых сигнала в противофазе. Можно считать быстродействующий электронный переключатель идеальным, тогда переключение мгновенное и сопротивление в замкнутом состоянии равно нулю. Работой данного переключателя управляет сигнал, обычно называемый опорным. Пусть опорный сигнал управляет работой переключателя так, что его подвижный контакт соединяется с входом, на котором в этот момент имеется положительное напряжение.

Такое возможно когда детектируемый сигнал синхронизирован с опорным, тогда данный детектор и называется синхронным.

Для определённости следует ввести понятие угла фазового сдвига φ между опорным и детектируемым сигналом, в нашем случае угол $= 0$. На выходе ключа получим сигнал, который по форме совпадает с двухполупериодно выпрямленным сигналом. Далее он проходит через интегрирующую RC-цепочку, сглаживающую пульсации выпрямленного напряжения. На выходе цепочки напряжение будет равно

$$\frac{2}{\pi} * U_c \quad f . \quad [21]$$

Если помимо данного синхронного детектора, выдающего на выходе сигнал (выражение 21) , использовать ещё один такой же детектор, фаза опорного сигнала которого дополнительно смещена на 90° , то на выходе этого дополнительного детектора сигнал будет равен

$$\frac{2}{\pi} * U_c \quad f . \quad [22]$$

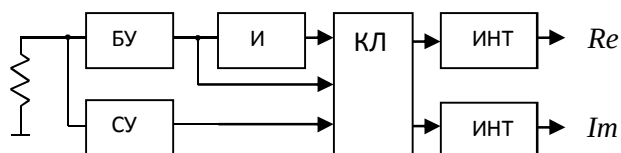


Рис. 19 Структурная схема ключевого синхронного детектора

Реализуем представленную структурную схему ключевого синхронного детектора.

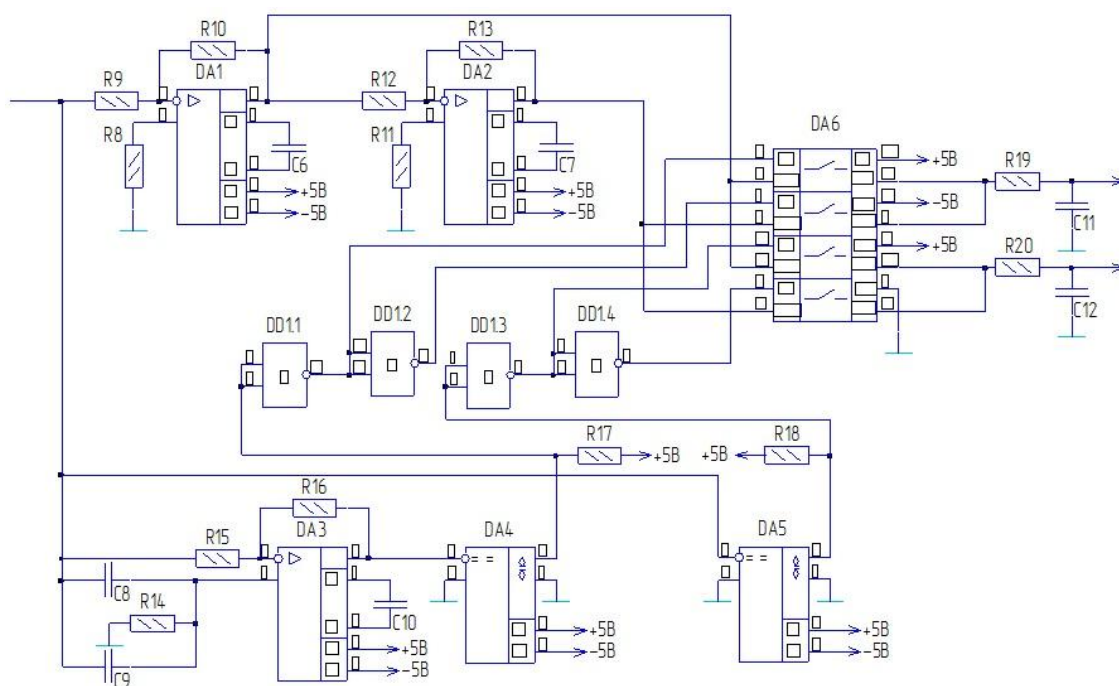


Рис. 20 Ключевой синхронный детектор

5.4.1 Расчет буферного усилителя и инвертора

В качестве буферного усилителя используется микросхема LM308 (Рис. 21).

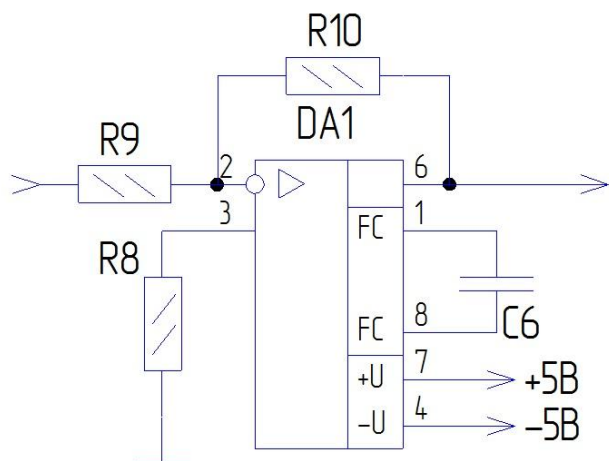


Рис. 21 Буферный усилитель LM308

На выходе измерительной обмотки напряжение равно 1В и напряжение питания 5В, чтобы не превысить выходное напряжение необходим коэффициент усиления (K_u) не более 3. Примем $K_u=3$. Коэффициент усиления (K_u) определяется резисторами и следующим отношением:

$$K_u = -\frac{R_{10}}{R_9},$$

Отсюда, возьмем $R_9=13\text{ кОм}$, $R_{10}=39\text{ кОм}$, R_8 – обеспечивает входное сопротивление усилителя, примем его равным 13 кОм , $C_6=0,1\text{ мкФ}$.

В качестве инвертора также используется микросхема LM308 (Рис. 22)

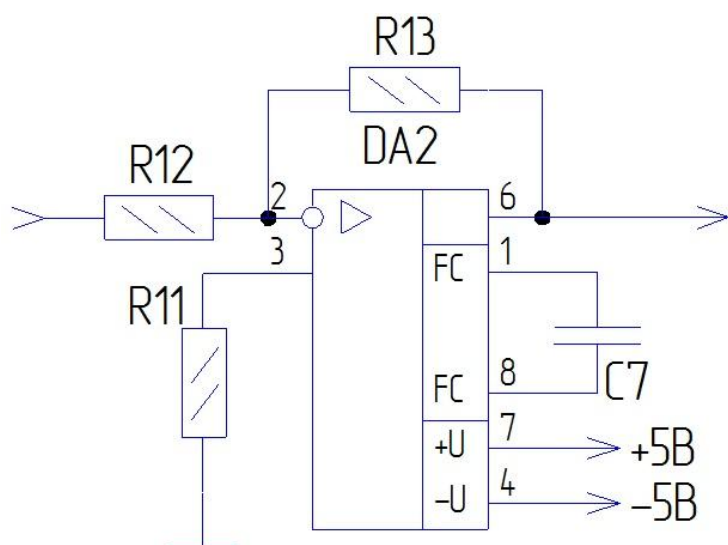


Рис. 22 инвертор LM308

Необходимый коэффициент усиления $K_u = -1$, воспользуемся формулой [9], получим $R_{12} = R_{13}$, примем равным 13 кОм. R_{11} – обеспечивает входное сопротивление усилителя, примем равным 13 кОм, $C_7 = 0,1$ мкФ.

Главным критерием выбора ключа является быстродействие, а так же способность к пропусканию аналоговых сигналов. Был выбран аналоговый ключ ADG431 (рис.23).

Технические параметры:

- Время переключения $t_{on} < 165$ нс. $t_{off} < 130$ нс.;

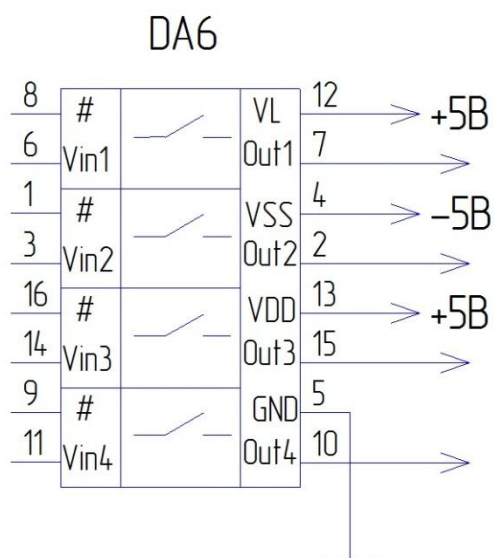


Рис. 23 ключ ADG431

5.4.2 Расчет схемы управления ключа

Для расчета схемы управления ключа (К) в синхронном детекторе необходимо применить схему фазовращателя, так как действительная (Re) и мнимая (Im) составляющая вносимого напряжения ($U_{вн}$) отличается по фазе на 90

Рассчитаем классическую схему фазовращателя на операционном усилителе, представленном на рисунке 24.

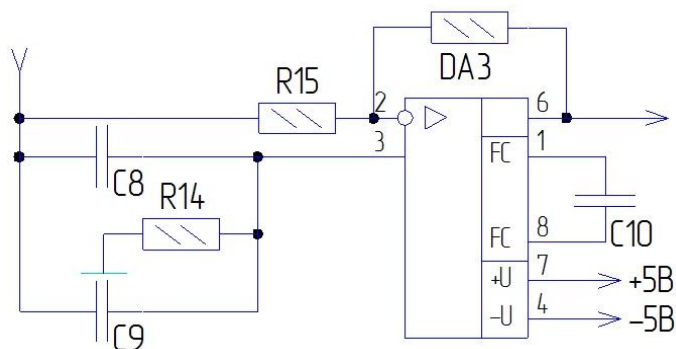


Рис. 24 фазовращатель LM308

Для выделения мнимой составляющей воспользуемся формулой и найдем С:

$$\varphi = -2 \arctg(\omega R C), \quad [23]$$

$$\frac{\varphi}{2} = -(\omega R C),$$

Отсюда

$$C = \frac{\tan \frac{\varphi}{2}}{\omega R14}. \quad [24]$$

Где $\omega = 2\pi f$, f – частота, f кГц,

R14 примем равным R14=24 кОм,

φ - равен 90°, $\frac{\varphi}{2} = 45^\circ$.

Подставив значения в выражение [24], получим следующее:

$$C = \frac{1}{6280 \cdot 24 \cdot 10^3} \cdot 1 = 6.6 \cdot 10^{-6} \text{ Ф.}$$

В схеме используем два параллельно включенных конденсатора C8=1000 мкФ и C9=5600 мкФ, в сумме они обеспечат необходимые 6600 мкФ.

R15 и R16 примем равные 13 кОм, C10=0,1 мкФ.

В качестве компаратора используется микросхема LM311(рис. 25). R17 и R18 обеспечивают преобразование уровня сигнала примем R17=R18=3 кОм.

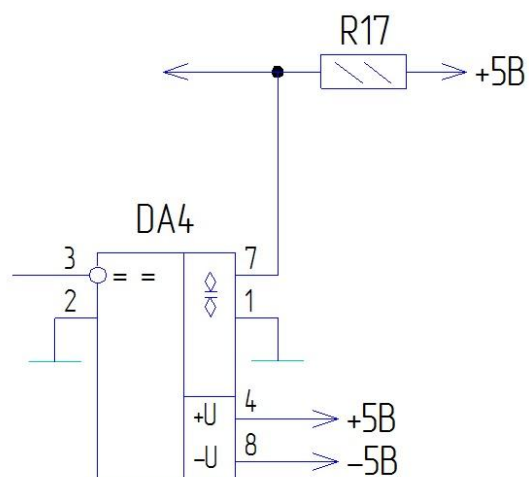


Рис. 25 компаратор LM311

В качестве инверторов воспользуемся микросхемой к561ла7 с 4 элементами «И-НЕ» в одном корпусе (рис. 26).

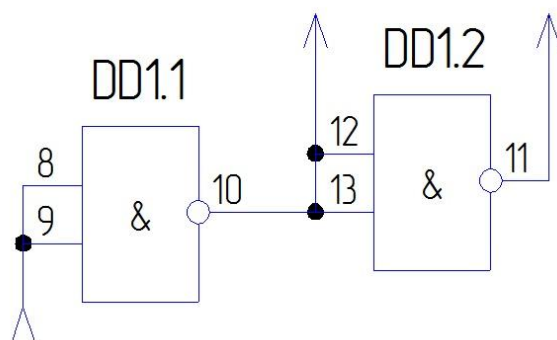


Рис. 26 инвертор к561ла7

Рассчитаем номиналы элементов интегрирующей RC-цепи, R19 и R20 обеспечивают время разряда конденсатора (рис. 27):

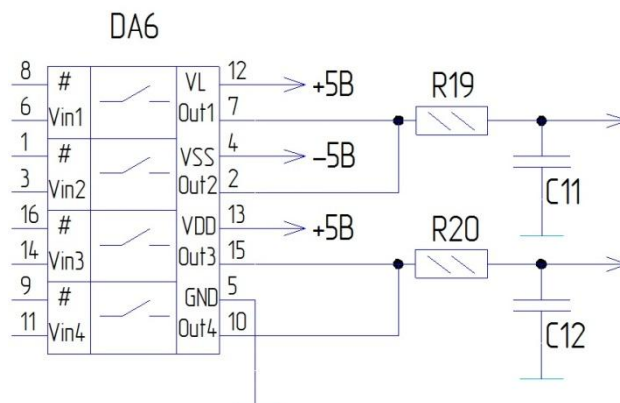


Рис. 27 ключ ADG431

Воспользуемся формулой для нахождения частоты

$$f = \frac{1}{\pi * R * C}, \quad [25]$$

Где f - частота на входе, f кГц,

Конденсаторы C возьмем $=0,1$ мкФ,

$$R = \frac{1}{\pi * f * C}, \quad [26]$$

$$R = \frac{1}{\pi * 2 * 10^3 * 10^{-6}},$$

$$R = 80 \text{ Ом.}$$

Посчитаем постоянную времени

$$t = R * C, \quad [27]$$

$$t = 80 * 10^{-6} * 10^{-5} \text{ с.}$$

Посчитаем период входного сигнала

$$T = \frac{1}{f}, \quad [28]$$

$$T = \frac{1}{2 * 10^3} * 10^{-4}.$$

Интегрирующая цепь будет хорошо работать только в том случае, если $t \gg T$. Поэтому резистор выбираем на один - два порядка больше чем требуется по расчету. Возьмем 50 кОм. Посчитаем постоянную времени используя выражение [24],

$$t = 50 * 10^3 * 10^{-6} * 10^{-3} \text{ с.}$$

Проверяем $t \gg T$, $5 * 10^{-3} \gg 5 * 10^{-4}$ условие выполняется. Конденсатор заряжается или разряжается на 99 % за время t , в нашем случае $5 * 10^{-3} * 10^{-3} \text{ с.}$ Достаточно быстро.

