

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»  
 Отделение электронной инженерии

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Разработка цифрового динамометрического ключа с передачей данных по беспроводному каналу</b>

УДК 621.883:531.787:004.724.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А6Б	Райле Константин Николаевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Симанкин Федор Аркадьевич	к.т.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Гуляев Милий Всеволодович	—		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Иванова Вероника Сергеевна	к.т.н.		

## Планируемые результаты обучения

Код	Результат обучения
<b>Общие по направлению подготовки</b>	
P1	Применять базовые и специальные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в комплексной инженерной деятельности при разработке, исследовании, эксплуатации, обслуживании и ремонте современной высокоэффективной электронной техники
P2	Ставить и решать задачи комплексного инженерного анализа и синтеза с использованием базовых и специальных знаний, современных аналитических методов и моделей
P3	Выбирать и использовать на основе базовых и специальных знаний необходимое оборудование, инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и иных ограничений
P4	Выполнять комплексные инженерные проекты по разработке высокоэффективной электронной техники различного назначения с применением базовых и специальных знаний, современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов, соответствующих техническому заданию с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений
P5	Проводить комплексные инженерные исследования, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных с применением базовых и специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование в предметной сфере электронного приборостроения, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды
P7	Использовать базовые и специальные знания в области проектного менеджмента для ведения комплексной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности

P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, проявлять навыки руководства группой исполнителей, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, с делением ответственности и полномочий при решении комплексных инженерных задач
P10	Демонстрировать личную ответственность, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности
P11	Демонстрировать знание правовых социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности
P12	Проявлять способность к самообучению и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности
<b>Элективная группа «Инжиниринг в электронике»</b>	
P13	Проектировать, конструировать, проводить необходимые инженерные расчеты и испытания для обеспечения качественной и надежной работы высокотехнологичных электронных и механотронных приборов, систем и устройств и средств их испытаний.
P14	Проводить сопровождение технологического процесса изготовления изделий микроэлектроники.
P15	Проектировать, конструировать, проводить моделирование, верификацию и уточнение разработанных микро и наноразмерных электромеханических систем и цифровых схем для их управления включая разработку физического прототипа.

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»  
 Отделение электронной инженерии

**УТВЕРЖДАЮ:**  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Иванова В. С.  
 (Подпись)    (Дата)    (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
1А6Б	Райле Константину Николаевичу

Тема работы:

<b>Разработка цифрового динамометрического ключа с передачей данных по беспроводному каналу</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 43-64/с от 12.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	09.06.2020
------------------------------------------	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом проектирования является электронный динамометрический ключ. Устройство должно обеспечивать передачу измеренного момента по беспроводному каналу.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Аналитический обзор литературных источников.</li> <li>– Разработка принципиальной схемы устройства.</li> <li>– Разработка программы для микроконтроллера.</li> <li>– Сборка на макетной плате и тестирование</li> </ul>

	части устройства. – Разработка торсионного узла.
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	– Принципиальная схема устройства.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент и ресурсоэффективность	Спицына Любовь Юрьевна
Социальная ответственность	Гуляев Милий Всеволодович
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
-	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	13.02.2020
-------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Симанкин Федор Аркадьевич	к. т. н.		13.02.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А6Б	Райле Константин Николаевич		13.02.2020

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1А6Б	Райле Константинычу Николаевичу

<b>Школа</b>	<b>ИШНКБ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОЭИ</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Бюджет проекта не более 387000 рублей
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Расходы на ресурсы не должны превышать 3000 рублей. Значение показателя интегральной ресурсоэффективности – не менее 4 баллов.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления по страховым взносам – 30% от ФОТ

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	- Потенциальные потребители результатов НИ; - Анализ конкурентных технических решений.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	- Определение трудоемкости выполнения работ; - Расчет материальных затрат НИ; - Основная и дополнительная зарплата исполнителей темы; - Отчисления во внебюджетные фонды; - Накладные расходы.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- Расчет уравнений эффективности НИ; - Расчет уравнений сравнительной эффективности НИ.

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	11.03.2020
-------------------------------------------------------------	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН	Спицына Любовь Юрьевна	К.э.н., доцент		11.03.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1А6Б	Райле Константин Николаевич		11.03.2020

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1А6Б	Райле Константин Николаевич

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Тема ВКР:

Разработка цифрового динамометрического ключа с передачей данных по беспроводному каналу	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования.	Объектом исследования является разработка цифрового динамометрического ключа с передачей данных по беспроводному каналу (4 корпус, 35 аудитория).
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. Производственная безопасность	<p>Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды.</p> <p>Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– неудовлетворительное освещение рабочей зоны;</li> <li>– повышенный уровень напряженности электростатического поля, электромагнитных полей;</li> <li>– неудовлетворительный микроклимат;</li> <li>– повышенный уровень шума на рабочем месте;</li> <li>– опасность термического поражения;</li> <li>– поражение электрическим током.</li> </ul>
3. Экологическая безопасность	<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы, утилизация компьютерной техники и периферийных устройств);</li> <li>– решение по обеспечению экологической безопасности.</li> </ul>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий;</li> <li>– Пожаровзрывоопасность (причины,</li> </ul>

	профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).
--	------------------------------------------------------------------

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	18.03.2020
------------------------------------------------------	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин	Гуляев Милий Всеволодович			18.03.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А6Б	Райле Константин Николаевич		18.03.2020



## Реферат

Выпускная квалификационная работа 102 с., 18 рис., 28 табл., 35 источников, 6 прил.

Ключевые слова: тензорезистор, динамометрический ключ, торсион, микроконтроллер, беспроводная передача данных.

Объектом исследования является цифровой динамометрический ключ

Цель работы – спроектировать цифровой динамометрический ключ

В процессе исследования проводились обзор существующих аналогов, изучение способов беспроводной передачи данных, изучение программной среды Arduino IDE и микроконтроллера Arduino, способы проектирования торсионного узла.

В результате исследования было произведено проектирование принципиальной схемы, конструирование печатного узла устройства, трассировка печатной платы в САПР Altium Designer, сборка на макетной плате части устройства, модель торсиона, расчет себестоимости и эффективности проекта.

Степень внедрения: часть устройства собрана на макетной плате

Область применения: общее и среднее машиностроение

Устройство экономически эффективно.

В будущем планируется сборка и испытание полного устройства с торсионным узлом, а также замена выбранных ЭРИ в пользу уменьшения габаритов печатной платы.

## Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.1.007–76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ «Система стандартов безопасности труда. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация»

СП 52.13330.2011 «Свод правил. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*»

ГОСТ 12.1.038 – 82 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1)»

ГОСТ 12.1.030-81 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление (с Изменением N 1)»

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**динамометрический ключ:** Это ключ, который позволяет затянуть резьбовые соединения на узлах и агрегатах с нужным моментом силы в соответствии со стандартами производителя.

**тензорезистор:** Резистор, сопротивление которого изменяется в зависимости от его деформации.

Использованы следующие сокращения с соответствующими расшифровками:

ПП – печатная плата

ЭА – электронная аппаратура

ИМС – интегральная микросхема

ЭРИ – электрорадиоизделие

САПР – система автоматизированного проектирования

АЦП – аналого-цифровой преобразователь

ПМК – поверхностно-монтируемые компоненты

## Оглавление

Введение.....	14
1 Обзор видов динамометрических ключей.....	15
1.1 Стрелочный.....	15
1.2 Предельный (щелчковый) .....	16
1.3 Электронный.....	18
2 Обоснование структуры измерительной схемы и формирование исходных данных на конструкторско-технологическое проектирование печатного узла .	21
2.1 Мост Уитстона.....	21
2.2 Описание работы устройства по принципиальной электрической схеме и компьютерной модели .....	23
2.3 Назначение и область применения.....	28
2.4 Определение класса ЭА по объекту установки .....	28
2.5 Анализ условий эксплуатации .....	28
2.6 Анализ электрической принципиальной схемы .....	30
2.7 Анализ элементной базы .....	31
3 Конструирование печатного узла и печатной платы.....	33
3.1 Выбор типа конструкции узла .....	33
3.2 Выбор типа конструкции печатной платы .....	33
3.3 Выбор класса точности.....	34
3.4 Выбор метода изготовления ПП.....	34
3.5 Выбор материала основания ПП .....	35
3.6 Определение габаритных размеров ПП .....	35
3.6.1 Проверка габаритных размеров .....	36
3.6.2 Проверка линий связи.....	37
3.7 Расчёт элементов проводящего рисунка ПП.....	38
3.7.1 Номинальный диаметр монтажных отверстий .....	38
3.7.2 Ширина печатного проводника .....	39
3.7.3 Диаметр контактной площадки .....	41

3.7.4	Расстояние между элементами проводящего рисунка .....	41
3.8	Размещение и варианты установки ЭРИ .....	42
3.9	Трассировка ПП.....	43
3.10	Анализ печатного узла на электромагнитную и тепловую совместимости и стойкость к механическим воздействиям.....	46
4	Экспериментальная часть и моделирование торсиона .....	48
4.1	Сборка части устройства на макетной плате .....	48
4.2	Моделирование торсиона.....	49
5	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	51
5.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований .....	51
5.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования .....	51
5.1.2	Анализ конкурентных технических решений .....	52
5.1.3	Технология QuaD .....	54
5.1.4	SWOT – анализ .....	56
5.2	Планирование научно-исследовательских работ.....	60
5.2.1	Структура работ в рамках научного исследования .....	60
5.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ .....	62
5.2.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	62
5.3	Бюджет научно-технического исследования .....	63
5.3.1	Расчет материальных затрат исследования .....	64
5.3.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ .....	65
5.3.3	Основная заработная плата исполнителей темы .....	66
5.3.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	67
5.3.5	Отчисления во внебюджетные фонды .....	68
5.3.6	– Накладные расходы .....	69
5.3.7	Формирование бюджета затрат .....	69
5.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	70
6	Социальная ответственность .....	74

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	74
6.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства .....	74
6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....	75
6.2 Производственная безопасность .....	76
6.2.1 Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований .....	76
6.2.2 Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов .....	77
6.3 Экологическая безопасность.....	84
6.3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду .....	84
6.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду .....	85
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	85
6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС.....	85
6.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС.....	87
Заключение .....	90
Список использованных источников .....	91
Приложение А Печатный узел электронного динамометрического ключа. Схема электрическая принципиальная ФЮРА 1А6112.012.ЭЗ .....	95
Приложение Б Код программы для микроконтроллера.....	96
Приложение В Модель торсионного узла с наложенной сеткой конечных элементов .....	99
Приложение Г Модель напряженно-деформированного состояния торсионного узла при приложении вращающего момента (эпюра деформации).....	100
Приложение Д Временные показатели проведения научного исследования...	101
Приложение Е Календарный план-график.....	102

## **Введение**

Надежность и безопасность в эксплуатации автомобиля, самолета, химического реактора или какого-либо другого сложного и ответственного механизма, обеспечивается помимо целого ряда факторов, в том числе и нормированной затяжкой резьбовых соединений, входящих в его состав.