Следовательно $R_{19}=R_{20}=50 \text{ кОм.}$

5.5 Выбор АЦП

Одним из наиболее ответственных узлов, определяющих качество работы измерительной системы, является блок, осуществляющий преобразование информации из аналоговой формы представления в цифровую и реализуемый аналого-цифровым преобразователем .

Главные критерии выбора АЦП необходимая разрядность, время преобразования, наличие встроенного источника опорного питания, метод сопряжения, количество каналов и наличие устройств сопряжения с микроконтроллером. Ко всем вышеперечисленным характеристикам подходит 10-битный АЦП типа AD7811(рис.28).

Показатели АЦП AD7811:

- время преобразования: 2,3 μ с макс.
- разрядность: 10 разрядов
- метод преобразования: метод последовательного приближения
- наличие опорного источника питания: $2,5V \pm 2,5\%$
- наличие устройств сопряжения с микроконтроллером: последовательный интерфейс с микроконтроллерами и DSP
- количество каналов: 4
- нелинейность: ± 1 мл. разряд макс.

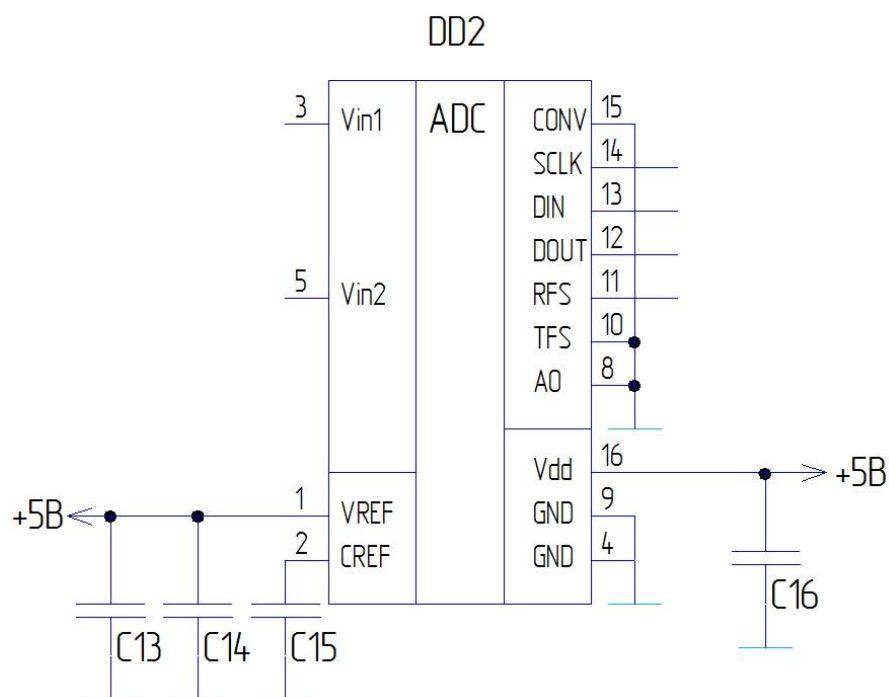


Рис. 28 АЦП AD7811

5.6 Выбор микроконтроллера

При выборе микроконтроллера главными критериями выбора являлись низкое токопотребление, встроенный драйвер жидкокристаллической индикации, ядро 51 семейства. Исходя из этих требований был выбран микроконтроллер фирмы Silicon Labs C8051F967(рис. 29). Преимуществом использования этого микроконтроллера является отсутствие необходимости включения дополнительных микросхем для увеличения срока службы ЖК индикаторов.

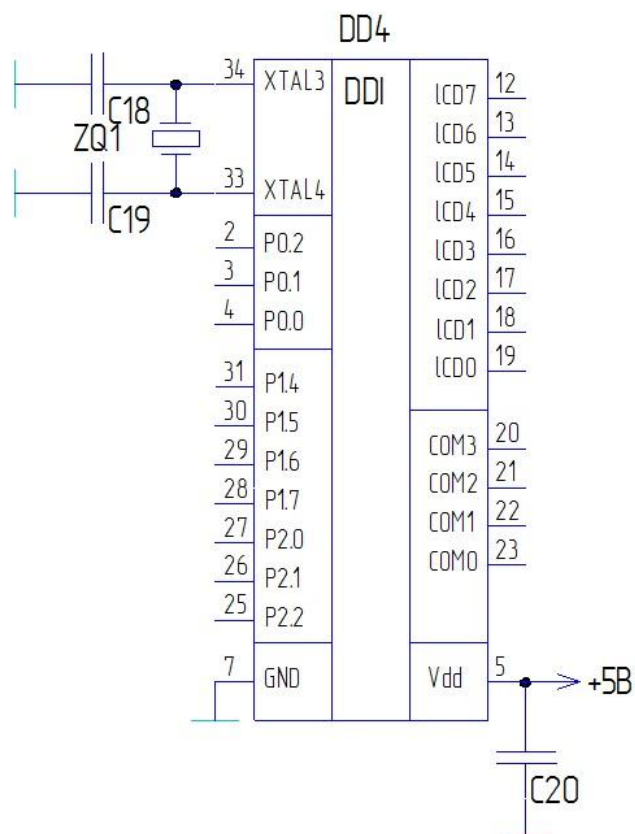


Рис. 29 Микроконтроллер C8051F967

Параметры C8051F967:

- Ядро – 8051
- Рабочее напряжение питания – от 2.5 В до 3.3 В
- Серия процессора - C8051
- Ширина шины данных - 8 bit
- Максимальная тактовая частота - 25 MHz
- Размер программной памяти - 32 KB
- Размер ОЗУ данных - 8448 B
- Количество программируемых входов/выходов – 34
- Диапазон рабочих температур - от 40 C до + 85 C

5.7 Схема индикации

Отображение результатов измерений будет осуществляться при помощи жидкокристаллических 7-сегментных индикаторов. Главным критерием этого выбора является низкая потребляемая мощность ЖКИ, что как нельзя лучше подходит для питания от аккумуляторной батареи.

Для отображения результатов измерений были выбраны четыре 7-сегментных жидкокристаллических индикатора производства Intech ITS-E0004. Данные индикаторы имеют отдельную подложку для каждого разряда, что позволяет обеспечить динамическую индикацию (рис. 30).

ITS-E0004

PIN NO	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10
SEG	COM	E	D	C	DP
PIN NO	11-12	13-14	15-16	17-18	19-20
SEG	G	B	A	F	COM

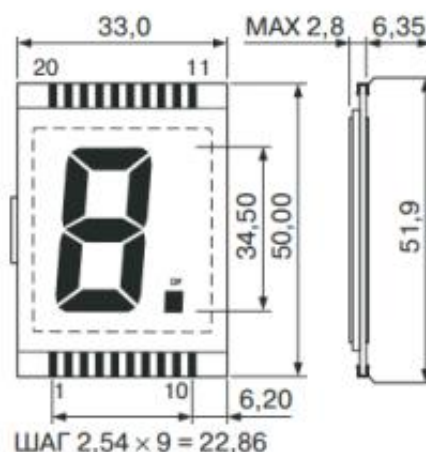


Рис. 30 Жидкокристаллический индикатор ITS-E0004

5.8 Выбор внешней памяти данных

В данной схеме возникла необходимость в использовании дополнительной памяти данных которая будет применяться для настройки поправочных коэффициентов, обучения прибора и для служебной информации. Воспользуемся микросхемой M24C64, производитель STMicroelectronics. (рис.31)

Параметры M24C64:

1. Память массива - 64 Кбит (8 Кбайт);
2. Рабочее напряжение питания - 1.8 V до 5.5 V;
3. Диапазон рабочих температур - -40 °C до 125 °C

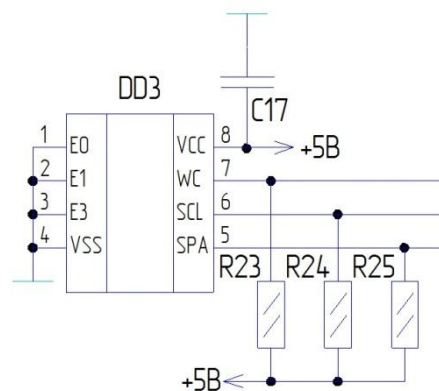


Рис. 31 Память M24C64

5.9 Выбор кнопок управления

Управление прибором будет осуществляться при помощи пленочной клавиатуры. Пленочные клавиатуры широко используются в электронных, медицинских и измерительных приборах, придавая им привлекательный внешний вид и удобный интерфейс.

Пленочные клавиатуры изготавливают на самоклеящейся основе, с нанесением изображения с обратной стороны для защиты от внешних воздействий на наружном слое и токопроводящей схемой (разводкой) с выведенным шлейфом контактов для коммуникации с прибором на внутреннем. Изготовленные таким образом пленочные клавиатуры обладают долговечностью и предоставляют широкую свободу в выборе дизайна, и формы изделия. Различные варианты исполнения кнопок обеспечивают пленочным клавиатурам высокую функциональность и читаемость отображаемой информации. Пример пленочных клавиатур изображен на рис. 32.



Рис. 32 Пленочная клавиатура

5.10 Выбор источника питания

При выборе источника питания основными требованиями являлось:

1. Обеспечение требуемой мощности источника питания;
2. Использование аккумуляторной батареи, т.к. прибор является портативным;
3. Обеспечение требуемым, схемой управления, зарядом аккумулятора для правильной и долговременной его службы.

5.10.1 Расчет контроллера заряда аккумулятора

Задачей контроллера является поддержание напряжения на аккумуляторной батарее в пределах 4,3 - 2,4 вольт для ее защиты от перезаряда и переразряда. Используем микросхему LTS4054 (рис. 33).

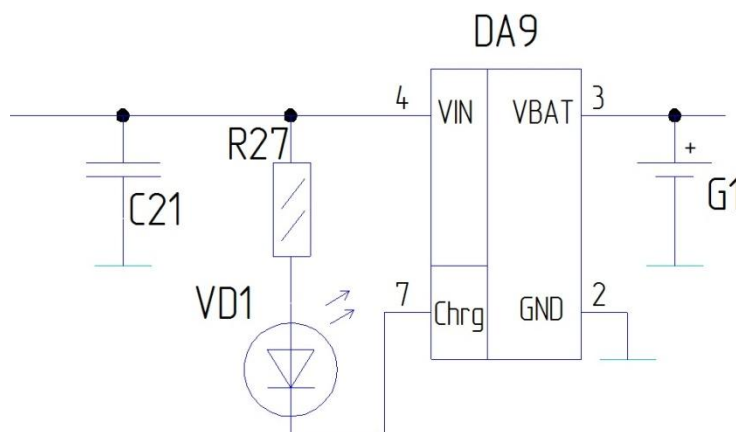


Рис. 33 Контроллер заряда аккумулятора LTS4054

$C21 = 1 \mu\text{F}$, $R27 = 1,65 \text{ k}\Omega$, $VD1 = 2\text{B}$, $G1 = 5\text{B}$.

5.10.2 Расчет необходимой мощности аккумулятора

Для выбора аккумулятора рассчитаем необходимую мощность для работы системы. Ток потребления всей системы составляет порядка 450 мА.

5.10.3 Выбор DC-DC преобразователя

Для обеспечения работы 2-полярной схемы с напряжением питания $\pm 5\text{V}$ используем микросхему DC-DC преобразователя. В качестве DC-DC преобра-

зователя воспользуемся микросхемой AM2D-0505D, обеспечивающую требуемую выходную мощность (рис. 34).

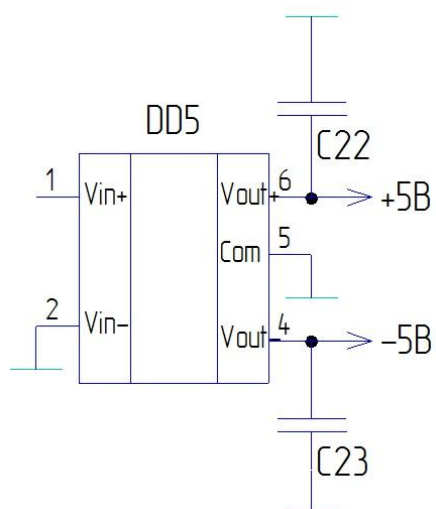


Рис. 34 Преобразователь AM2D-0505D

Примем следующие значения конденсаторов. $C22=C23=0,1$ мкФ

Принципиальная схема приведена в приложении Б.

6 Надежность

Надежность - одно из самых важных свойств изделий, в сущности электронных измерительных устройств, которое определяет их эксплуатационную пригодность. Показатели надежности являются основными техническими параметрами изделия наряду с точностью, массогабаритными характеристиками и т.д. Техническое задание на разработку любого измерительного устройства должно обязательно содержать раздел с требованиями по надежности.

Согласно ГОСТ 27.002-89 под надежностью понимается свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значений всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Отметим, что признаки, по которым оценивается надежность любого технического устройства, называются критериями. К основным критериям надежности относятся:

- Безотказность – это свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки.
- Долговечность - это свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов.
- Ремонтопригодность - это свойство объекта, заключающееся в приспособлении к предупреждению и обнаружению причин возникновения их последствий путем проведения профилактических и капитальных ремонтов и технического обслуживания.
- Сохраняемость – это свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующие способность объекта выполнять требуемые функции в течение использования, после хранения и транспортировки.

Важно отметить, что понятие надежности для любого технического устройства связано с отказами.

Отказ – это событие, которое заключается в нарушении работоспособного состояния объекта.

При этом под работоспособностью понимается такое состояние изделия или устройства, при котором оно способно выполнять заданные функции с параметрами, установленными требованиями технической документации.

В настоящее время существуют различные варианты классификации отказов. Отказы для радиоэлектронных устройств можно классифицировать:

- по характеру возникновения отказа: внезапные и постепенные;
- по времени существования отказа: постоянный, временной и перемежающийся (временные отказы, которые следуют один за другим);
- по характеру проявления отказа: явный и неявный;
- по зависимости отказов между собой: зависимый и независимый;
- по причине возникновения отказа: конструктивный, производственный, эксплуатационный и деградационный.

Важно отметить, что надежность является комплексным свойством любого технического устройства. На практике с количественной стороны надежность оценивается рядом критериев, которые получили название показателей надежности. Основные единичные и комплексные показатели приведены в таблице 1.

Таблица 1. Показатели надежности

Свойства	Показатель
Безотказность	-вероятность безотказной работы
	-интенсивность отказов

	-средняя наработка до отказа -параметр потока отказов -средняя наработка на отказ
Ремонтопригодность	-вероятность восстановления -интенсивность восстановления -среднее время восстановления
Безотказность и ремонтпригодность	-коэффициент готовности -коэффициент простоя -коэффициент технического использования -коэффициент оперативной готовности
Долговечность	-назначенный ресурс -средний ресурс между капитальными (средними) ремонтами -средний срок службы
Сохраняемость	-средний срок сохраняемости

Необходимо отметить, что на надежность любого технического устройства влияют многочисленные факторы, имеющие место на этапах его проектирования, производства и эксплуатации. Соответственно различают:

- 1.Расчетную надежность;
- 2.Производственную надежность;
- 3.Эксплуатационную надежность.

Следует заметить, что в идеальном случае значения расчетной, производственной и эксплуатационной надежностей должны совпадать.

Расчёт надёжности проектируемой технической системы заключается в определении показателей надёжности системы по известным характеристикам надёжности составляющих элементов конструкции и компонентов системы с учетом условий эксплуатации.

Основным показателем безотказности изделия - вероятность безотказной работы $P(\tau)$. Вероятность безотказной работы $P(\tau)$ - это безразмерная величина, которая зависит от времени наработки τ и изменяющаяся в пределах от 0 до 1.

Для нерезервированных систем на основном временном участке работы, когда приработка изделия завершена и производственные дефекты, если такие выявились, устранены, а износ еще не наступил, то вероятность безотказной работы вычисляется по формуле:

$$P(\tau) = \exp\left(-\sum_{i=1}^m (\lambda_i \tau)\right), \quad [29]$$

где λ_i - интенсивность отказа i – элемента,
 m – число элементов.

Таким образом, вероятность безотказной работы уменьшается со временем по экспоненциальному закону от значения 1. При этом интенсивность отказа системы определяется по формуле:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^m \lambda_i. \quad [30]$$

А среднее время наработки до отказа есть величина обратная λ_c

$$T = \frac{1}{\lambda_c}. \quad [31]$$

Интенсивность отказа элементов и компонентов проектируемой системы (устройства) с учетом условий эксплуатации устройства можно определить по следующей формуле:

$$\lambda_i = \lambda_{0i} * K1 * K2 * K3 * K4 * a_i(t_k, K_H), \quad [32]$$

где λ_{0i} - номинальная интенсивность отказа i -го элемента или компонента;

$K1, K2$ - поправочные коэффициенты на воздействие механических факторов;

$K3$ - поправочный коэффициент на воздействие влажности;

$K4$ - поправочный коэффициент на давление воздуха;

i, k, n - поправочный коэффициент на температуру поверхности компонента (t_k) и коэффициента электрической нагрузки (K_n).

Значения номинальной интенсивности отказов компонентов λ_{0i} берутся из условий на данный компонент или из справочников, содержащих такие сведения. В таблице 2 приведены значения номинальной интенсивности отказов для некоторых типов элементов.

Таблице 2. Значения номинальной интенсивности отказов

Наименование элемента	$\lambda_{cp} * 10^{-6}, 1/\text{час}$
Конденсаторы керамические	0,15
Резисторы прецизионные	0,0125
Резисторы керамические	0,2
Интегральные микросхемы	0,01
Кварцевый резонатор	0,026
Дроссель	0,34
Выключатель	3,9
Плавкая вставка	7,2

В таблице 3 приведены значения отдельных поправочных коэффициентов K_1 и K_2 , учитывающих влияние механических воздействий.

Таблица 3. Поправочные коэффициенты влияния механических воздействий

Условия эксплуатации аппаратуры	Вибрация k_1	Ударные нагрузки k_2	Суммарное воздействие k_Σ
Лабораторные	1,0	1,0	1,0
Стационарные (полевые)	1,04	1,03	1,07
Корабельные	1,3	1,05	1,37
Автофургонные	1,35	1,08	1,46
Железнодорожные	1,4	1,1	1,54
Самолетные	1,46	1,13	1,65

В таблице 4 приведены значения поправочного коэффициента K_3 , учитывающего влияние влажности.

Таблица 4. Поправочный коэффициент на воздействие влажности

Влажность, %	Температура, °C	Поправочный коэффициент k_3
60...70	20...40	1,0
90...98	20...25	2,0
90...98	30...40	2,5

В таблице 5 приведены значения поправочного коэффициента K_4 , учитывающего влияние атмосферного давления.

Таблица 5. Коэффициент влияния атмосферного давления

Давление, кПа	Поправочный коэффициент k_4	Давление, кПа	Поправочный коэффициент k_4
0,1...1,3	1,45	32,0...42,0	1,2
1,3...2,4	1,40	42,0...50,0	1,16
2,4...4,4	1,36	50,0...65,0	1,14
4,4...12,0	1,35	65,0...80,0	1,1
12,0...24,0	1,3	80,0...100,0	1,0
24,0...32,0	1,25		

Коэффициенты электрической нагрузки K_n компонентов определяются отношением значения контролируемого параметра (тока, напряжения или мощности) рассматриваемого компонента к максимально возможному (допустимому) по техническим условиям значению этого параметра. Отметим, что в качестве контролируемого параметра для конкретного компонента устройства выбирается тот, от которого в наибольшей степени зависит надежность данного компонента.

Коэффициент нагрузки для различных элементов определяется следующим образом:

- 1) Для конденсаторов:

$$K_H = \frac{U_P}{U_{НОМ}}, \quad [33]$$

где U_P – напряжение, приложенное к конденсатору;

$U_{НОМ}$ – номинальное напряжение конденсатора.

2) Для резисторов:

$$K_H = \frac{P_P}{P_{НОМ}}, \quad [34]$$

где P_P – рассеиваемая мощность на резисторе;

$P_{НОМ}$ – номинальная рассеиваемая мощность на резисторе.

Для всех элементов результаты по определению уровня нагрузки сводим в таблицу 6.

Таблица 6. Расчет коэффициентов нагрузки

Элемент	Обозначение элемента	Отношение параметров	Коэффициент нагрузки, k_H
Конденсаторы	C1-C23	$K_H = \frac{U_P}{U_{НОМ}}$	0,5
Микросхемы	DA1-DA9	-	1
Кварцевый резонатор	ZQ1	-	1
Резисторы	R1-27	$K_H = \frac{P_P}{P_{НОМ}},$	0,1
Индикаторы	HL1- HL4		0,8

Определение $a_i(t_k, k_n)$ поправочного коэффициента на температуру поверхности компонента.

При определении коэффициента, необходимо соблюдать следующее отношение температур: $t_c < t_{ку} < t_{сп} \leq t_{ки}$ где t_c – температура окружающей среды, $t_{ку}$ – температура корпуса устройства, $t_{сп}$ – температура газа внутри устройства, $t_{ки}$ – температура поверхности корпуса внутри компонента.

С учетом лабораторных условий и K_n , определим коэффициенты α :

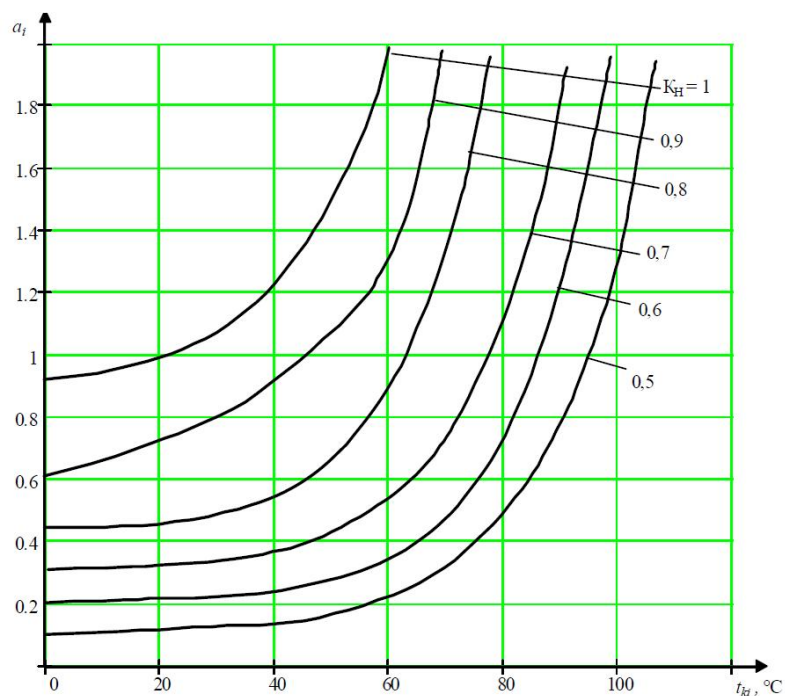


Рис. 35 Зависимость $\alpha_i(T, k_n)$ для конденсаторов

Выбираем значение 0,15.

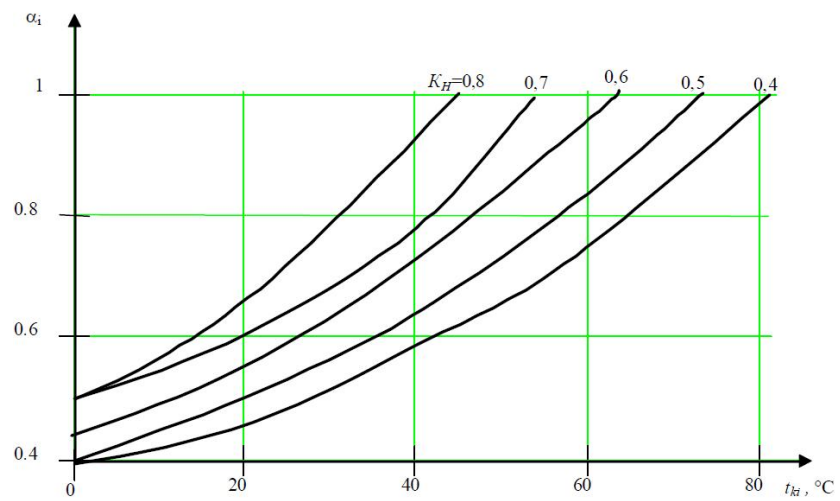


Рис. 36 Зависимость $\alpha_i(T, k_n)$ для резисторов

Выбираем значение 0,65.

Результаты расчета надежности устройства представлены в таблице 7.

Таблица 7. Расчет надежности устройства

№ гр. Элементов	Наименование элемента	Схемные обозначения элементов	N- количество элементов в группе	$\lambda_{0i} \cdot 10^{-6}$ 1/ч	t_k	k_H	$\alpha_i(T, k_H)$	$\lambda_{0i} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4$ Интенсивность отказов с учетом внешних условий	$\lambda_{0i} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot \alpha_i(T, k_H)^{-6}$ Интенсивность отказов рабочем режиме	Интенсивность отказов группы
1	Конденсаторы	C1-C23	23	0,15	1	0,5	0,15	0,15	0.0225	0.52
2	Микросхемы	DA1-DA6, DA8-DA9.	8	0,01	1	1	1	0,01	0,01	0,08
		DA7	1	0,035	1	1	1	0,035	0,012	0,012
3	Резисторы	R1-R27	27	0,03	1	0,1	0,65	0,03	0,0195	0,53
4	Кварцевый резонатор	ZQ1	1	0,026	1	1	1	0,026	0,026	0,026
5	Паяные соединения	-	160	0,002	1	1	1	0,002	0,002	0,32
6	Индикаторы	HL1- HL4	4	0,8	1	1	1	0,8	0,8	3,2

7	светодиод	VD1	1	0.02	1	1	1	0.02	0.02	0.02
8	Разъемы	X1,X2	2	0,9	1	0,1	1	0,9	0,9	1,8
ИТОГО										6,5

Следовательно, среднее время безотказной работы:

$$T_{CP} = \frac{1}{\lambda_c} = 153846 \text{ (час)}.$$

Получаем вероятность безотказной работы устройства в течение 1000 часов:

$$P_C(t) = e^{-\frac{t}{T_{CP}}} = e^{-\frac{1000}{153846}} = 0,994.$$

Произведенные расчеты показывают, что разработанное устройство удовлетворяет условиям ТЗ и требованиям к показателям надежности.