Для контроля величины крутящего момента при затяжке резьбовых соединений, производится большое количество динамометрических ключей и отверток, оснащенных высокоточной электроникой, обеспечивающие точность до 2 % во всем диапазоне измерений (что соответствует второму классу точности). С помощью современных динамометрических ключей возможно измерение крутящего момента в диапазоне от 0.1 Н·м до 3000 Н·м.

Данная работа направлена на разработку электронного динамометрического ключа, способного передавать измеренное значение по беспроводному каналу.

Выполнение данного проекта подразумевает под собой выполнение расчётно-пояснительной записки, в которой должны содержаться необходимые и достаточные исходные данные для конструирования печатного узла, а также необходимые для конструирования расчёты. Также необходимо разработать схему электрическую принципиальную.

После окончания конструирования печатного узла необходимо провести анализ узла на электромагнитную и тепловую совместимости, а также на стойкость к механическим воздействиям.

Также необходимо разработать торсионный узел устройства, к которому будет приклеиваться тензодатчик.

# 1 Обзор видов динамометрических ключей

## 1.1 Стрелочный

Самый простой вариант ключа. Принцип его работы основан на изгибе рычага со шкалой и неподвижного указателя. Первый рычаг используется для передачи усилия на крепеж. Второй рычаг с одной стороны прикреплен к головке ключа, а с другой стороны свободен, служа указателем, который показывает значение крутящего момента в конкретный момент времени. На картинке показано устройство динамометрического ключа подобного вида [1].

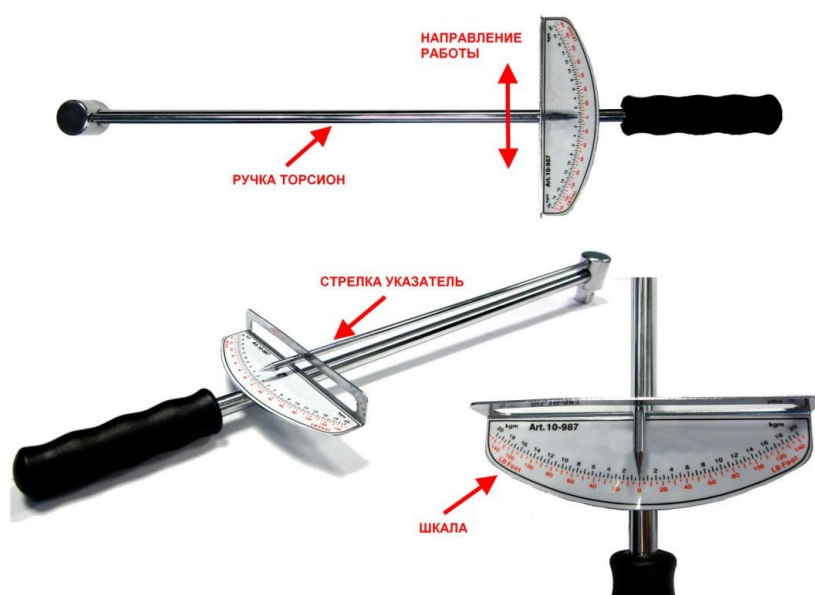


Рисунок 1.1 – Стрелочный динамометрический ключ

### Преимущества:

- Низкая стоимость;
- Шкала в обе стороны. Позволяет закручивать крепеж с правой и левой резьбой.

### Недостатки:

- Низкая точность;
- Ключи данного вида не подлежат регулировке, поэтому со временем изнашиваются и теряют точность, что делает их использование бесполезным;

- Невозможно работать в труднодоступных местах, так как необходимо всегда следить за затяжкой по стрелке;
- Отсутствует храповый механизм, как у трещотки. Ключ необходимо всегда переставлять.

Данный вид ключей не способен обеспечить высокую точность работ, поэтому, чаще всего, используется для непрофессиональных слесарно-монтажных работ и для гаражного ремонта [1].

## **1.2 Предельный (щелчковый)**

Как устроен данный динамометрический ключ? Конструкция динамометрического ключа хорошо показана на картинке. В устройство таких ключей входит специальный пружинный механизм, который позволяет установить на инструменте необходимый крутящий момент и передать его на крепеж, не превысив выставленного значения. Еще одним обязательным условием таких ключей является наличие храпового механизма, как у обычной трещотки. С помощью шкал, которые расположены на корпусе ключа, необходимый момент затяжки выставляется заранее. Как только установленный момент затяжки будет достигнут, прозвучит щелчок и сработает фиксатор, который не позволит превысить выставленную силу момента. Динамометрический ключ с трещоткой удобен в работе, так как необходимо просто закручивать соединение до щелчка [1].

Ключи имеют большую разновидность диапазонов крутящего момента от 5 до 3000 Н·м. Размеры присоединительных приводов от 1/4 дюйма до 1 дюйма.





Рисунок 1.2 – Пределный динамометрический ключ

**Преимущества:**

- Погрешность не выше 4 %;
- Простота работы обеспечивается наличием храпового механизма;
- Крутящий момент устанавливается заранее и его не нужно контролировать. Как только он будет достигнут, ключ издаст характерный щелчок;
- Удобно использовать в труднодоступных местах;
- Некоторые модели могут работать с правой и левой резьбой.

**Недостатки:**

- Требуют проверки и калибровки;
- Храповый механизм трещотки может выйти из строя, но на некоторые модели имеются специальные ремкомплекты.

Для того, чтобы ключ не испытывал максимальные нагрузки и работал долго с минимальной погрешностью, его не нужно использовать в крайних значениях диапазона крутящего момента. Поэтому рекомендуется покупать ключи с перекрытием рабочих значений.

Можно сказать, что такой вид инструмента является самой популярной разновидностью динамометрических ключей, так как они удобны в использовании и имеют невысокую стоимость [1].

Описанные выше виды ключей относятся к механическим динамометрическим ключам, которые измеряют крутящий момент за счет специальной конструкции или специального механизма. Обязательно они имеют шкалу для слежения или установки момента силы, поэтому относятся к шкальным динамометрическим ключам.

### 1.3 Электронный

Динамометрический ключ электронного типа позволяет не только передать крепежу необходимый момент, но и измерить затяжку у уже закрученного соединения. При использовании моментный электронный ключ отображает прилагаемое усилие на дисплее. На некоторых моделях при достижении установленного момента используется световая индикация или звуковой сигнал. Как и любой инструмент, такие ключи имеют свои плюсы и недостатки [1].



Рисунок 1.3 – Цифровой динамометрический ключ

#### **Преимущества:**

- На некоторых моделях возможен вывод значений крутящего момента в разных значениях силы;
- Световая или звуковая индикация;
- Высокая точность;

- Возможность замерить крутящий момент у уже закрученного соединения;

- Не требует регулировки;

- Удобство работы за счет храпового механизма;

**Недостатки:**

- Высокая стоимость;

- Требуется бережного использования.

Подобные ключи имеют большой функционал и высокую точность измерения, но из-за своей цены они используются в тех сферах, где установлены жесткие рамки по точности проводимых работ.

Наиболее популярными примерами электронных динамометрических ключей в России являются ключи фирм «Инструм-Рэнд», «Licota», «NORGAU». Проведем сравнение популярных моделей ключей этих фирм.

1. Инструм-Рэнд - DTW200-13



Рисунок 1.4 - DTW200-13

- Единицы измерения: Н·м, кгс·м, фунт силы-фут;

- Диапазон измерения: 40-200 Н·м;

- Дискретность: 0.2 Н·м;

- Масса: 1.6 кг;

- Точность:  $\pm 2\%$ .

## 2. LICOTA - AQED-N4200



Рисунок 1.5 - AQED-N4200

- Точность:  $\pm 1\%$ ;
- Единицы измерения: Н·м, фунт силы-фут, дюйм-фунт, кг·м;
- Диапазон измерения: 20-200 Н·м;
- Дискретность: 0.5 Н·м;
- Масса: 1.35 кг.

## 3. NORGAU - NTE13-200RR



Рисунок 1.6 - NTE13-200RR

- Точность:  $\pm 3\%$ ;
- Единицы измерения: Н·м, фунт силы-фут, дюйм-фунт, кг·см;
- Диапазон измерения: 10-200 Н·м;
- Дискретность: 1 Н·м;
- Масса: 1.35 кг.

## 2 Обоснование структуры измерительной схемы и формирование исходных данных на конструкторско-технологическое проектирование печатного узла

### 2.1 Мост Уитстона

Основой электронного динамометрического ключа является тензорезистор, включенный в мост Уитстона. Основной характеристикой тензорезистора, показывающей его чувствительность к изменению длины является коэффициент тензочувствительности  $K_F$  [2].:

$$K_F = \frac{\Delta R}{R} \div \frac{\Delta L}{L}, \quad (2.1)$$

где  $\Delta R$  – изменение сопротивления тензорезистора, Ом;

$R$  – начальное сопротивление недеформированного тензорезистора, Ом;

$\Delta L$  – изменение длины тензорезистора, м;

$L$  – начальная длина недеформированного тензорезистора, м;

Коэффициент тензочувствительности  $K_F$  для выбранного тензорезистора равен 2. Для платины  $K_F = 6,1$ , для некоторых специальных сплавов он может достигать до 10 [3].

Относительная деформация  $\varepsilon$  определяется следующим выражением:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}, \quad (2.2)$$

Подставив в формулу (2.1) выражение (2.2) получим:

$$K_F = \frac{\Delta R}{R} \div \varepsilon, \quad (2.3)$$

Для измерения силы с помощью тензорезисторов используют закон Гука, согласно которому при упругой деформации механическое напряжение  $\sigma$  пропорционально относительной деформации  $\varepsilon$ :

$$\sigma = K \cdot \varepsilon, \quad (2.4)$$

где  $K$  – модуль упругости, Па.

Напряжением  $\sigma$  называется физическая величина, численно равная упругой  $F$  силе, приходящейся на единицу площади поперечного сечения тела  $S$  [2]:

$$\sigma = \frac{F}{S}, \quad (2.5)$$

где  $F$  – сила, действующая на тензорезистор, Н;

$S$  – площадь поперечного сечения проводника,  $\text{м}^2$ ,

Используя приведенные выше соотношения, можно выразить величину силы через относительное изменение сопротивления тензорезистора в виде:

$$F = S \cdot K \cdot \varepsilon, \quad (2.6)$$

Если выразить относительную деформацию из выражения (2.3) и подставить в выражение (2.6), то получится следующее:

$$F = S \cdot K \cdot \frac{\Delta R}{R} \div K_F, \quad (2.7)$$

Одним из типовых значений сопротивлений тензорезисторов является 100 Ом, а одним из наиболее используемых материалов – константан, модуль упругости  $K$  которого равен  $16,3 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$ .

Обозначим максимальную нагрузку, действующую на ключ, равной 9.9 Кг (99 Н), а  $S = 3 \text{ см}^2 = 0.0003 \text{ м}^2$ . Тогда  $\varepsilon = 2.025 \cdot 10^{-4}$  м.