7 Конструкторско-технологическая часть

7.1 Разработка конструкции

Разработанное устройство служит для измерения толщины лакокрасочных покрытий на ферромагнитных изделиях.

Данное устройство отвечает конструктивно-технологическим, эксплуатационным, надёжностным и экономическим требованиям, оптимальное сочетание которых обеспечивает важнейшие характеристики устройства: надёжность, достоверность показаний, допустимые условия эксплуатации.

Основными узлами прибора являются вихретоковый преобразователь, задающий генератор, ключевой синхронный детектор, аналого-цифровой преобразователь, микроконтроллер, жидкокристаллические индикаторы.

Электронный блок прибора выполнен в стандартном корпусе. Конструкция прибора выполнена в переносном варианте. С целью повышения ремонтпригодности все элементы, размещённые на печатных платах, расположены маркировкой наружу и имеют буквенное обозначение на плате.

На лицевой панели расположена пленочная клавиатура и жидкокристаллическая индикация. На боковой панели - разъем для подключения датчика и питания. Технологичность конструкции изделий выражается показателями, характеризующими технологическую рациональность конструктивных решений и пригодность к использованию в составе других изделий. Технологичность конструкции нельзя рассматривать изолировано без взаимной связи и учета условий выполнения заготовительных процессов, процессов обработки, сборки и контроля.

Чертеж общего вида представлен в приложении В.

7.2 Разработка печатной платы (ПП)

7.2.1 Общие технические требования к ПП

Изготовление ПП должно производиться согласно всем требованиям чертежа и технических условий. К ПП предъявляются следующие требования:

Поверхность ПП не должна иметь пузырей, вздутий, посторонних включений, трещин и расслоений материала основания, снижающих электрическое сопротивление и прочность изоляции. Материал основания ПП должен быть таким, чтобы при обработке (сверление, штамповка, распиловка), не образовывались трещины, отслоения и другие неблагоприятные явления, влияющие на эксплуатационные свойства, а также на электрические параметры плат.

Ширина печатных проводников и расстояние между ними устанавливаются требованиями чертежа. Печатные проводники должны быть с ровными краями. Цвет медного проводника может быть от светло-розового до темно-розового. Для повышения качества и надёжности проводников часто применяются гальванические покрытия, которые обеспечивают защиту проводников от коррозии, увеличивают сопротивление механическому износу, позволяют повысить предельно допустимые токи в схеме. На печатных проводниках недопустимы механические повреждения.

Толщина ПП также ограничена. В соответствии с международными требованиями номинальными толщинами ПП являются следующие: 0.2; 0.5; 0.8; 1.6; 2.4; 3.2; 6.4 мм. Величина допуска на толщину платы определяется чертежом. Прочность сцепления печатных проводников с основанием ПП определяет качество и надёжность печатной схемы ПП, предназначенные для установки радиоэлементов с гибкими выводами (резисторы, конденсаторы и т.п.), должны выдерживать не менее 5 одиночных перепаек, а ПП, предназначенные для установки многовыводных элементов (микросхемы и т.п.), - не менее 3 перепаек. Устойчивость при механических воздействиях и проч-

ность ПП обеспечивается конструкцией узла или блока.

7.2.2 Расчет конструктивных и электрических параметров печатной платы

Основной целью процесса конструирования является создание коммутационного устройства для объединения группы радиоэлементов в функциональный узел с обеспечением требуемых механических и электрических параметров в заданном диапазоне эксплуатационных характеристик при минимальных затратах. Для этого необходимо: выбрать тип печатной платы, определить класс точности, установить габаритные размеры и конфигурацию, выбрать материал основания для печатной платы, разместить навесные элементы, определить размеры элементов рисунка, разместить их на плате и осуществить трассировку, обеспечить автоматизацию процессов изготовления и контроля платы и процесса сбора, изготовить конструкторскую документацию. Размеры платы выбираются на основании некоторых конструктивных расчетов. Согласно ГОСТ 10317-79 «Платы печатные. Основные размеры» размеры каждой стороны ПП должны быть кратными:

2.5 при длине до 100 мм;

5.0 - 350 мм;

10.0 - более 350 мм.

Максимальный размер любой из сторон должен быть не более 470 мм. Допуски на линейные размеры платы должны соответствовать установленным стандартами ГОСТ 25346-82 и ГОСТ 25347-82. Стандарт ГОСТ 23751-86 устанавливает 5 классов точности ПП. Исходя из этого положения выбираем 3-й класс точности для изготовления нашей платы (ПП с микросборками и микросхемами, имеющими штыревые и планарные выводы при средней и высокой насыщенности поверхности ПП навесными элементами).

При компоновке элементов на плоских печатных платах оперируют понятием установочной площади элемента, которую для большинства эле-

ментов вычисляют по формуле:

$$S_{уст} \cdot B \cdot L, \quad [35]$$

где В - ширина элемента;

L - длина элемента.

При определении полной площади платы вводят коэффициент ее увеличения, равный 2-3. В результате полная площадь будет в 2-3 раза больше суммы установленных на ней элементов.

Все электрические соединения на плате выполнены пайкой, обеспечивающей достаточное механическое крепление элементов и хорошее электрическое соединение выводов элементов с проводниками плат. Микросхемы устанавливаются на плате с учетом некоторых требований: учет электрических связей между микросхемами и другими элементами схемы; получение требуемой плотности компоновки монтажа; возможность замены микросхемы при изготовлении и настройке устройства.

Рекомендуется разрабатывать печатные платы с соотношением сторон не более 3:1. Разработанная плата с размерами 160x140 мм удовлетворяет ГОСТ 4.010.020-83, ограничивающего ГОСТ 10317-79.

Толщина печатной платы определяется исходным материалом, используемой элементной базой и воздействующими механическими нагрузками. В данном устройстве толщина печатной платы была выбрана равной 1.6 мм. Все монтажные отверстия располагают в зоне контактных площадок. Металлизированные отверстия должны иметь контактные площадки с двух сторон печатной платы. Контактные площадки должны быть круглой формы, а предназначенные под установку первого вывода микросхем должны иметь квадратную форму. Диаметры отверстий были выбраны равными 3,6 мм. Рассчитаем ширину печатных проводников платы. Выберем ширину проводников 0.9 мм. Чтобы нагрев печатного проводника не выходил за пределы допустимого необходимо выполнение неравенства:

$$b \geq \frac{I_{max}}{i \cdot h}, \quad [36]$$

где $I_{\max}$ - максимальное значение тока, А;

i - допустимая плотность тока, А/мм (в нашем случае равна 15 А / мм²);

h - толщина проводника, мм (в нашем случае равна 0.15 мм).

Проверим выполнение неравенства: $0.2 / (25 \cdot 0.15) = 0.053$. То есть $b = 0.9$ больше 0.005 - неравенство выполняется. Значит, нагрев печатного проводника не будет выше допустимого. С другой стороны ширина печатного проводника должна быть такой, чтобы допустимое падение напряжения на нём не превышало 1-2% номинального рабочего напряжения. Должно быть выполнено условие:

$$b \geq \frac{P \cdot I \cdot I_{\max}}{h \cdot U_{\text{НОМ}}}, \quad [37]$$

где I - длина печатного проводника, м;

P - удельная электропроводность меди, Ом/м² ;

$U_{\text{НОМ}}$ - номинальное рабочее напряжение.

Проверим это неравенство: $0.01 \cdot (75 \cdot 0.2 \cdot (15 \cdot 0.2) / (0.15 \cdot 15)) = 0.2$. То есть $b=0.9$ больше 0.2 - неравенство выполняется. Следовательно, допустимое падение напряжения не будет превышать допустимого, и выбранная ширина печатных проводников удовлетворяет нашим требованиям.

7.2.3 Технология изготовления платы

Разработанная плата имеет размеры 160x140 мм и изготовлена из стеклотекстолита СФ ГОСТ 10316-78.

Разводка платы выполнялась при помощи программы Р-CAD. Плата изготовлена химическим комбинированным методом.

Технология изготовления платы следующая:

1. Изготовление заготовок:

- а) нарезка гильотинными ножницами,
- б) зачистка заготовок,
- в) сверление отверстий.

2. Подготовка поверхности заготовок:

- а) окунание в раствор (1%) щавелевой кислоты,
- б) очистка поверхности,
- в) обезжиривание поверхности,
- г) промывка и сушка.

3. Нанесение эмульсии:

- а) равномерное распределение эмульсии,
- б) сушка в центрифуге.

4. Получение рисунка схемы на плате:

- а) экспонированное,
- б) проявление изображения в воде,
- в) окрашивание в метил-лофиолете,
- г) химическое задубливание промывка,
- д) сушка на воздухе, ретуширование,
- е) термическое задубливание.

5. Получение схемы платы:

- а) травление фольги,
- б) промывка и сушка заготовок,
- в) снятие ретуши и эмульсии,
- г) промывка,
- д) чистка электрокорцудом,
- е) промывка и сушка на воздухе,
- ж) удаление непротравленных мест.

6. Подготовка платы к металлизации:

- а) лакирование,

7. Металлизация платы:

- а) обезжиривание и сушка на воздухе,
- б) обработка платы в растворе двухлористого олова,
- в) промывка и сушка, химическое меднение,

г) чистка наждаком.

7.3 Общие положения при монтаже ПП

Механический монтаж ПП производят в такой последовательности, чтобы при креплении деталей не были повреждены установленные ранее. Предназначенные для прибора детали должны быть обязательно проверены. Лучше устанавливать в прибор те детали, которые были испытаны на макете. Выводы деталей не должны быть слишком короткими, во избежание перегрева при пайке.

В целом, конструкция электронного блока отвечает конструктивно-технологическим требованиям, эксплуатационным и экономическим требованиям, оптимальное сочетание которых обеспечивает важнейшие характеристики устройства: надёжность, быструю сборку и разборку, доступность к элементам схемы, удобство обслуживания, хорошую ремонтпригодность. При его эксплуатации оператору не требуется специальной подготовки, достаточно изучение инструкций и правил техники безопасности.

Плата печатная представлена в приложении Г, а так же сборочный чертеж платы печатной в приложении Д.

8 Расчет погрешности

При практическом осуществлении процесса измерения независимо от точности средств измерений, правильности методики и тщательности выполнения измерений результаты измерений отличаются от истинного значения измеряемой величины, т.е. неизбежны погрешности измерений. При оценке погрешности вместо истинного значения принимают действительное; следовательно, можно дать лишь приближенную оценку погрешности измерения.

Уравнение преобразования имеет вид:

$$N = K \cdot U \quad [38]$$

где N - цифровой код с выхода АЦП;

U - измеряемое напряжение с датчика преобразователя;

K - коэффициент преобразования системы.

При последовательном соединении блоков коэффициент преобразования системы определяется:

$$K = K_{ЗГ} * K_{УМ} * K_{Д} * K_{АЦП} * K_{СД} \quad [39]$$

где $K_{ЗГ}$ – коэффициент преобразования задающего генератора;

$K_{УМ}$ – коэффициент преобразования усилителя мощности;

$K_{Д}$ – коэффициент преобразования датчика;

$K_{СД}$ – коэффициент синхронного детектора;

$K_{АЦП}$ – коэффициент преобразования аналого-цифрового преобразователя.

По способу выражения их делят на абсолютные и относительные погрешности измерений.

Абсолютная погрешность измерения — погрешность, выраженная в единицах измеряемой величины. Недостатком такого способа выражения этих величин является то, что их нельзя использовать для сравнительной оценки точности разных измерительных технологий. Действительно Δx

мм, при $X = 100$ мм соответствует достаточно высокой точности измере-

ний, а при $X=1$ мм — низкой. Этого недостатка лишено понятие «относительная погрешность», определяемое выражением

$$\delta x = \frac{\Delta x}{x_u} * \frac{\Delta x}{x}, \quad [40]$$

Таким образом, относительная погрешность измерения— отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины или результату измерений.

Для характеристики точности СИ часто применяют понятие «приведенная погрешность», определяемое формулой

$$\gamma x = \frac{\Delta x}{x_n}, \quad [41]$$

где X_n — значение измеряемой величины, условно принятое за нормирующее значение диапазона СИ. Чаще всего в качестве X_n - принимают разность между верхним и нижним пределами этого диапазона.

Таким образом, приведенная погрешность средства измерения — отношение абсолютной погрешности средства измерения в данной точке диапазона СИ к нормирующему значению этого диапазона.

По источнику возникновения погрешности измерений делят на инструментальные, методические и субъективные.

Инструментальная погрешность измерения — составляющая погрешности измерения, обусловленная несовершенством применяемого СИ: отличием реальной функции преобразования прибора от его калибровочной зависимости, неустранимыми шумами в измерительной цепи, запаздыванием измерительного сигнала при его прохождении в СИ, внутренним сопротивлением СИ и др. Инструментальная погрешность измерений разделяется на основную (погрешность измерений при применении СИ в нормальных условиях) и дополнительную (составляющая погрешности измерений, возникающая вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от ее номинального значения или ее выхода за пределы нормальной области значений).

Методическая погрешность измерений — составляющая погрешности измерений, обусловленная несовершенством метода измерений. К ней относят погрешности, обусловленные отличием принятой модели объекта измерения от реального объекта, несовершенством способа воплощения принципа измерений, неточностью формул, применяемых при нахождении результата измерений, и другими факторами, не связанными со свойствами СИ. Примерами методических погрешностей измерений являются:

- погрешности изготовления цилиндрического тела (отличие от идеального круга) при измерении его диаметра;
- несовершенство определения диаметра круглого тела как среднего из значений диаметра в двух его заранее выбранных перпендикулярных плоскостях;
- погрешность измерений вследствие кусочно-линейной аппроксимации нелинейной калибровочной зависимости СИ при вычислении результата измерений;
- погрешность статического косвенного метода измерений массы нефтепродукта в резервуаре вследствие неравномерности плотности нефтепродукта по высоте резервуара.

Субъективная (личная) погрешность измерения — составляющим погрешности измерения, обусловленная индивидуальными особенностями оператора, т. е. погрешность отсчета оператором показаний по шкалам СИ. Они вызываются состоянием оператора, несовершенством органов чувств, эргономическими свойствами СИ. Характеристики субъективной погрешности измерений определяют с учетом способности «среднего оператора» к интерполяции в пределах цены деления шкалы измерительного прибора. Наиболее известная и простая оценка этой погрешности — ее максимальное возможное значение в виде половины цены деления шкалы.

Источником погрешностей индукционных преобразователей являются нелинейность функции преобразования и нестабильность параметров маг-

нитных материалов во времени и от изменения температуры. Нелинейность обусловлена главным образом неоднородностью магнитного поля в зазоре и обратным влиянием поля катушки при протекании по ней тока. Дополнительную погрешность не учитываем, т.к. измерения производятся в помещении при нормальных условиях. Основным устройством влияющим на погрешность является АЦП.

Рассчитаем погрешность АЦП:

Основная погрешность АЦП характеризуется величиной младшего разряда. АЦП AD7811 10-разрядный. Таким образом погрешность АЦП определяется:

$$\gamma_{\text{АЦП}} = \gamma_{\text{д}} = \frac{U_{\text{о}}}{N_{\text{max}}} \Rightarrow \gamma_{\text{АЦП}} = \frac{2,5}{1024} \cdot 100\% = 0,244\%; \quad [42]$$

где $U_{\text{о}}$ – напряжение опорного источника; $U_{\text{о}}=2,5\text{В}$.

9 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

9.1 Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)

9.1.1 Портрет потребителя

Перед началом исследования необходимо четко представлять, кто является конечным потребителем разработки или кто может стать им в будущем и по какой причине они эту разработку приобретают, т. е. определить свой целевой рынок.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться разработка.

Сегментирование – разделение покупателей на однородные группы, для каждого из которых может потребоваться определенный товар. Можно применять географический, демографический, поведенческий и иные критерии сегментирования рынка потребителей.

		Вид производимых измерителей толщины лакокрасочных покрытий на ферромагнитных изделиях		
		Вихретоковый толщиномер	Магнитный толщиномер	Радиометрический толщиномер
Размер компании	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

Рис. 1. Карта сегментирования рынка по разработке измерителей толщины лакокрасочных покрытий на ферромагнитных изделиях:

	Фирма А	Фирма Б	Фирма В
--	---------	---------	---------

Так, учитывая характеристики спроектированного измерителя толщины лакокрасочных покрытий на ферромагнитных изделиях, основными потребителями данного продукта будут организации с небольшим потоком СИ, либо более крупные организации используемые данный продукт как дополнительное вспомогательное оборудование, позволяющее разгрузить основной поток.

Целевой рынок: государственные пожарные службы, организации занимающиеся ремонтом автомобилей, приборостроительные заводы, строительные предприятия, судостроительная промышленность, заводы по производству металлических деталей, требующих нанесения слоя полимера.

9.1.2 Оценка конкурентоспособности

На сегодняшний день существует большое количество измерителей толщины лакокрасочных покрытий. Все эти приборы имеют достаточно высокую функциональность, а соответственно и высокую стоимость продукта, поэтому данный продукт не всегда доступен для небольших компаний. Следовательно, возникает потребность в разработке прибора с узкой функциональностью (узким диапазоном измеряемых величин).

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки с имеющимися аналогами и определить направления для ее будущего совершенствования. Целесообразнее проводить данный анализ с помощью оценочной карты, для этого возьмем еще два конкурентных товара. Ниже представлена оценочная карта для сравнения конкурентных толщиномеров покрытий (табл. 8).

Таблица 8 Оценочная карта для сравнения конкурентных товаров

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,08	5	3	3	0,4	0,24	0,24
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,08	5	5	5	0,4	0,4	0,4
3. Помехоустойчивость	0,08	4	3	3	0,32	0,24	0,24
4. Энергоэкономичность	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
5. Надежность	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
6. Уровень шума	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
7. Безопасность	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
8. Требует ресурсов памяти	0,01	1	2	2	0,01	0,02	0,02
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,02	3	2	3	0,06	0,04	0,06
10. Простота эксплуатации	0,08	5	5	3	0,4	0,4	0,24
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,02	3	1	1	0,06	0,02	0,02
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,01	3	3	3	0,03	0,03	0,03
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,01	2	2	2	0,02	0,02	0,02
2. Уровень проникновения на рынок	0,01	3	5	4	0,03	0,05	0,04
3. Цена	0,05	4	5	3	0,2	0,25	0,15
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
5. Послепродажное обслуживание	0,05	3	4	3	0,15	0,2	0,15
6. Финансирование научной разработки	0,05	5	1	3	0,25	0,05	0,15
7. Срок выхода на рынок	0,05	5	2	1	0,25	0,1	0,05
8. Наличие сертификации разработки	0,05	5	2	2	0,25	0,1	0,1

Итого	1	80	65	61	4,53	3,46	3,21
-------	---	----	----	----	------	------	------

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 10.1, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i, \quad [43]$$

где K – конкурентоспособность конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

Б_i – балл i -го показателя.

Основываясь на полученной таблице можно сделать следующие выводы о конкурентах: большинство систем создаются как универсальные и не учитывают узкую специфику деятельности отдельных предприятий, поэтому для подобных предприятий необходимы системы с узкой функциональностью, что отражается и на себестоимости продукта, существенно снижая ее.

9.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для того, чтобы перед организацией или менеджером проекта появилась отчетливая картина, состоящая из лучшей возможной информации и данных, а также сложилось понимание внешних сил, тенденций и подводных

камней, в условиях которых научно-исследовательский проект будет реализовываться.

SWOT - анализ проводится в несколько этапов. На первом этапе описываются сильные и слабые стороны проекта, выявляются возможности и угрозы для реализации проекта. На втором этапе выявляются соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Эти соответствия или несоответствия помогут выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. В рамках третьего этапа составляется итоговая матрица SWOT-анализа (табл.9).

Таблица 9 SWOT – анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1.Наличие бюджетного финансирования С2.Квалифицированный персонал С3.Возможность экономии времени С4.Наличие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1.Более высокая стоимость Сл2.Отсутствие прототипа научной разработки Сл3.Большой срок поставок материалов и комплектующих Сл4.Применительно только к предприятиям рынка РФ
Возможности: В1.Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2.Появление дополнительного спроса на новый продукт В3.Повышение стоимости конкурентных разработок В4.Привлечение новых клиентов	1.Разработка измерителя толщины лакокрасочного покрытия на ферромагнитных изделиях с целью получения готового продукта с заданными конкурентными преимуществами.	1.Совершенствование продукта 2.Предоставление готового продукта 3.Установление и поддержание тесного взаимодействия между компанией и клиентом.
Угрозы: У1.Развитая конкуренция технологий производства	1.Продвижение новой технологии с целью появления спроса 2. Сертификация продукта	1.Конкретизация только на одном сегменте рынка. 2.Возможность быстрой адап-

У2.Отсутствие спроса на новые технологии производства	3.Укрепление конкурентных преимуществ продукта.	тации модели при изменении методологии.
У3.Введение дополнительных государственных требований к сертификации продукции		
У4.Несвоевременное финансовое обеспечение НИР		

9.2 Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР

Любое научное исследование, вне зависимости от его масштабов, должно носить программно – целевой характер, отличаться новизной, выполняться на современном оборудовании и обеспечивать высокий экономический эффект. При этом научный результат должен быть получен в заданные сроки с минимальными материальными, энергетическими, денежными и трудовыми затратами. Последнее в большей мере зависит от надлежащей организации, планирования и управления исследованиями и разработками. Так, для обеспечения рациональной организации и планирования работы составим следующий график (табл.10).

Таблица 10 Организация и планирование ИР (Приложение Е)

Этапы	Под-этапы	Содержание работ	Тэ, кол. дн	Ув, %	Г, %	Время выполнения работы (дни)														
						10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	
1	1	Получение и анализ задания	2	1,7	1,7															
	2	Подбор и изучение литературы	17	14,3	16															
2	3	Обзор методов и средств измерений	6	5	21															
	4	Разработка структурной и принци- пиальной схем	8	6,7	27,7															
	5	Расчет параметров принципиальной схемы	29	24,4	52,1															
	6	Разработка структурной схемы	29	24,4	76,5															
	7	Изготовление рабочих чертежей	19	16	92,4															
3	8	Оформление отчетной документа- ции о проделанной работе	26	21,8	100															



-Руководитель



-Исполнитель

Для более наглядного отображения производственного плана и упрощения контроля за процессом в выполнении поставленных задач построим Диаграмму Ганта (рис. 37) основываясь на таблице 10.

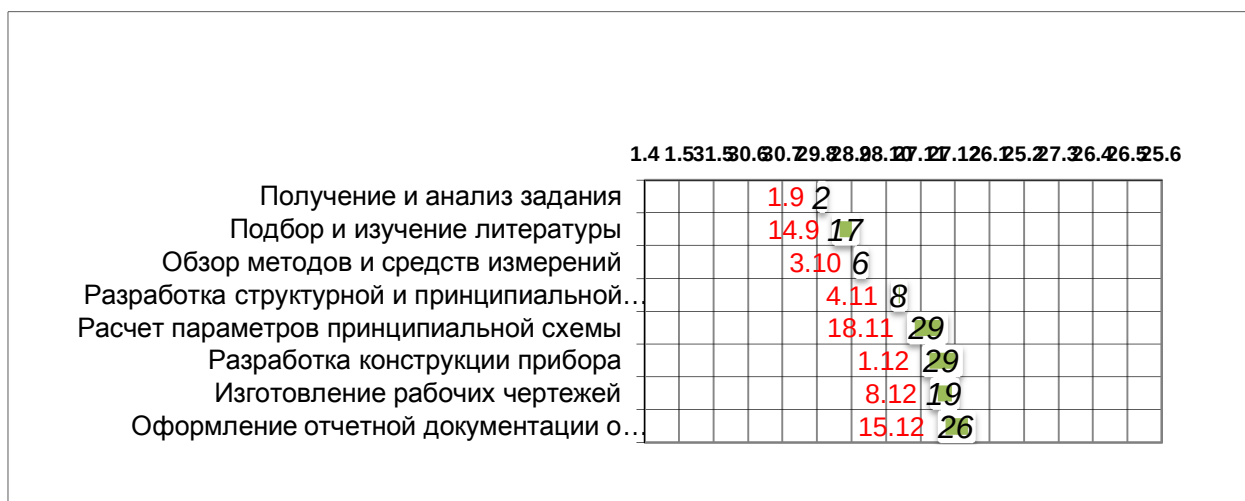


Рис. 37 Диаграмма Ганта, где 1 –я цифра – месяц, на который запланирован данный пункт, 2 – я цифра – кол-во дней, которое планируется затратить на данный пункт.

9.3 Составление бюджета инженерного проекта (ИП)

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad [44]$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad [45]$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

Тр – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, рабочие дни;

Здн – среднедневная заработная плата работника, рубли.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{м} \cdot М}{F_{д}}, \quad [46]$$

где Зм – месячный должностной оклад работника, рубли;

М – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 рабочих дня М = 11,2 месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 рабочих дней М = 10,4 месяца, 6-дневная неделя;

Fд – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, рабочие дни (табл. 11).

Таблица 11 Баланс рабочего времени

<i>Показатели рабочего времени</i>	<i>Научный руководитель проекта</i>	<i>Студент</i>
Календарное число дней	130	130
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	30	30
- праздничные дни		
Потери рабочего времени		
- отпуск	29	29
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	71	71

Расчет себестоимости ИР проводят по тем расходам, которые были выполнены при ее проведении. В частности, затраты на проведение дипломной работы относятся к предпроизводственным затратам (одноразовые затраты на все работы, которые выполняют исполнители ИР).

Затраты определяются путем сложения статей калькуляции плановой себестоимости проведения ИР следующим образом:

- материалы;
- спецоборудование для научных и экспериментальных работ;
- заработная плата, начисление на фонд оплаты труда;
- затраты на работы, которые выполняются другими организациями;
- другие прямые затраты;
- накладные расходы.