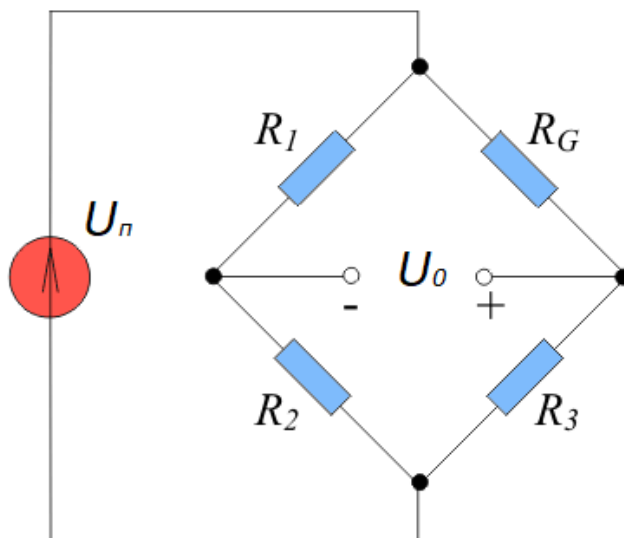


Рисунок 2.1 - Мост Уитстона с источником напряжения

Выходное напряжение  $U_0$  такого моста будет равно:

$$U_0 = U_{II} \cdot \left( \frac{R_3}{R_3 + R_G} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right), \quad (2.8)$$

где  $U_{II}$  – напряжение питания моста, В;

$R_1, R_2, R_3$  – постоянные сопротивления, Ом;

$R_G$  – сопротивление тензорезистора, Ом.

Благодаря формуле ниже можно найти отношение выходного напряжения ко входному, зная коэффициент тензочувствительности и относительную деформацию.

$$\frac{U_0}{U_{II}} = \frac{K_F \cdot \varepsilon}{4} \cdot \left( \frac{1}{1 + K_F \cdot \varepsilon / 2} \right), \quad (2.9)$$

Для 99 Н отношение выходного напряжения ко входному будет равно  $=1.012 \cdot 10^{-4}$  В.

## 2.2 Описание работы устройства по принципиальной электрической схеме и компьютерной модели

Предварительно, на этапе настройки всего устройства производится балансировка моста. Ключ обязательно должен быть разгружен. Для этого, с помощью потенциометра  $R_{34}$  проводится регулировка. Условно обозначим часть потенциометра, лежащую от ползунка ближе к резистору  $R_{32}$  как  $R^I$ , а часть потенциометра, лежащую от ползунка ближе к резистору  $R_{35}$  – как  $R^{II}$  так, чтобы выполнялось следующее соотношение при отсутствии крутящего момента на ключе:

$$\frac{R_{32} + R^I}{R_{35} + R^{II}} = \frac{R_{33}}{R_{36}} \quad (2.10)$$

До этого при настройке производится калибровка, для чего создается момент заданной величины с помощью пружинного динамометрического ключа (или любого другого) и потенциометром  $R_{13}$  регулируется напряжение на выходе операционного усилителя  $DA1$  так, чтобы это напряжение имело

строго заданную расчетную величину. Показания на двояном семисегментном индикаторе также будут соответствовать реальному значению. Таким образом происходит настройка требуемого масштаба измерения (крутизны характеристики) [см. Приложение А].

Ключ может работать только на растяжение, то есть измерять момент можно только при повороте ключа по часовой стрелке. В случае необходимости измерения момента поворотом ключа против часовой стрелки, ключ необходимо развернуть так, чтобы тензорезистор  $R36$  при работе продолжал растягиваться.

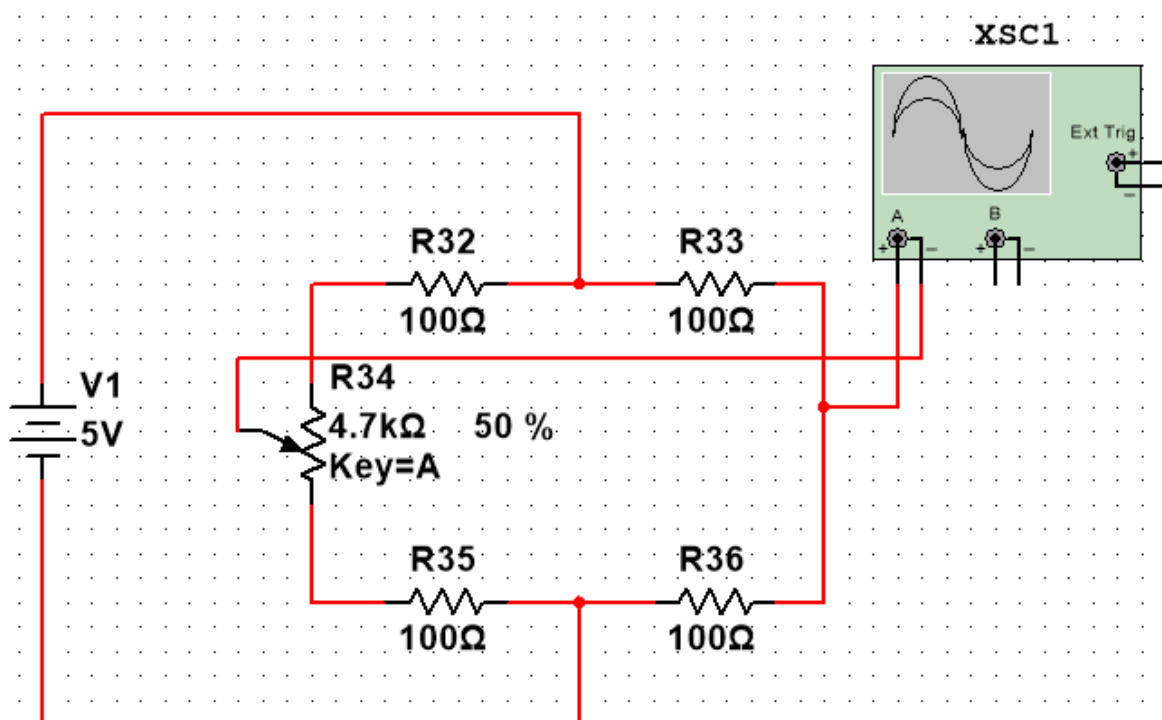


Рисунок 2.2 – Мост Уитстона

При выполнении условия баланса моста напряжение на выходе равно 3.8 фВ:



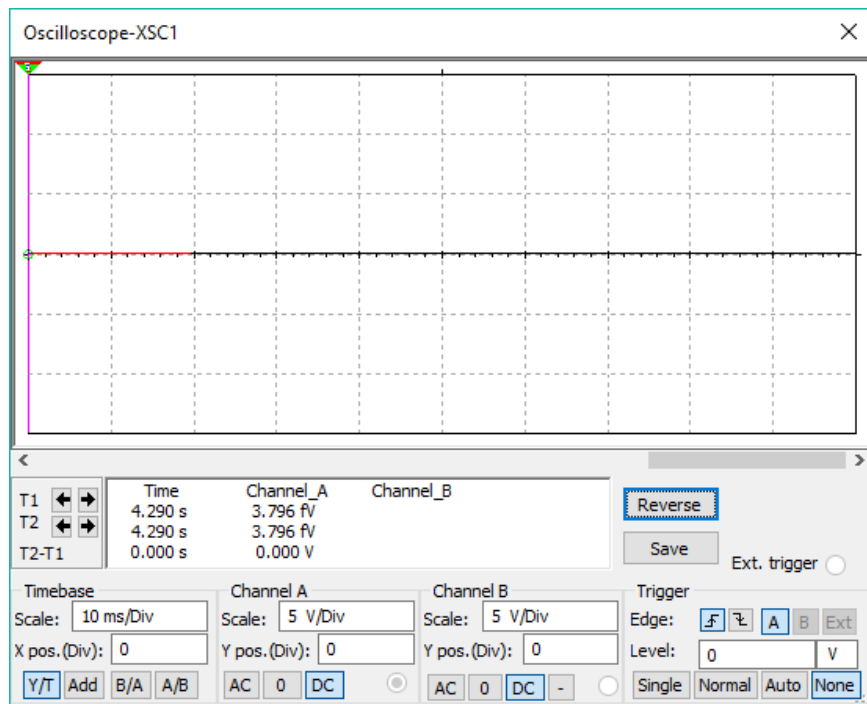


Рисунок 2.3 – Осциллограмма при выполнении условия баланса моста

При работе устройства происходит разбалансировка измерительного моста, то есть появляется напряжение на диагонали, соединенной с операционным усилителем.

На выходе регистрируем появление сигнала:



Рисунок 2.4 – Наличие сигнала после разбалансировки моста

В данном случае, из увеличения сопротивления можно сделать вывод, что сторона на которой находится тензорезистор подверглась растяжению.

Операционный усилитель специального назначения *DA1* имеет однополярное питание. Коэффициент усиления этого усилителя возможно регулировать, считая входным напряжением разность между инвертирующим и неинвертирующим входами, с помощью потенциометра *R13*. Данный операционный усилитель без обратной связи и выражение для коэффициента усиления этого усилителя имеет следующий вид [10]:

$$K = 2 \cdot \left( \frac{R_{16}}{R_{13}} \right) \quad (2.9)$$

Затем сигнал с выхода усилителя поступает на один из аналоговых входов микроконтроллера *DD4* Arduino Nano. Микроконтроллер имеет встроенный аналого – цифровой преобразователь, также к микроконтроллеру подключен Bluetooth–модуль HC-05. Микроконтроллер заранее программируется с помощью ПК и среды разработки Arduino IDE, код разработанной программы представлен в данной работе. Оцифрованный сигнал с помощью программного кода переводится в форму, удобную для восприятия человеком, то есть в конкретное значение измеряемого момента в Н·м и, затем, передается с помощью Bluetooth на смартфон или ПК. Для возможности визуального наблюдения полученной информации на смартфоне, необходимо установить любой Bluetooth–терминал. В то же время оцифрованный сигнал передается с одного из цифровых входов на сдвиговый регистр *DD5* для преобразования последовательного кода в параллельный. [см. Приложение А].

После чего цифровой параллельный сигнал идет к стандартным дешифраторам *DD2*, *DD6* для управления семисегментными индикаторами. Сигнал с выходов дешифраторов, проходя через токоограничивающие резисторы поступает на сдвоенный семисегментный индикатор *HG1*, на котором отображается величина текущего момента затяжки [см. Приложение А].

До начала работы с ключом, пользователь может занести в устройство момент, которого необходимо достичь при затяжке резьбового соединения. Для этого на панели устройства располагаются кнопки *SB1* и *SB2*. По нажатию на одну из этих кнопок в двоичные четырехразрядные счетчики с предустановкой *DD9*, *DD14* заносится двоичный код, соответствующий определенному моменту. Счетчики подключены друг к другу, следовательно, разрядность наращена до 8. Для удобства пользования и для контроля за текущим предустановленным моментом используются дешифраторы *DD3*, *DD7* управляющие семисегментным индикатором *HG2*, расположенном на панели устройства.

Цифровой сигнал с счётчиков записывается в регистр памяти *DD13* для хранения в нем предустановленного значения необходимого момента.

Подключённые друг к другу цифровые компараторы *DD10* и *DD11* необходимы для сравнения сигналов, поступающих на них одновременно со сдвигового регистра *DD5* и регистра *DD13*. При достижении момента на ключе с предустановленным ранее моментом, то есть при равенстве кода, поступающего со сдвигового регистра *DD5* с кодом, поступающим на компараторы с регистра *DD13*, на ножке 3 компаратора *DD11* появляется сигнал высокого уровня. Затем этот сигнал направляется на контакт установки единицы на выходе *RS*-триггера *DD12*, реализованный на двух элементах ИЛИ-НЕ. К выходу *RS*-триггера подключен светодиод *HL1*, который сигнализирует о равенстве момента на ключе с предустановленным ранее в регистр *DD13* моментом.

Для возможности проведения следующего измерения необходимо погасить светодиод. Для этого необходимо на выходе *RS*-триггера, к которому подключен светодиод *HL1*, установить сигнал низкого уровня, для чего на панели устройства располагается кнопка *SB3*, при нажатии на которую, на вход *RS*-триггера, подается сигнал высокого уровня [см. Приложение А].

## **2.3 Назначение и область применения**

Устройство предназначено для измерения момента затягивания ключом резьбового соединения и сигнализации о достижении предельной допустимой величины этого момента.

## **2.4 Определение класса ЭА по объекту установки**

Данное устройство относится к классу наземной электронной аппаратуры. Устройство крепится к рукоятке для удобства считывания информации и использования органов управления. При отсутствии необходимости в устройстве его можно снять с ключа и уложить в штатный упаковочный контейнер для хранения и транспортировки. Поэтому данное устройство относится к группе переносной электронной аппаратуры. Это означает, что к устройству предъявляются следующие требования: устойчивость к случайным ударам, изменению температуры, к конденсации росы, воздействию пыли. Также для устройства является актуальным требование миниатюризации [4, с.11-12].

## **2.5 Анализ условий эксплуатации**

На ЭА переносной группы, в частности на данное устройство, влияют следующие дестабилизирующие факторы:

- высокая влажность (до 90 %);
- удары с ускорением до  $50 \text{ м/с}^2$  и длительностью удара 6 мс – 12 мс при количестве ударов в минуту 5 – 30;
- изменения температуры окружающей среды от минус 50 °С до плюс 50 °С в процессе транспортировки;
- относительная влажность воздуха до 90 % при температуре +25 °С;

- вибрации с частотой 4 Гц-72 Гц и механическим ускорением  $30 \text{ м/с}^2$  в процессе транспортировки;
- удары при числе ударов в минуту 80-120 и механическом ускорении  $30 \text{ м/с}^2$  в процессе транспортировки.

Учитывая вышеперечисленные дестабилизирующие факторы можно говорить о следующих следующих деградационных процессах:

- высокая влажность (конденсация влаги на деталях) может привести к коррозии контактов и проводников, что приводит к увеличению сопротивления электрического соединения, а сам контакт нагревается. Также влажность способна вызвать набухание волокнистых материалов;
- механические воздействия, такие как удары и вибрации способны привести к отслоению печатных проводников, обрыву монтажных связей, трещинам и так далее;
- под воздействием высоких температур может произойти расширение, размягчение ПП, уменьшение электропроводности, ухудшение диэлектрических свойств. Также данный фактор может влиять на работоспособность микросхем, поэтому была подобрана элементная база, способная сохранять работоспособность при температурах, указанных в приложении к заданию;
- воздействие низких температур может привести к замерзанию влаги, приводящему к расширению микротрещин в подложках, конденсации влаги, создающей закорачивающие перемычки и условия для возникновения электрохимической коррозии, старению припоев и так далее [5, с.70-72].

Для защиты печатного узла от различных негативных влияний рекомендуется применить защитные лаковые покрытия плат, выбирать материалы ПП, устойчивые к воздействию высоких и низких температур, выбирать электронную компонентную базу, способную сохранять работоспособность в необходимом диапазоне температур и при воздействии

ударов и вибраций, увеличивать ширину и толщину проводников, выбирать влагостойкие материалы ПП.

## 2.6 Анализ электрической принципиальной схемы

В схеме присутствует как аналоговый, так и цифровой сигнал. Соответственно тип функционального узла – аналого-цифровой.

Путь распространения полезного сигнала:

Сигнал с разбалансированного четверть – моста поступает на операционный усилитель *DA1*, где усиливается и направляется на аналого-цифровой преобразователь *DD3*. После этого цифровой сигнал одновременно поступает на дешифраторы *DD1*, *DD5* для отображения текущего значения момента на сдвоенном семисегментном индикаторе *HG1* и на цифровые компараторы *DD7*, *DD8* для сравнения предустановленного значения момента, хранящегося в регистре памяти *DD7* с уже достигнутым значением. Момент предустановки возможно контролировать с помощью сдвоенного семисегментного индикатора *HG2*. Необходимое значение предустановленного момента заносится в регистр с помощью счетчиков *DD4*, *DD10*. Когда сигнал с АЦП становится равным сигналу с регистра, с компаратора *DD6* подается сигнал высокого уровня на *RS*-триггер и на светодиод *HL1*.

Теплонапряженных электрорадиоизделий в схеме нет.

Цифровые микросхемы, используемые в схеме меньше подвержены воздействиям помех, но, не смотря на это, стоит учесть влияние кондуктивных помех, так как все элементы питаются от одного и того же источника питания. Влияние внутренних кондуктивных помех возможно устранить установкой керамических конденсаторов между контактами питания и земли микросхем. Конденсаторы необходимо располагать как можно ближе к корпусам микросхем.

Для защиты от внешних электромагнитных помех рекомендуется применять металлический корпус, соединенный с общим проводом.

Защита от внутренних электромагнитных помех – максимально возможная ширина печатных проводников.

Источник питания должен обеспечивать 5 В при силе тока 0,5 А.

Уровень логического нуля в микросхемах - не более 0,4 В, логической единицы – не менее 2,4 В.

Пять используемые микросхемы рекомендуется при температуре  $235 \pm 5$  °С, продолжительность пайки  $2 \pm 0,5$  с.

Данная схема обладает хорошей помехоустойчивостью за счет использования цифровых микросхем, не требует высокой мощности источника питания.

## 2.7 Анализ элементной базы

Таблица 2.1 – Элементная база

Наименование ЭРИ	Количество, шт	Конструктивные параметры						Допустимые условия эксплуатации
		Масса, гр	Кол-во выводов, шт	Диаметр или ширина и толщина вывода, мм	Штыревые или планарные	Установочная площадь, $\text{м}^2 \cdot 10^{-6}$	Надежность, ч	Диапазон температур, °С
Керамический конденсатор К10-17Б М47 120 пФ $\pm 10$ %	1	0,14	2	0,6	Шт.	19	2000	-60...+125
Керамический конденсатор К10-17В-Н20-0,47 мкФ $\pm 10$ %	10	0,14	2	0,6	Шт.	19	2000	-60...+125

Продолжение таблицы 2.1

Керамический конденсатор К10-17В-Н20-0,47 мкФ ± 10 %	1	0,14	2	0,6	Шт.	19	2000	-60...+125
Операционный усилитель INA326	1	0,1	8	0,5	Шт.	16		-40...+85
ИМС SN74LS247	4	0,3	16	0,5	Шт.	42		-40...+85
ИМС 74НС595	1	1,9	16	0,5	Шт.	42		-55...+125
ИМС SN74192N	2	1,9	16	0,5	Шт.	42		-55...+125
ИМС MC14585А	2	1,9	16	0,5	Шт.	42		-55...+125
ИМС SN74175N	1	1,9	16	0,5	Шт.	42		-55...+125
ИМС SN7428N	1	1,5	14	0,5	Шт.	37		-55...+125
Индикатор КЕМ-5202	2	2,3	20	0,6	Шт.	475		-40...+85
Светодиод GNL-3012ED	1	0,2	2	0,5	Шт.	15		-40...+100
Диод Шоттки 1N5817 20В 1А/25А	1	0,2	2	0,5	Шт.	15		-40...+100
Резистор CF-25 (С1-4) 0.25 Вт, 15 Ом ± 5%	1	0,13	2	0,6	Шт.	14	2000	-55...+125
Резистор CF-25 (С1-4) 0.25 Вт, 100 Ом ± 5%	31	0,13	2	0,6	Шт.	14	2000	-55...+125
Резистор CF-25 (С1-4) 0.25 Вт, 1 Мом ± 5%	1	0,13	2	0,6	Шт.	14	2000	-55...+125
Потенциометр 3296W-1-104LF 4,7 кОм	2	0,8	3	0,5	Шт.	19		-60...+125
Тензорезистор КФ5П1-10-100-А-12-С1 100 Ом	1	0,3	2	0,5	Шт.	137		-70...+200
Кнопка KLS7-TS3608	3	0,6	2	1,6	Шт.	35		-20...+70
Разъем PTSM DS1070-4 М	1	0,81	4	0,6	Шт.	24		-40...+85

Таким образом, используемая элементная база полностью соответствует требованиям по температуре, при которой будет осуществляться эксплуатация устройства.



## **3 Конструирование печатного узла и печатной платы**

### **3.1 Выбор типа конструкции узла**

Данный печатный узел имеет безрамочное исполнение и крепится в блоке в четырех точках по углам.

Для данного печатного узла был выбран вариант с односторонним расположением ЭРИ [4, с.17].

Описать данный печатный узел можно следующим образом: печатный узел первого типа, это означает, что ЭРИ и МПК установлены только на верхнюю сторону ПП. ПП имеет смешанную сборку – класс С, то есть присутствуют как ПМК, так и ЭРИ, монтируемые в отверстия [5, с.80-81].

### **3.2 Выбор типа конструкции печатной платы**

По ГОСТ Р 53429-2009 данная плата является двухсторонней ПП [6, с.2].

Группа жесткости ПП определяется по ГОСТ 23752-79. Согласно приложению к заданию, на данный печатный узел во время эксплуатации и транспортировки воздействуют следующие факторы окружающей среды:

- перепад температур от минус 50 до +50 °С;
- относительная влажность воздуха до 90 % при температуре +25 °С;
- нормальное атмосферное давление.

Учитывая вышеперечисленные факторы, можно отнести данную ПП к третьей группе жесткости.

Данная группа жесткости соответствует допустимым значениям всех факторов (температуры, относительной влажности и атмосферного давления), которые будут воздействовать на устройство в процессе эксплуатации и транспортировки.

### **3.3 Выбор класса точности**

Проектируемая печатная плата должна быть надежна в эксплуатации, также она требует высококачественных материалов, более точный инструмент и оборудование. Это позволяет задать ей третий класс точности в соответствии с ГОСТ Р 53429-2009 [7, с.2].

В схеме присутствуют элементы как со штыревыми выводами, так и с планарными, также присутствуют безвыводные элементы. Шаг штыревых выводов микросхем в корпусе PDIP составляет 2,54 мм. Ограничения, накладываемые на габариты ПП, позволяют сделать плотность монтажа невысокой [4, с.19].

### **3.4 Выбор метода изготовления ПП**

В данном печатном узле используются корпусные ИМС и ЭРЭ, а также ПМК. Конструкторская сложность данного печатного узла средняя. Ранее был определен третий класс точности. Также было определено, что печатная плата двухсторонняя, на диэлектрическом основании. Исходя из этого, можно определить комбинированный позитивный метод изготовления [5, с.86-87]. Изготовление возможно с помощью станков с числовым программным управлением.