Расчет расходов по статьям «материалы» и «спецоборудование для научных и экспериментальных работ» приведен в табл.12

Таблица 12 Покупные и комплектующие детали

<i>Наименование</i>	<i>Тип элемента</i>	<i>Кол-во</i>	<i>Стоимость ед., руб.</i>	<i>Общая стоимость, руб.</i>
АЦП	AD7811	1	472	472
Резистор	C2-29	6	23	138
Операционный усилитель	KP140УД7	1	6,3	6,3
Блок питания	PS-15-5	1	660	660
Цифровой индикатор	SC56-11EWA	5	50	250
Микроконтроллер	ATmega64	1	470	470
Резистор	C1-4-0,125	5	1,6	8
Конденсатор	K10-17	10	36	360
Катушка	ДМ-01	1	6,48	6,48
Разъем	IDC-10MS	5	6,1	30,5
Разъем	SUB-D9-P	2	10	20
ИТОГО				2421-28

Таблица 13 Вспомогательные материалы

№ п/п	Наименование мате- риала	Количество (шт)	Цена за одну еди- ницу (руб.)	Общая сумма руб.
1	Карандаш	2	15	30
2	Ручка	2	10	20
3	Бумага (ф.А4)	1	150	150
4	Файл	5	1	5
ИТОГО				205

Таблица 14 Группировка затрат по статьям на изготовление первого из-
делия

	Статьи					
Вид работ	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покуп- ные изделия и полуфабрикаты	Основная заработная плата (Трудо-затраты)	Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями	Прочие прямые расходы	Накладные расходы	Итого плановая себестоимость (Трудо-затраты)
1.Обеспечение проекта ресурсами со стороны исполнителя, проверка технологических расчё- тов по проекту и работ по проектированию	2421,28	2000	-	-	-	5826,28
2.Выполнение техноло- гических расчётов по проекту и работ по про- ектированию	205	1200	-	-		

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad [47]$$

где $З_{\text{тс}}$ – базовый оклад, рубли;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок (в НИР и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 30% (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 15.

Таблица 15 Расчет основной заработной платы

<i>Исполнители</i>	<i>$З_{\text{тс}}$, руб.</i>	<i>$k_{\text{пр}}$</i>	<i>$k_{\text{д}}$</i>	<i>$k_{\text{р}}$</i>	<i>$З_{\text{м}}$, руб.</i>	<i>$З_{\text{дн}}$, руб.</i>	<i>$T_{\text{р}}$, раб. дн.</i>	<i>$З_{\text{осн}}$, руб.</i>
Научный руководитель проекта	14584,32	0,0	0,0	1,3	18959,62	1053,3	71	74784,3
Исполнитель	9893,56	0,0	0,0	1,3	12861,63	714,5	71	50729,5

Таблица 16 Заработная плата исполнителей НИР

<i>Заработная плата</i>	<i>Научный руководитель про- екта</i>	<i>Исполнитель</i>
Основная зар- плата	74784,3	50729,5
<i>Итого по статье С_{зн}</i>		
125513,8		

9.4 Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков

Оценка экономических результатов инновационного проекта производится на основании годовых показателей, рассчитанных по годам длительности жизненного цикла реализации проекта.

Для расчета этих показателей потребуются следующие данные (табл.17).

Таблица 17 Исходные данные для расчета показателей эффективности
проекта

<i>Наименование показателя</i>	<i>Величина</i>
Объем продаж	1
Цена за единицу	8217,6
Выручка	2383,84
Себестоимость продукции	5826,28
Прибыль балансовая	1667,53
Налоги на финансовый результат	216,75
Налогооблагаемая прибыль	2082,77
Налог на прибыль	416,64
Прибыль чистая	1383,17
Амортизация	83,57
Результат	1215,53
Коэффициент дисконтирования	1,12
Дисконтированный результат	9212,07
Инвестиционные затраты	805,72
Дисконтированные инвестиционные затраты	1647,55
ЧДД	290,12
ИД	1,7

Чистый дисконтированный доход (ЧДД) – по международной терминологии NPV – или интегральный эффект:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T R_t - S_t * \frac{1}{(1+n)^t}, \quad [48]$$

Где, R_t – результаты, достигнутые на t-шаге расчета;

$$R_t = \text{Пр} + A;$$

Пр – чистая прибыль;

A – амортизационные отчисления;

S_t – затраты, осуществляемые на том же шаге;

T – горизонт расчета, равный номеру шага расчета, на котором производится ликвидация объекта, т.е. последнему году жизненного цикла проекта;

n – норма дисконта.

Индекс доходности ИД (PI) или индекс рентабельности капиталовложений:

$$\text{ИД} = \frac{\sum_{t=0}^T \text{Пр}_t + A_t (1+n)^{-t}}{\sum_{t=0}^T K_t (1+n)^{-t}}. \quad [49]$$

Экономический эффект - полезный результат применения нового изделия, измеряемого абсолютными величинами обычно в качестве основного результата выступает прибыль, экономия на производственных или эксплуатационных расходах. Экономическая эффективность – это отношение экономического эффекта к затратам, вызвавшим этот эффект.

$$E_э = \frac{\mathcal{E}}{З} \times 100\%, \quad [50]$$

где $E_э$ – экономическая эффективность;

$\mathcal{E}$ – экономический эффект, руб;

З – затраты, связанные с достижением эффекта.

$$\mathcal{E} = \frac{\text{Цена} - \text{Себестоимость}}{K_э}, \quad [51]$$

$K_э$ - коэффициент, учитывающий определенный процент от экономического эффекта, ожидаемого от внедрения разработки, устанавливается по согласованию сторон в зависимости от характера работ, степени риска и других факторов; $K_э=0,3$.

$$\mathcal{E} \quad \frac{8217,6 - 5826,28}{0,3} = 7971,07$$

$$E\mathcal{E} \quad \frac{7971,07}{8217,6} * \quad = 97\%$$

Для сравнения взят магнитный толщиномер покрытий. Цена разработки составляла 28320 рублей, а себестоимость 20107,2 рублей.

$$\mathcal{E} \quad \frac{28320 - 20107,2}{0,3} = 27376$$

$$E\mathcal{E} \quad \frac{27376}{28320} * \quad = 96,6\%$$

9.5 Вывод

Произведённые расчёты показывают, что разработанная система по экономической эффективности не уступает аналогичным разработкам.

10 Социальная ответственность

10.1 Производственный контроль

Контроль за соблюдением требований санитарного законодательства организациями, а так же предпринимателями в соответствии с осуществляемой ими деятельностью является обязательным условием работы всех организаций.

До начала осуществления деятельности лаборатории по контролю толщины лакокрасочных покрытий, необходимо составить программу (план) производственного контроля.

Важную роль в процессе осуществления производственного контроля является контроль параметров микроклимата.

В условиях функционирования лаборатории по толщине лакокрасочных покрытий, необходимо измерять и контролировать такие параметры, как: температура, относительная влажность и скорость движения воздуха.

В соответствии с СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» (взамен «Санитарных норм микроклимата производственных помещений» № 4088-86), измерения показателей микроклимата в целях контроля их соответствия гигиеническим требованиям должны проводиться не реже одного раза в половину года, а именно:

- в холодный период года - в дни с температурой наружного воздуха, отличающейся от средней температуры наиболее холодного месяца зимы не более чем на 5 °С,

- в теплый период года - в дни с температурой наружного воздуха, отличающейся от средней максимальной температуры наиболее жаркого месяца не более чем на 5 °С.

Нормы параметров микроклимата для помещения без избытка выделения тепла для работ второй категории тяжести приведены в таблице 18 согласно СанПиН 2.2.4.548-96.

Таблица 18 Нормы параметров микроклимата

Наименование параметров и единицы измерения	В холодное время	В теплое время
Температура, °С	19...25	20...28
Относительная влажность, %	15...75	15...75
Скорость движения воздуха, м/с	$\leq 0,1$	$\leq 0,3$

Таким образом, в лаборатории температура: зимой $t = 20...22$ °С; летом $t = 22...25$ °С. Относительная влажность от 30 – 50 %, скорость движения воздуха – 0.1 м/с. Эти данные соответствуют нормам.

10.2 Анализ опасных и вредных факторов.

Поскольку разрабатываемая в данном дипломном проекте система для контроля толщины лакокрасочных покрытий содержит в себе такие компоненты, как: источник питания, измеритель токового сигнала, вычислитель, ПК, на основании этого перечня, можно провести анализ опасных и вредных факторов, которым будет подвергаться рабочий персонал лаборатории.

10.2.1 Электромагнитное поле.

Электромагнитное поле – вредный фактор, который создается магнитными катушками находящимися в трансформаторе блока питания. Электромагнитное поле обладает способностью биологического, специфического и теплового воздействия на организм человека. Тепловое воздействие электромагнитного поля характеризуется повышением температуры тела, локальным избирательным нагревом тканей, органов, клеток вследствие перехода электромагнитного поля в тепловую энергию. Интенсивность нагрева зависит от количества поглощенной энергии и скорости оттока тепла от облучаемых участков тела.

Биологическое воздействие зависит от длины волны, интенсивности, продолжительности и режимов воздействия, размеров, анатомического строения органа, подвергающегося воздействию электромагнитного поля.

Однако, в рассматриваемой нами лаборатории электромагнитное поле слабо выражено.

10.2.2 Электрический ток

Особенности электрического тока как опасного фактора заключаются в том, что он не имеет запаха, цвета, он бесшумен. Неспособность организма человека обнаруживать его до начала воздействия приводит к тому, что работающие не осознают реально имеющейся опасности и не принимают своевременно необходимых защитных мер.

К особенностям поражения электрическим током следует отнести то, что пострадавший не может оказать себе помощь. Инженер-метролог, выполняющий работы по контролю толщины лакокрасочных покрытий должен иметь III группу по электробезопасности и пройти необходимый инструктаж. Открытых токоведущих линий в лаборатории нет.

10.2.3. Электростатическое поле.

Электростатическое поле возникает в результате облучения экрана потоком заряженных частиц. Неприятности, вызванные им, связаны с пылью, накапливающейся в электростатически заряженных экранах, которая летит на оператора во время его работы за монитором. Электростатический потенциал, возникающий в теле инженера-метролога при его работе за монитором, различен и колеблется в пределах от 0 до +0,6 кВ/м (однако, он может быть и отрицательным). Потенциал оператора служит решающим фактором при осаждении частиц на поверхности тела, что, в свою очередь, может служить причиной кожных заболеваний, порчи контактных линз, при катаракте развивается помутнение хрусталика глаза. Поэтому минимальное расстояние работающего от монитора должно быть не менее 50 см.

Основные способы защиты от статического электричества следующие: заземление оборудования, увлажнение окружающего воздуха.

10.2.4. Ионизирующее излучение.

Источником является монитор компьютера. Инженер-разработчик постоянно работает с компьютером. Доза облучения при расстоянии до экрана монитора 10-15 см составляет 50 мкбэр/час. В год это составит (при восьми часовом рабочем дне) около 0.1 бэр, что соответствует установленным нормативам.

10.3. Организация рабочего места.

В целях сохранения работоспособности рабочего персонала, а так же исключения изменений функционального состояния организма под воздействием на него трудовой деятельности, необходимо сделать рабочее место эргономичным, т.е. приспособленным для наиболее удобной и безопасной работы.

Правильное положение и компоновка рабочего места, обеспечение удобной позы и свободы рабочих движений (минимум легких, производительных движений) уменьшает утомляемость и предотвращает опасность возникновения профессиональных заболеваний.

При работе инженера, конструктора и исследователя действует наибольшая группа мышц, поэтому предпочтительна сидячая поза. Она также более рациональна и менее утомительна. Работа на персональном компьютере предполагает умственное и психоэмоциональное напряжение, длительное нахождение перед монитором, напряжение органов зрения, вынужденную позу, адинамию. Чтобы работа за компьютером была не только безвредна, но и комфортна, необходимо соблюдать требования соответствующих ГОСТов.

В соответствии с ГОСТ 12.2.032-78 «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя». Общие эргономические требования размеры рабочего места при работе сидя должны быть:

- высота рабочей поверхности стола не менее 600 мм,
- высота сиденья 400-500 мм,
- высота от сиденья до рабочей поверхности 200 мм.

Рабочее место должно состоять из стола с размещенным на нем монитором, клавиатурой, подставкой под документы, кресла и подставки для ног. Экран монитора должен находиться от глаз на расстояние не менее 65-70 см. Плоскость экрана должна быть расположена вертикально или с наклоном на пользователя, это позволит избежать напряжения мышц шеи и спины. Угол зрения, при котором обеспечивается оптимальное различие символов на экране, находится в пределах 15-20 градусов.

Оптимальные размеры стола зависят от размеров монитора и клавиатуры, но ориентировочно они должны быть шириной не менее 90 см, длиной – 160 см. Неправильное положение рук при печати на клавиатуре приводит к

хроническим растяжениям кисти. Важно не столько отодвинуть клавиатуру от края стола и опереть кисти о специальную площадку, сколько держать локти параллельно поверхности стола и под прямым углом к плечу. Клавиатура должна располагаться в 10-15 см (в зависимости от длины локтя) от края стола.

Для работы очень важно иметь удобное подвижное кресло, в котором регулируется: высота, наклон спинки, расстояние спинки от сиденья. Кресло нужно выбирать с подлокотником, это поможет менять позу и положение рук. Кресло с невысокой спинкой, максимум до лопаток, более удобно и лучше способствует правильной осанке во время работы. Чтобы ноги были расслаблены и не затекали, лучше использовать подставку для ног с регулируемым углом наклона от 0 до 30 градусов. Если ноги не касаются пола, то пользователь обязательно будет сутулиться.

Комната, в которой установлен компьютер, должна быть просторной, с северной, северо-восточной или северо-западной ориентацией окон, что обеспечивает достаточное, естественное освещение. Для искусственного освещения лучше применять светильники с люминесцентными лампами. Желательно, чтобы высота стола могла регулироваться в соответствии с ростом пользователя. При естественном освещении стол нужно поставить дальше от окна, чтобы свет падал с левой стороны.