Преимущества комбинированного позитивного метода изготовления заключаются в следующем:

- исключается возможность срыва контактных площадок при сверлении отверстий;
- не требуется применение специальных контактирующих приспособлений при металлизации отверстий;
- снижается вредное действие химических растворов на изоляционное основание и на прочность сцепления фольги с основанием платы.

### **3.5 Выбор материала основания ПП**

Согласно выбранному методу изготовления возможен выбор нескольких разновидностей материалов.

Наиболее подходящим для данной печатной платы является фольгированный стеклотекстолит. Стеклотекстолит фольгированный марки СФ-2-35Г (ГОСТ 10316-78) - представляет собой лист, изготовленный на основе стеклотканей, пропитанных связующим на основе эпоксидных смол и облицованный с двух сторон гальваностойкой медной фольгой толщиной 35 мкм. Данный материал рекомендуется для изготовления печатных схем, плат и других изделий для работы в условиях нормальной и повышенной относительной влажности окружающей среды при температуре от -60 °С до +85 °С [8, с.3].

Изготавливается толщиной от 0,5 до 3,0 мм с основным размером листов 920x1030 мм, имеет очень высокие механические и электроизоляционные свойства, хорошо поддается механической обработке резкой, сверлением, штамповкой.

### **3.6 Определение габаритных размеров ПП**

Требуемые габаритные размеры ПП были подобраны заранее и после проектирования скорректированы в сторону уменьшения.

Заданные параметры:

- ширина - 90 мм,
- длина - 120 мм.

Площадь ПП - 10800 мм<sup>2</sup>.

### 3.6.1 Проверка габаритных размеров

Необходимо проверить, соотносятся ли требуемые габаритные размеры с суммой установочных площадей компонентов. Для этого сначала необходимо определить площадь, необходимую для установки всех элементов на плату.

На ранних стадиях проектирования и при разработке монострукции ПУ площадь ПП можно определить по следующей формуле:

$$S_{\Sigma} = K_{S\Sigma} \sum_{i=1}^n S_{yi} + S_B, \quad (3.1)$$

где  $K_{S\Sigma}$  – коэффициент дезинтеграции;

$n$  – количество ЭРИ;

$S_{yi}$  – установочная площадь  $i$ -го ЭРИ,  $\text{мм}^2$ ;

$S_B$  – площадь вспомогательных зон,  $\text{мм}^2$ .

Установочную площадь компонента находится как площадь прямоугольника, размеры которого определяются внешними предельными очертаниями установочной проекции компонента на поверхность ПП (см. Таблицу 2.1.).

Установочная площадь всех компонентов равна  $2488 \text{ мм}^2$ . Зададимся коэффициентом дезинтеграции по площади  $K_{S\Sigma}$  равным двум, учитывая проводники, которые необходимо разместить на плате. Чем ниже коэффициент дезинтеграции, тем выше плотность компоновки. Полученная площадь  $S_{\Sigma}$  равна  $4976 \text{ мм}^2$ .

Полученная площадь меньше той, которая была заранее задана. На основании этого можно сделать вывод, что все ЭРИ могут быть размещены на верхнем слое ПП, и что линейные размеры платы изменять не нужно.

### 3.6.2 Проверка линий связи

При проектировании ПП необходимо убедиться, что все линии связи будут электрически короткими. Для цифровых устройств, при проверке линий связи, необходимо сначала определить время распространения сигнала по самой длинной в пределах платы линии связи  $t_{\text{лmax}}$  по формуле:

$$t_{\text{лmax}} = \frac{l}{c}, \quad (3.2)$$

где  $l$  – длина линии, м;

$c$  – скорость света, м/с.

Затем необходимо сравнить время распространения сигнала по самой длинной в пределах платы линии связи  $t_{\text{лmax}}$  с длительностью фронта импульсов передаваемых сигналов  $\tau_{\text{ф}}$ . У микросхем компании Texas Instruments, используемых в данной схеме время переключения составляет 150 нс. Линии считаются электрически длинными, если  $0,1 \cdot t_{\text{лmax}} \leq \tau_{\text{ф}}$ .

Для данной схемы допустим, что  $0,1 \cdot t_{\text{лmax}} = \tau_{\text{ф}}$ , тогда электрически длинная линия будет равна:

$$l = \frac{c \cdot \tau_{\text{ф}}}{0,1} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 150 \cdot 10^{-9}}{0,1} = 450 \text{ м}, \quad (3.3)$$

Максимальная длина линии, используемая в данном печатном узле значительно меньше полученного значения. Это означает, что электрически длинные линии связи не используются.

Зная установочную площадь ЭРИ, допустимую длину проводника, сверяясь с ГОСТ 10317-79, можно утвердить линейные размеры ПП [9, с.2].

### 3.7 Расчёт элементов проводящего рисунка ПП

#### 3.7.1 Номинальный диаметр монтажных отверстий

Номинальный диаметр монтажных отверстий  $d$  устанавливается из следующего соотношения:

$$d - |\Delta d_{\text{но}}| \geq d_3 + r, \quad (3.4)$$

где  $\Delta d_{\text{но}}$  – нижнее предельное отклонение диаметра отверстия, для третьего класса точности составляет 0,1 мм;

$d_3$  – максимальное значение диаметра вывода ЭРИ, устанавливаемого на ПП. Для данной ПП составляет 0,6 мм.

$r$  – разность (гарантированный зазор), зададимся равным 0,4 мм – значение, возможное как для ручной установки ЭРИ, так и для автоматической [4, с.24].

Данному соотношению будет соответствовать диаметр отверстия  $d$  равный 1,1 мм.

Далее необходимо убедиться в том, что полученный диаметр не меньше, чем минимально допустимый диаметр  $d_0$ . Диаметр  $d_0$  определяется из соотношения:

$$d_0 \geq H \cdot \gamma, \quad (3.5)$$

где  $H$  – толщина ПП, для данной ПП составляет 1,5 мм;

$\gamma$  – отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине ПП, для данной ПП третьего класса точности равен 0,33.

Из данного соотношения следует, что минимальный диаметр отверстия равен 0,5 мм.

Таким образом, номинальный диаметр монтажных отверстий не меньше, чем минимально допустимый диаметр для данной толщины ПП.

Отверстия для элементов, имеющих другой диаметр выводов, были рассчитаны из соотношения (3.4) или выбраны из конструктивных соображений.

### 3.7.2 Ширина печатного проводника

Необходимо определить ширину проводника сигнальной цепи, исходя из требований по тепловыделению так, чтобы перегрев проводника относительно окружающей среды за счет выделяющегося в нем джоулевого тепла не превысил допустимого уровня.

При расчетах сечение проводника принимается прямоугольным.

Наименьшее номинальное значение ширины печатного проводника  $t$ , мм, рассчитывается по формуле:

$$t = t_{minD} + |\Delta t_{но}|, \quad (3.6)$$

где  $t_{minD}$  – минимально допустимая ширина проводника, рассчитываемая в зависимости от плотности тока (токовой нагрузки);

$\Delta t_{но}$  – нижнее предельное отклонение ширины печатного проводника. Для третьего класса точности данный параметр составляет 0,1 мм.

Величина  $t_{minD}$  определяется по формуле:

$$t_{minD} = \frac{I_{max}}{j_{доп} \cdot h}, \quad (3.7)$$

где  $I_{max}$  – действующее максимальное значение тока, протекающего в проводниках. Для данной схемы составляет 16 мА;

$j_{доп}$  – допустимая плотность тока. Для гальваностойкой медной фольги, используемой в данной ПП, зададимся величиной этого параметра 80 А/мм<sup>2</sup>;

$h$  – толщина печатного проводника, в данном случае 35 мкм.

Конструкция печатного проводника позволяет задаться высокой плотностью тока, так как она обеспечивает почти идеальные условия для теплоотвода [4, с.25].

Исходя из формулы (3.7), минимально допустимая ширина проводника  $t_{minD}$  составляет 5,7 мкм. Тогда наименьшее номинальное значение ширины печатного проводника  $t$  будет равно 0,1057 мм. Наименьшее номинальное значение ширины печатного проводника  $t$  для третьего класса точности

составляет 0,25 мм. Так как наименьшее номинальное значение ширины печатного проводника для третьего класса точности более чем в два раза больше рассчитанного значения, то можно сделать вывод о том, что ширины проводников, которые будут использоваться в сигнальных цепях, достаточно для теплоотвода.

Теперь необходимо рассчитать минимально допустимую ширину проводников, формирующих шины питания и общего провода. При расчёте, помимо требований по тепловыделению, необходимо учесть требования по падению напряжения на этих проводниках и обеспечения электромагнитной совместимости.

Минимально допустимая ширина проводника шин питания и общего провода с учётом требований по падению напряжения определяется из следующего соотношения:

$$t_{minD} = \frac{\rho \cdot I_{max} \cdot l}{h \cdot U_{доп}}, \quad (3.8)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление слоя меди, равное  $1,9 \cdot 10^{-8}$  Ом·м;

$I_{max}$  – действующее максимальное значение тока, протекающего в проводниках;

$l$  – максимально допустимая длина проводника, установим ее равной 210 миллиметрам, исходя из линейных габаритов платы.

Примем  $U_{доп}$  равным  $0,2 \cdot U_n$  (здесь  $U_n$  – напряжение питания ИМС, равное 5 В). Тогда параметр  $U_{доп}$  равен 1 В.

Тогда, из соотношения (3.8), минимально допустимая ширина проводника шин питания и общего провода  $t_{minD}$  получается равной 1,8 мкм.

Так как наименьшее номинальное значение ширины печатного проводника для третьего класса точности значительно больше рассчитанного значения, то можно сделать вывод о том, что ширины проводников, формирующих шины питания и общего провода, достаточно для теплоотвода и учёта требований по падению напряжения.



### 3.7.3 Диаметр контактной площадки

Необходимо определить наименьшее номинальное значение диаметра контактной площадки по формуле:

$$D = d + \Delta d_{\text{во}} + 2 \cdot b + \Delta t_{\text{во}} + 2 \cdot \Delta d_{\text{тр}} + \left[ T_d^2 + T_D^2 + \Delta t_{\text{но}}^2 \right]^{0.5}, \quad (3.9)$$

где  $\Delta d_{\text{во}}$  – верхнее предельное отклонение диаметра отверстия. Для данного класса точности оно составляет 0 мм;

$b$  – гарантийный поясок. Для данного класса точности ПП он составляет 0,1 мм;

$\Delta d_{\text{тр}}$  – величина подтравливания диэлектрика в отверстии. Для ДПП этот параметр равняется нулю;

$\Delta t_{\text{во}}$  – верхнее предельное отклонение ширины проводника. Для данного класса точности оно составляет 0,1 мм;

$\Delta t_{\text{но}}$  – нижнее предельное отклонение ширины проводника. Для данного класса точности оно составляет минус 0,1 мм;

$T_d$  – позиционный допуск расположения осей монтажных отверстий. Для данного класса точности оно составляет 0,08 мм;

$T_D$  – позиционный допуск расположения центров КП. Для третьего класса точности данный параметр составляет 0,15 мм;

Таким образом, исходя из формулы (3.9), минимальный диаметр контактной площадки  $D = 1,59$  мм. Также минимальный диаметр контактной площадки можно взять из таблицы [5, с.114-115]. Определим  $D = 1,7$  мм.

### 3.7.4 Расстояние между элементами проводящего рисунка

Наименьшее номинальное расстояние между элементами проводящего рисунка:

$$S = S_{\text{minD}} + \Delta t_{\text{во}} + \frac{T_l}{2}, \quad (3.10)$$

где  $S_{min D}$  – минимальное допустимое расстояние между двумя соседними проводниками. Для фольгированного стеклотекстолита при напряжении в 25 В данное расстояние составляет от 0,1 до 0,2 мм включительно;

$\Delta t_{80}$  – верхнее предельное отклонение ширины проводника. Для данного класса точности оно составляет 0,1 мм;

$T_1$  – позиционный допуск расположения печатных проводников относительно соседнего элемента проводящего рисунка, который учитываешь лишь при наличии проводников в узком месте. Для третьего класса точности он составляет 0,05 мм.

Таким образом, минимальное расстояние между двумя проводниками  $S$  для данной ПП составляет 0,325 мм. Допустимые рабочие напряжения для данного расстояния между элементами проводящего рисунка и используемого материала (ГФ) значительно выше напряжений, используемых в данной схеме, что позволяет использовать меньшее расстояние при необходимости.

### 3.8 Размещение и варианты установки ЭРИ

Перед трассировкой платы необходимо эффективно разместить элементы на печатную плату.

Установку ЭРИ и ИМС на печатную плату производить в соответствии с ГОСТ 29137-91 Формовка выводов и установка изделий электронной техники на печатные платы [10, с.6].

Керамические конденсаторы и резисторы предполагается устанавливать на плату по варианту 140 в соответствии с ГОСТ 29137-91.

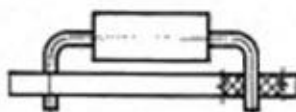


Рисунок 3.1 – Вариант установки 140 по ГОСТ 29137-91

Все микросхемы предполагается устанавливать на плату по варианту 330 в соответствии с ГОСТ 29137-91.

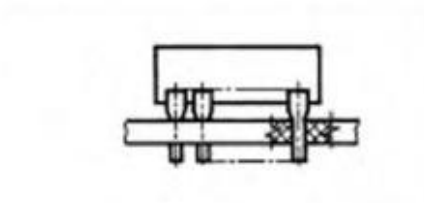


Рисунок 3.2 – Вариант установки 330 по ГОСТ 29137-91

### 3.9 Трассировка ПП

В качестве системы автоматизированного проектирования для трассировки печатной платы была выбрана программа Altium Designer [11]. Данная САПР позволяет спроектировать ПП на основе схемы электрической принципиальной.

Перед началом проектирования и трассировки платы была создана библиотека элементов, которые используются при проектировании [12]. Каждому компоненту были установлены монтажные отверстия и контактные площадки. Также, каждому компоненту была присвоена 3Д – модель, с размерами, соответствующими реальным размерам элемента [11].

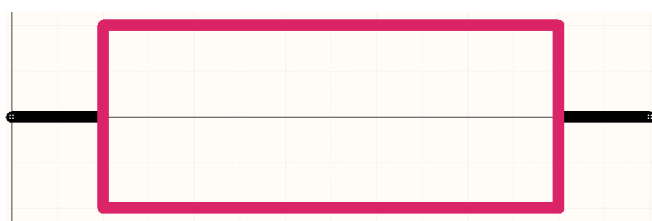


Рисунок 3.3 – Условно графическое обозначение резистора

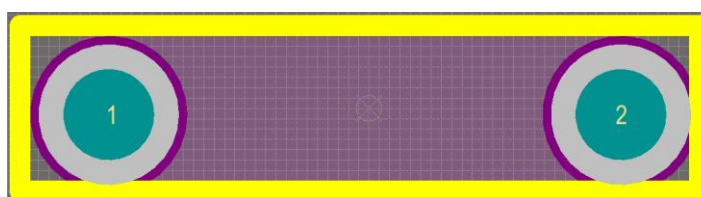


Рисунок 3.4 – Посадочное место резистора

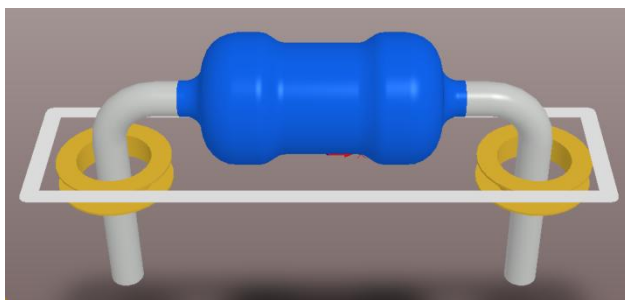


Рисунок 3.5 – 3Д – модель резистора, соответствующая посадочному месту

Затем была собрана принципиальная схема устройства с использованием созданных библиотек, для задания связей на печатной плате.

Элементы на плате были размещены по принципу удобства пользования динамометрическим ключом. Кнопка сброса SB3 располагается рядом со светодиодом, сигнализирующим о достижении необходимого момента, вдали от других кнопок, чтобы пользователь не перепутал их. Два сдвоенных семисегментных индикатора HG1 и HG2 расположены один под другим для удобства пользования. Индикатор HG1 показывает достигнутый в настоящее время момент, в то время как HG2 показывает момент, предустановленный до начала работы. Во время поворота ключа пользователь будет видеть какой момент уже достигнут и насколько достигнутый момент далек от установленного ранее. При приближении достигнутого момента к предустановленному пользователь может замедлить движение руки, чтобы не пропустить достижение равенства двух моментов: достигнутого и предустановленного.

Также, в целях борьбы с кондуктивными помехами, рядом с корпусом каждой ИМС расположен высокочастотный конденсатор.

После эффективного размещения элементов была произведена трассировка платы. Был выбран шаг сетки 1,25 мм. Затем было произведено необходимое соединение всех контактных площадок проводниками соответствующей толщины. Чтобы избежать пересечения проводников, в некоторых местах были использованы переходные отверстия [11].

В результате были получены: РСВ документ – печатная плата, 3Д модель печатного узла, на основе которой был построен сборочный чертеж.

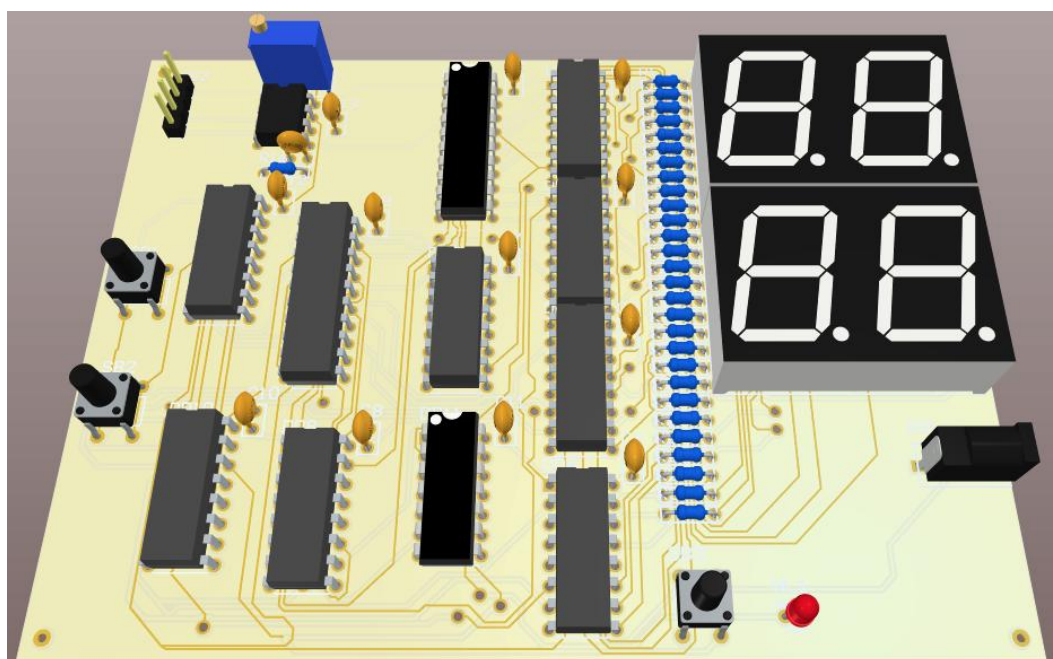


Рисунок 3.6 – 3Д – модель. Вид сверху

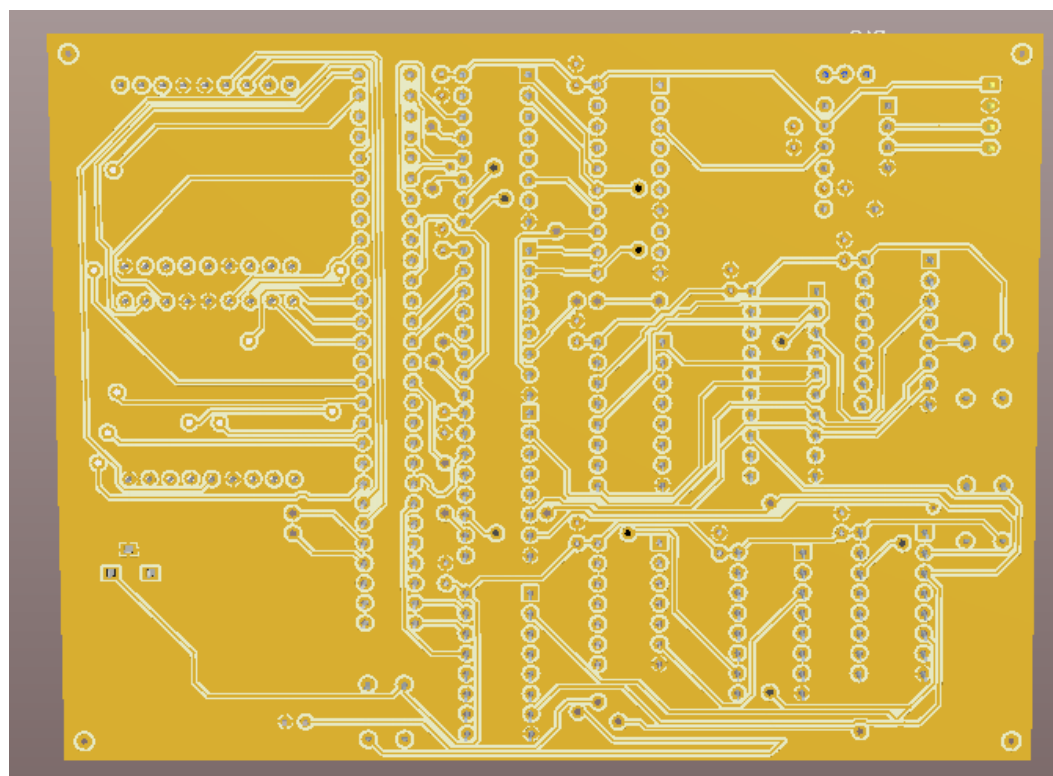


Рисунок 3.7 – 3Д – модель. Вид снизу

Стоит отметить, что из-за большой площади участка общего провода повышается помехозащищенность печатного узла.