Для снятия умственного и физического напряжения, и усталости глаз, при интенсивной работе за компьютером необходимо делать перерывы по 5-10 минут каждый час работы или 15-20 минут каждые два часа работы. Время перерывов целесообразно использовать для активного отдыха и гимнастики для глаз.

10.4 Расчет искусственного освещения.

Особенность работы инженера-метролога состоит в том, что предъявляются очень высокие требования к освещенности помещения, так как необходи-

мо внимательно следить за проведением различных экспериментов и набором текста.

В лаборатории используется комбинированное освещение: искусственное и естественное. Естественное освещение проникает в помещение через окна, этим обеспечивается боковое освещение. Так же требуется значительное время использовать искусственное освещение. Для обеспечения требуемого освещения произведем расчет искусственного освещения.

Для искусственного освещения регламентируется максимальная освещенность рабочих мест, согласно нормам и правилам СНиП 23-05-95.

Окна располагаются сбоку, такое расположение уменьшает вероятность засветки экранов мониторов солнечными лучами.

Для исключения засветки экрана прямыми потоками света, светильники общего освещения располагаются сбоку от рабочего места, параллельно линии зрения и стене с окнами. Такое расположение светильников исключает раздражение глаз чередующимися полосами света и тени.

В лаборатории используется общее равномерное освещение. Основными источниками света для общего освещения являются люминесцентные лампы. Основными преимуществами люминесцентных ламп является их экономичность. Световая отдача этих ламп колеблется в пределах 30-80 лм/Вт, что в 3-4 раза превышает световую отдачу ламп накаливания. Срок их службы доходит до 10000 часов.

Рассчитаем искусственное освещение методом коэффициента использования светового потока.

$$F = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{N \cdot \eta} , \quad [52]$$

где F – световой поток каждой из ламп (лм);

E – номинальная освещенность (лк);

K – коэффициент запаса;

N – количество ламп в помещении;

Z – коэффициент неравномерности освещения. В нашем случае $Z=1.1$;

S – площадь помещения;

η – отношение потока, падающего на расчетную поверхность к суммарному потоку всех ламп (определяется из таблицы).

Для определения η необходимо знать индекс помещения I , значения коэффициентов отражения стен r_0 и потолка r_n :

$r_0=50\%$;

$r_n=70\%$.

Коэффициент использования осветителей может быть определен по известному индексу помещения i определяемому как:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)}, \quad [53]$$

где A – длина помещения, $A=6\text{м}$;

B – ширина помещения, $B=4\text{м}$;

S – площадь помещения, $S=24\text{м}^2$;

h – расчетная высота подвеса светильников.

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 0,8 - 0,5 = 2,5\text{м},$$

где Н – высота помещения, Н=3,5 м;

h_р - высота рабочей поверхности, примем ее 0.8 м;

h_с – высота подвеса ламп; h_с=0.5...0.7м, примем его 0,5м.

Тогда

$$i = \frac{48}{2.5 \cdot (6 + 8)} = 1.4$$

При i = 1,4 коэффициент использования светового потока $\eta = 0,48$

В аудитории выполняется работа, требующая зрительного напряжения, поэтому выберем люминесцентную лампу ЛБ мощностью 80 Вт, тогда поток лампы F=4320 лм, U_с=220 В, система общего освещения, тип светильников - закрытый, двухламповый ОД-2-80. Основные параметры светильников ОД-2-80 следующие: длина-1531мм; ширина-266 мм; высота-1908 мм; КПД-75 %.

Коэффициент запаса для ламп типа ЛБ примем 1.5. Световой поток одной лампы равен:

$$F = \frac{48 \cdot 300 \cdot 0,9 \cdot 1,5}{2 \cdot 4 \cdot 0,48} = 5062 \text{ л.м}$$

Рассчитаем количество ламп и сравним с имеющимся количеством ламп в нашем помещении. Выбираем лампу ЛБ-80:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K \cdot Z}{2 \cdot F \cdot \eta} = \frac{48 \cdot 300 \cdot 0,9 \cdot 1,5}{2 \cdot 5062 \cdot 0,48} = 4$$

В данной аудитории имеется четыре светильника по две лампы в каждом, из чего можно сделать вывод, что освещение рабочего места достаточное для выполняемой работы (рис. 38).

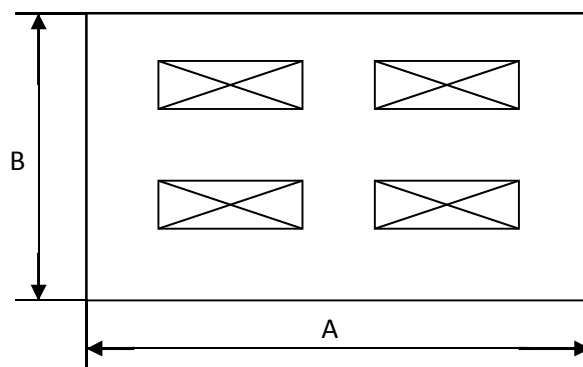


Рис. 38. Схема размещения светильников.

10.5 Категория тяжести условий труда.

На основе анализа влияющих факторов на рабочий персонал лаборатории и принципа организации рабочего места, можно установить категорию тяжести труда рабочего персонала. Поскольку ни один из параметров не выходит за пределы допустимых значений, условия труда относятся ко II категории тяжести: ко второй категории тяжести относятся работы, выполняемые в условиях, не превышающих предельно допустимых значений производственных факторов, установленных действующими санитарными правилами, нормами и эргономическими рекомендациями. У практически здоровых людей, не имеющих медицинских противопоказаний к таким работам, к концу смены (недели) не возникает значительного утомления. Работоспособность существенно не нарушается. Отклонений в состоянии здоровья; связанных с профессиональной деятельностью, в течение всего трудового периода жизни не наблюдается.

11 Заключение

В данной выпускной квалификационной работе были получены сведения о лакокрасочных покрытиях, произведен анализ существующих методов и средств контроля толщины лакокрасочных покрытий. Был выбран метод измерения толщины покрытия и рассчитан первичный преобразователь. На основе произведенного анализа разработана структурная схема. Далее была разработана принципиальная схема в которой использованы современные малогабаритные микросхемы зарубежного производства.

В результате проделанной работы был разработан простой в использовании измеритель толщины лакокрасочных покрытий на ферромагнитных изделиях. Затраты на данный прибор составили порядка 3 тысяч рублей, в то время как на рынке на данный момент вихретоковый толщиномер стоит порядка 20-25 тысяч рублей. Таким образом основная цель и поставленные задачи данной ВКР достигнуты.

12 Conclusion

In this final qualifying work information about paintwork, the analysis of existing methods and means of controlling the thickness of the coatings were obtained. transducer coating thickness measurement method was selected and designed. On the basis of the analysis produced by the structural scheme. Next, the concept was developed in which the chips used in modern small-sized foreign production.

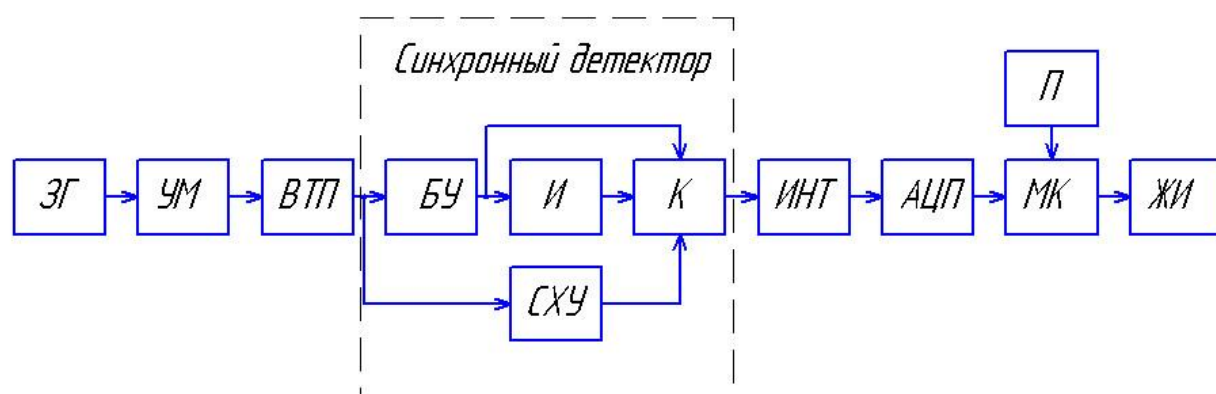
As a result of this work it was developed a simple-to-use measuring paint coating thickness on ferromagnetic products. The cost of this product amounted to about 3 thousand rubles, while the market at present eddy current thickness is about 20-25 thousand. Thus the main purpose of the WRC and the tasks achieved.

Список использованных источников

1. <https://ru.wikipedia.org>
2. Бабаджанян Л.С., Бабаджанян М.Л. Метрологическое обеспечение измерений толщины покрытий. – М.: «Издательство стандартов», 2004. – 264с.
3. Потапов А.И., Сясько В.А. Неразрушающие методы и средства контроля толщины покрытий и изделий. / Научное, методическое, справочное пособие. – СПб.: «Гуманистика», 2009. – 904с.
4. Дорофеев А.Л., Никитин А.И., Рубин А.Л. Индукционная толщинометрия. – М.: Энергия, 1969. -152с.
5. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, В.Н. Филинов и др.; Под ред. В.В. Клюева – М.: Машиностроение, 1995. – 488с.
6. Бинс К., Лауренсон П. Анализ и расчет электрических и магнитных полей. Пер. с англ., М., «Энергия», 1970. – 376с.
7. *Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. - М.: Мир, 1982. - 512 с., ил.*
8. *Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: В 3-х томах: Т. 1 - 3. Пер. с англ. - 4-е изд. перераб. и доп. - М.: Мир, 1993.*
9. Писаревский Э. А. Электрические измерения и приборы: учебник М.:Энергия, 1970
10. Шульц Ю. Электроизмерительная техника. 1000 понятий для практиков — М.:Энергоатомиздат,1989.
11. Охрана труда / Под ред. Князевского Б.А. - М.: Высш. шк., 1982. - 320 с.
12. Плахов А.М. Безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие - Томск: Изд. ШУ, 2000. - 156 с.
13. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. - М.: Энергия, 1981. -590с.
14. Труханов В. М. Надежность технических систем / В. М. Труханов. - Москва: Машиностроение-1, 2008. — 585 с

15. Ушаков И. А. Курс теории надежности систем: учебное пособие / И. А. Ушаков. - Москва: Дрофа, 2008. - 240 с.
16. Шишмарев В. Ю. Надёжность технических систем: учебник для вузов / В. Ю. Шишмарев. - Москва: Академия, 2010. - 304 с.
17. Дорохов А.Н. , Керножицкий В.А., Миронов А.Н., Шестопалова О.Л. Обеспечение надежности сложных технических систем: Учебник. - СПб.: Издательство «Лань», 2010. - 352 с.