### **3.10 Анализ печатного узла на электромагнитную и тепловую совместимости и стойкость к механическим воздействиям**

В спроектированном печатном узле, в основном, используются цифровые устройства, что положительно сказывается на обеспечении электромагнитной совместимости, но, тем не менее, не исключает возможности влияния помех на данный узел.

Все элементы узла питаются от одного источника питания, что обязывает разместить как можно ближе к каждому корпусу микросхемы высокочастотный конденсатор (керамический). Наилучшим вариантом будет припаять выводы конденсатора к выводам питания и общего провода микросхем, но это является не лучшим вариантом с точки зрения эстетики.

Печатная плата представляет собой прямоугольник с длиной 120 мм и шириной 90 мм. ЭРИ и ИМС были размещены на плате соответственно расположению на схеме электрической принципиальной. Все органы управления вынесены на переднюю панель.

Также была обеспечена тепловая совместимость в рамках заданного диапазона температур, то есть все подобранные компоненты работают в соответствии с заявленными параметрами в рамках температуры, при которой будет происходить эксплуатация устройства. ПП защищена от воздействующих на нее природных факторов, а именно обладает влагозащищённостью и пылезащищённостью за счет покрытия лаком. Данная печатная плата закреплена на корпусе с помощью винтов, которые устанавливаются в соответствующие отверстия.

Суммарная мощность, потребляемая устройством от источника питания, составляет 185 мВт. Вся эта мощность будет выделяться на плату и сбрасываться в виде тепла. Так как известна площадь платы, можно легко определить плотность теплового потока  $q$ :

$$q = \frac{P_{\Sigma}}{S}, \quad (3.11)$$

где  $P_{\Sigma}$  – суммарная мощность, выделяемая на плате;

$S$  – площадь платы, за исключением поверхности, занимаемой разъемами;

Таким образом, плотность теплового потока  $q$  для данной ПП составляет  $17,1 \text{ Вт/м}^2 = 0,0171 \text{ мВт/мм}^2$ . Полученное значение является средним для платы, так как, очевидно, в каждой точке платы значение этого параметра будет разным. Наиболее теплонапряженными элементами данной схемы являются семисегментные индикаторы. Мощность, выделяемая на каждом из них, равняется 40 мВт. Очевидно, даже на самых теплонапряженных элементах схемы не будет перегрева, соответственно никаких специальных мер борьбы с перегревом не требуется.

В сконструированном печатном узле отсутствуют теплонапряженные элементы. Теплоотвод осуществляется путем конвекции, что является достаточным для данного печатного узла. Также сброс тепла будет происходить непосредственно на плату через ножки элементов.

Для транспортировки устройства необходим специальный кожух.

## **4 Экспериментальная часть и моделирование торсиона**

### **4.1 Сборка части устройства на макетной плате**

На макетной плате была собрана часть устройства.

Для добавления передачи данных по беспроводному каналу в принципиальную схему устройства был добавлен микроконтроллер Arduino Nano. Так как микроконтроллер именно этой модели найти не удалось, для реализации практической части был взят более популярный аналог Arduino Uno.

Для осуществления передачи данных по Bluetooth, к микроконтроллеру был подключен Bluetooth – модуль HC-06.

В качестве семисегментного индикатора был взят четырехразрядный индикатор с общим катодом SH4401AS.

В качестве источника аналогового сигнала был взят потенциометр В1К.

Удалось реализовать передачу аналогового сигнала с потенциометра, оцифровку этого сигнала с помощью АЦП микроконтроллера и дальнейшую передачу численных значений на семисегментные индикаторы и, с помощью Bluetooth, на телефон или любое другое устройство, обладающее Bluetooth-модулем.

На фотографии ниже представлена работа собранной части устройства. При повороте ручки потенциометра меняются показания семисегментного индикатора, а также показания в приложении Bluetooth-терминала на телефоне. Соответствие определенного напряжения определенному значению на индикаторе и в Bluetooth – терминале задается программно. В данном случае задано следующее соответствие: 0 В – 0 на индикаторе, 5 В – 99 на индикаторе. На фотографии показана передача данных при таком повороте ручки потенциометра, когда напряжение на аналоговом входе микроконтроллера соответствует 14 на индикаторе и в Bluetooth – терминале.



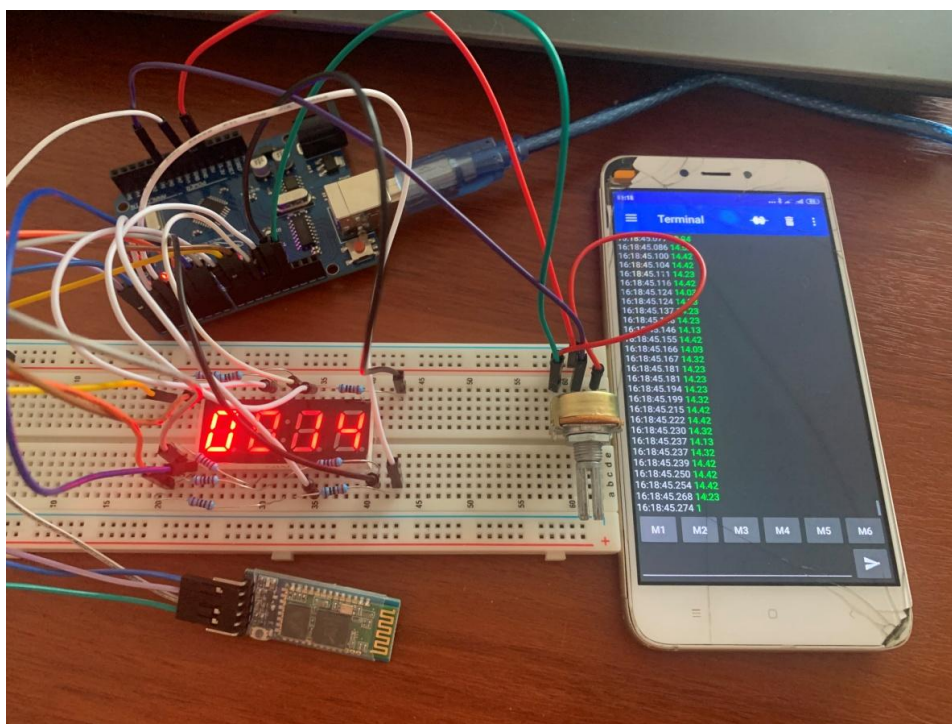


Рисунок 4.1 – Работа части устройства

Код программы для микроконтроллера на языке программирования C++ представлен в приложении Б.

## 4.2 Моделирование торсиона

В САПР SolidWorks было проведено моделирование торсиона.

Тензорезистор клеится на внешнюю часть торсиона, а именно на боковые балки и, при воздействии вращающего момента на торсион, растягивается вместе с ним, изменяя свое сопротивление. Изменяя геометрические характеристики торсионного узла и, зная характеристики выбранного тензорезистора, а именно максимальное растяжение, можно устанавливать максимальный момент, который будет измерять разрабатываемый электронный динамометрический ключ.

С помощью метода конечных элементов был проведен статический анализ при котором одно из оснований торсиона фиксируется, а к другому прикладывается вращающий момент. Модель с наложенной сеткой конечных

элементов представлена на рисунке 4.2 [Приложение В]. Количество элементов сетки составило 17132. По результатам анализа при прикладывании момента 50 Н·м, представленным на рисунке 4.3, можно судить о том, что моделируемый торсион, в месте крепления тензорезистора, растянется примерно на 0,1 мм [Приложение Г]. В качестве материала модели была выбрана легированная сталь.

## **5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

В данном разделе необходимо определить продолжительность выполнения работ, расчет трудовых затрат на выполнение проекта. Для уменьшения затрат следует организовать эффективное производство, что невозможно без экономических обоснований всех инженерных решений.

### **5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований**

#### **5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Надежность и безопасность в эксплуатации автомобиля, самолета, химического реактора или какого-либо другого сложного и ответственного механизма, обеспечивается помимо целого ряда факторов, в том числе и нормированной затяжкой резьбовых соединений, входящих в его состав. Темой научной исследовательской работы является разработка цифрового динамометрического ключа с передачей данных по беспроводному каналу. В системе автоматизированного проектирования радиоэлектронных средств Altium Designer выполняется разработка проекта печатной платы устройства. Данное устройство является прецизионным средством измерения, поэтому

область применения можно выделить как один из двух наиболее важных критериев. В качестве другого наиболее важного критерия целесообразно выбрать месторасположение производства. Потенциальными потребителями могут являться машиностроительные предприятия, производящие различные типы машин, орудий, приборов, а также продукцию оборонного назначения.

Результаты построения карты сегментирования рынка представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1- Карта сегментирования рынка

	Область применения			
	Продукция оборонного назначения	Точное машиностроение	Общее машиностроение	Среднее машиностроение
Зарубежные				
Отечественные				

По таблице 5.1 можно сделать следующий вывод: наиболее выгодно применить результаты научного исследования для отечественных предприятий, занимающихся производством и поставкой продукции в интересах Министерства обороны РФ, а также производством и поставкой продукции гражданского назначения, относящейся к точному машиностроению.

### 5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов [18].

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в таблице 5.2.

В качестве конкурирующих разработок были выбран ключ Sealey STW309, обозначенный в карте оценки как  $B_{K1}$ , а также KING TONY 34467-1AG, обозначенный в карте оценки как  $B_{K2}$ . Эти ключи обладают наиболее схожим диапазоном измеряемого крутящего момента с разрабатываемым устройством, имеют схожую систему крепления тензорезистора и электронную компонентную базу, а также являются популярными среди пользователей. Разрабатываемое устройство обозначено в карте оценки как  $B_{\Phi}$ .

Таблица 5.2 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_{\Phi}$	$B_{K1}$	$B_{K2}$	$K_{\Phi}$	$K_{K1}$	$K_{K2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,15	4	5	5	0,6	0,75	0,75
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	3	5	0,4	0,3	0,5
3. Энергоэкономичность	0,05	3	4	5	0,15	0,2	0,25
4. Точность измерений	0,2	5	4	4	1	0,8	0,8
5. Надежность	0,15	5	4	3	0,75	0,6	0,45
6. Помехоустойчивость	0,1	4	5	3	0,4	0,5	0,3
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1 Конкурентоспособность продукта	0,05	4	5	4	0,2	0,25	0,2
2 Уровень проникновения на рынок	0,04	3	5	5	0,12	0,2	0,2
3 Цена	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
4 Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	5	3	5	0,3	0,18	0,3
Итого	1	42	38	34	4,42	4,08	4,15

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (5.1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Таким образом, конкурентоспособность разработки составила 4,42, в то время как двух других аналогов 4,08 и 4,15 соответственно. Результаты показывают, что данная научно-исследовательская разработка является конкурентоспособной и имеет преимущества по таким показателям, как точность измерений, надежность, цена.

### 5.1.3 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научноисследовательский проект. В основе технологии QuaD лежит нахождение средневзвешенной величины следующих групп показателей [18]:

#### 1. Показатели оценки коммерческого потенциала разработки:

- влияние нового продукта на результаты деятельности компании;
- перспективность рынка;
- пригодность для продажи;
- перспективы конструирования и производства;
- финансовая эффективность;
- правовая защищенность.