Приложение А структурная схема



ЗГ–задающий генератор,

УМ–усилитель мощности,

ВТП–вихревой преобразователь,

БУ–буферный усилитель,

И–инвертор,

К–аналоговый ключ,

СХУ–схема управления ключом,

ИНТ–интегратор,

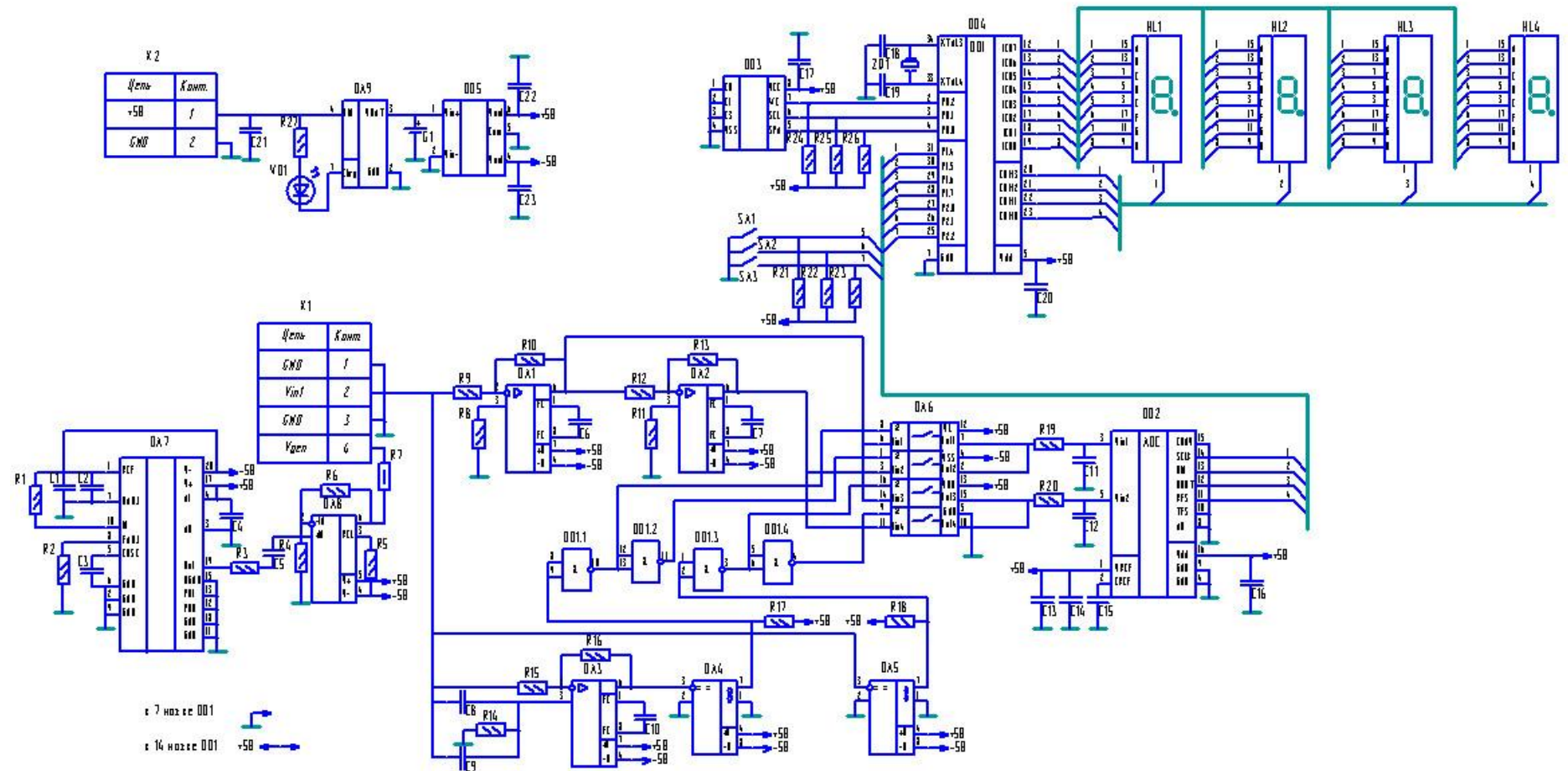
АЦП–аналогово–цифровой преобразователь,

МК–микроконтроллер,

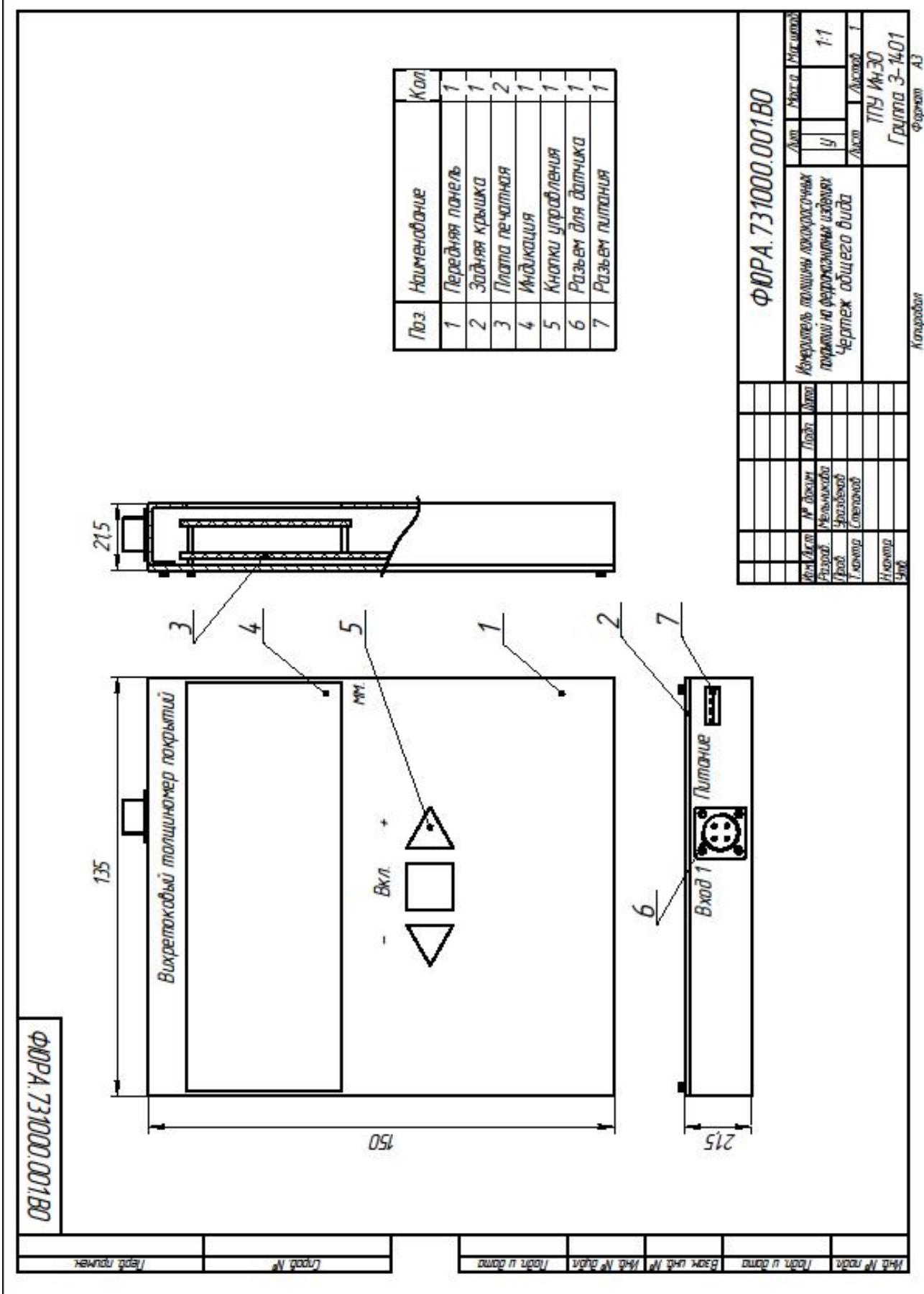
П–память,

ЖИ– жидкокристаллическая индикация.

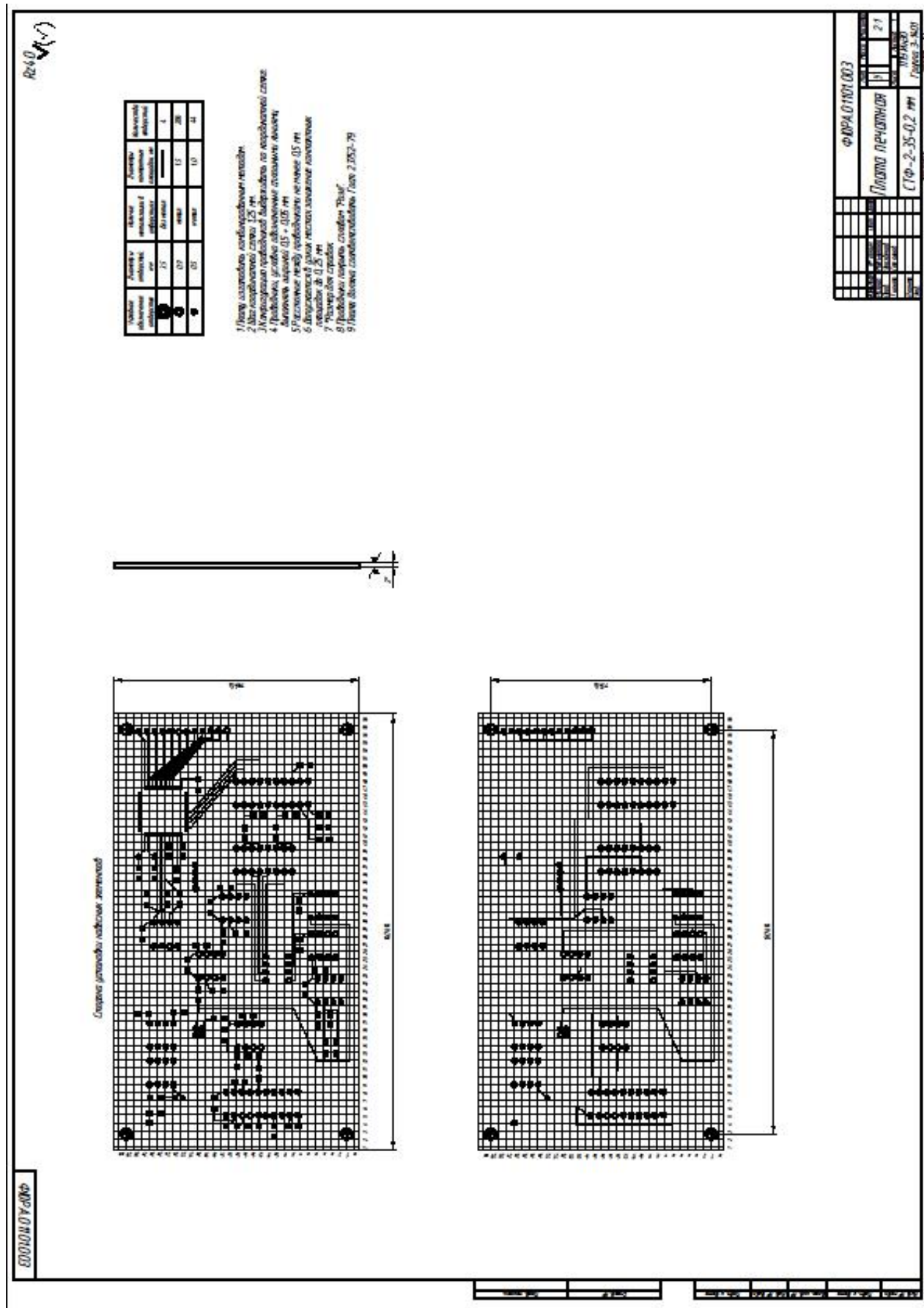
Приложение Б Принципиальная схема



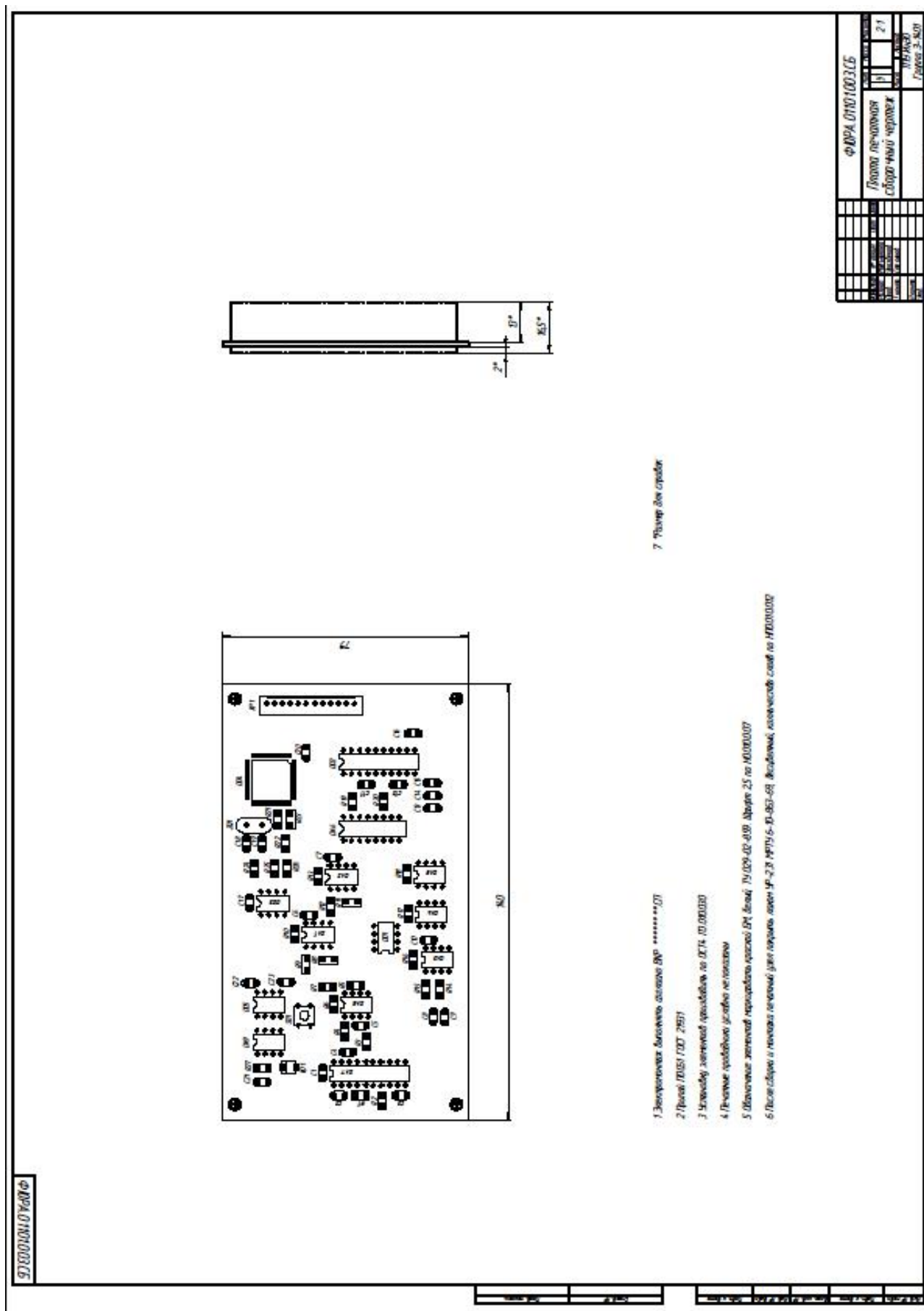
Приложение В Общий вид



Приложение Г Печатная плата



Приложение Д Сборочный чертеж печатной платы



Приложение Е Организация и планирование ИР

Этапы	Под-этапы	Содержание работ	Тэ, кол. дн	Ув, %	Г, %	Время выполнения работы (дни)														
						10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	
1	1	Получение и анализ задания	2	1,7	1,7															
	2	Подбор и изучение литературы	17	14,3	16															
2	3	Обзор методов и средств измерений	6	5	21															
	4	Разработка структурной и принци- пиальной схем	8	6,7	27,7															
	5	Расчет параметров принципиальной схемы	29	24,4	52,1															
	6	Разработка структурной схемы	29	24,4	76,5															
	7	Изготовление рабочих чертежей	19	16	92,4															
	8	Оформление отчетной документа- ции о проделанной работе	26	21,8	100															



-Руководитель



-Исполнитель