#### 2. Показатели оценки качества разработки:

- динамический диапазон;
- вес;
- ремонтпригодность;

- энергоэффективность;
- долговечность;
- эргономичность;
- унифицированность;
- уровень материалоемкости разработки.

С помощью анализа конкурентных технических решений можно выявить сильные и слабые стороны разработок конкурентов. Проведем данный анализ с помощью оценочной карты, представленной в таблице 5.3.

Таблица 5.3 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
1	2	3	4	5	6
<b>Показатели оценки качества разработки</b>					
1. Помехоустойчивость	0,1	75	100	0,75	7,5
2. Надежность	0,15	90	100	0,9	13,5
3. Безопасность	0,1	85	100	0,85	8,5
4. Ремонтопригодность	0,1	80	100	0,8	8
5. Энергоэффективность	0,05	70	100	0,7	3,5
<b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b>					
6. Конкурентоспособность продукта	0,1	80	100	0,8	8
7. Уровень проникновения на рынок	0,1	60	100	0,6	6
8. Цена	0,15	90	100	0,9	13,5

Продолжение таблицы 5.3

9. Предполагаемый срок эксплуатации	0,15	90	100	0,9	13,5
Итого	1				82

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i, \quad (5.2)$$

где  $P_{cp}$  – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – средневзвешенное значение  $i$ -го показателя.

Показатель  $P_{cp} = 82$  говорит о том, что разработка считается перспективной и следует развивать ее.

#### 5.1.4 SWOT – анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Он проводится в несколько этапов. Первый этап помогает выявить сильные и слабые стороны проекта, также возможности и угрозы (Таблица 5.4) [18].

Таблица 5.4 – SWOT- анализ

	Сильные стороны:	Слабые стороны:
	С1. Высокая точность измерений	Сл1. Возможность измерять момент только в одну сторону ("по" или "против" часовой стрелки)
	С2. Удобство эксплуатации (световая индикация;	Сл2. Зависимость от иностранного производителя



Продолжение таблицы 5.4

	визуальное наблюдение как текущего момента, так и (предустановленного)	элементной базы
	С3. Способность сохранять работоспособность в широком диапазоне температур	Сл3. Необходима точная калибровка пьезодатчиков
	С4. Возможность настроить коэффициент чувствительности операционного усилителя	Сл4. Сложность организации процесса массового производства
	С5. Высокая ударопрочность	
<b>Возможности:</b>		
В1. Повышение стоимости конкурентных разработок по отношению к разрабатываемому проекту	Улучшение характеристик устройства позволит увеличить спрос, а также произвести замещение импортной продукции на отечественную.	Использование инновационной структуры ТПУ позволит провести необходимые дополнительные исследования, что в свою очередь
В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт (в том числе, из-за малого наличия конкурентов в стране).		может увеличить интерес у производственных предприятий.
В3. Привлечение специалистов из ТПУ для работы над проектом		
В4. Замена иностранной компонентной базы на отечественную		
<b>Угрозы:</b>		
У1. Отсутствие спроса на устройство	Снизить конкуренцию за счет простоты и удобства использования	Повышение стоимости компонентной базы негативно скажется на стоимости устройства, что
У2. Повышение стоимости		

Продолжение таблицы 5.4

компонентной базы		
У3. Несвоевременное финансирование проекта	продукции	приведет к падению спроса на него. Замена использующихся
У4. Введение дополнительных государственных требований и сертификации продукции		электрорадиоэлементов на более дешевые может сказаться на точности измерений.
У5. Ограничения на экспорт технологии		

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. Интерактивная матрица проекта представлена в таблицах 5.5–5.8

Таблица 5.5 – Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

		Сильные стороны				
		C1	C2	C3	C4	C5
Возможности	B1	0	+	-	+	+
	B2	+	+	+	-	+
	B3	+	+	-	-	0
	B4	+	0	+	+	-

При анализе интерактивной таблицы 5.5 можно выявить следующие коррелирующие сильные стороны и возможности: Возможность 1 – Сильные

стороны проекта С2, С4, С5. Возможность 2 – С1, С2, С3, С5. Возможность 3 – С1, С2. Возможность 4 – С1, С3, С4.

Таблица 5.6 – Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

		Сильные стороны			
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
Возможности	В1	+	-	+	+
	В2	+	0	-	-
	В3	-	+	+	-
	В4	-	+	-	+

При анализе интерактивной таблицы 5.6 можно выявить следующие коррелирующие слабые стороны и возможности: Возможность 1 – Слабые стороны проекта Сл1, Сл3, Сл4. Возможность 2 – Сл1. Возможность 3 – Сл2, Сл3. Возможность 4 – Сл2, Сл4.

Таблица 5.7 – Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

		Сильные стороны				
		С1	С2	С3	С4	С5
Угрозы	У1	+	+	0	-	-
	У2	+	-	+	-	+
	У3	+	0	-	0	0
	У4	0	-	0	+	+
	У5	+	-	-	-	-

При анализе интерактивной таблицы 5.7 можно выявить следующие коррелирующие сильные стороны и угрозы: Угроза 1 – Сильные стороны проекта С1, С2. Угроза 2 – С1, С3, С5. Угроза 3 – С1. Угроза 4 – С4, С5. Угроза 5 – С1.

Таблица 5.8 – Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

		Сильные стороны			
		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
Угрозы	У1	0	+	-	-
	У2	-	+	+	0
	У3	-	+	-	+
	У4	+	0	+	+
	У5	-	+	-	0

При анализе интерактивной таблицы 5.8 можно выявить следующие коррелирующие слабые стороны и угрозы: Угроза 1 – Слабые стороны проекта Сл2. Угроза 2 – Сл2, Сл3. Угроза 3 – Сл2, Сл4. Угроза 4 – Сл1, Сл3, Сл4. Угроза 5 – Сл2.

## 5.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

При создании нового продукта предприятию необходимо правильно планировать сроки выполнения отдельных этапов работ, учитывать расходы на материалы, зарплату. А также оценивать наиболее правильный вариант изготовления рабочего продукта [18].

В первую очередь определяется полный перечень проводимых работ, а также продолжительность на каждом этапе. В результате планирования формируется график реализации проекта. Для построения работ необходимо соотнести соответствующие работы каждому исполнителю. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей представлен в таблице 5.9 [18].

Таблица 5.9 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ Раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Постановка целей и задач, получение исходных данных	Научный руководитель, студент
Выбор направления исследований	3	Определение стадий, этапов и сроков разработки проекта	Научный руководитель, студент
	4	Подбор литературы по тематике работы	Студент
	5	Сбор материалов и анализ существующих разработок	Студент
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Разработка схемы электрической принципиальной	Студент
	7	Моделирование схемы и разработка её 3D – модели	Студент
	8	Проектирование механической части устройства	Студент
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, студент
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки к работе	Студент

## 5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Определим продолжительность работ на каждом этапе проектирования. Продолжительность работ определяется по следующей формуле:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3 \cdot t_{\text{mini}} + 2 \cdot t_{\text{max}i}}{5}, \quad (5.3)$$

где  $t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн. ;

$t_{\text{mini}}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\text{max}i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

В данном дипломном проекте трудоемкость рассчитывается исходя из работ, которые выполняют студент и научный руководитель. Исходя, из полученной трудоемкости рассчитывается продолжительность работ, на каждом этапе проектирования, по следующей формуле:

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (5.4)$$

где  $T_{p_i}$  – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.дн.;

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

## 5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой 5.3:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (5.5)$$

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

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

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по формуле 5.6:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{кал}} - T_{\text{кал}}}, \quad (5.6)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – календарные дни;

$T_{\text{вых}}$  – выходные дни;

$T_{\text{пр}}$  – праздничны дни.

Согласно данным производственного и налогового календаря на 2019 год, количество календарных дней составляет 365 дней, количество рабочих дней составляет 247 дней, количество выходных – 104 дней, а количество праздничных дней – 14, таким образом:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1.48, \quad (5.7)$$

Все полученные значения заносим в таблицу 5.10 (Приложение Д).

После заполнения таблицы, строим календарный план-график, представленный в таблице 5.11 (Приложение Е). График строится для, максимального по длительности, исполнения работы в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделяем различной штриховкой в зависимости от исполнителей [18].

### 5.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета НТИ необходимо обеспечить полное и верное отражение различных видов расходов, связанных с его выполнением.

### 5.3.1 Расчет материальных затрат исследования

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхи}, \quad (5.8)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхи}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты представлены в таблице 5.12.

Таблица – 5.12 Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество		Цена за ед., руб.		Затраты на материалы, ( $Z_m$ ),	
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
Операционный усилитель	шт	1	1	260	260	299	299
Конденсаторы	шт	11	11	20	20	253	253
Интегральные микросхемы	шт	11	13	150	150	1898	2242
Потенциометры	шт	2	1	35	60	80,5	69
Индикаторы	шт	2	1	25	60	59	69
Ручка	шт.	1	1	10	10	10	10
Тетрадь	шт.	1	1	25	25	25	25
Электроэнергия	кВт*ч	32	32	3,5	3,5	129	129
Печать	руб/лист	95	95	4	4	437	437



Продолжение таблицы 5.12

Интернет	М/бит (пакет)	1	1	350	350	385	385
Итого						3576	3918

Под Исп.1 и исп.2 здесь и ниже будем подразумевать различные варианты технических решений. В первом исполнении не используются регистры памяти для предустановки на ключ определенного момента. Также в первом исполнении присутствует потенциометр для настройки тензометрического моста и дополнительный семисегментный индикатор, чего нет во втором исполнении. Все эти отличия не влияют на коммерческий потенциал или качество разработки.

### 5.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в таблицу 5.13.

Таблица 5.13 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование оборудования	Количество единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Амортизационные отчисления за время использования оборудования, руб.
Компьютер	1	40000	6000
Итоговая сумма			6000

Так как компьютер, используемый при выполнении работы, был в наличии, то он учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

### 5.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Рассчитаем основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату по формуле 5.9:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (5.9)$$

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

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (ассистента) рассчитывается по следующей формуле 5.7:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (5.10)$$

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

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле 5.11:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_M}, \quad (5.11)$$

где  $Z_M$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

$F_M$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 5.14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	44	48
- праздничные дни	14	14

Продолжение таблицы 5.14

Потери рабочего времени: - отпуск	56	28
- невыходы по болезням	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	275

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{tc} (1 + k_{пр} + k_d) k_p, \quad (5.12)$$

где  $Z_{tc}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{tc}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок (0,2-0,5);

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для г. Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 5.15.

Таблица 5.15 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{tc}$ , руб	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб	$T_p$ , раб.дн	$Z_{осн}$ , руб
Руководитель	33664	0,3	0,2	1,3	65644	2719,9	12	32639
Студент	26300	0,3	0,2	1,3	51285	1939,5	105	203647
Итого, руб								236286

### 5.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.) [18].

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (5.13)$$

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

$$Z_{\text{доп рук}} = 0,13 \cdot 32639 = 4243 \text{ руб.}, \quad (5.14)$$

$$Z_{\text{доп студ}} = 0,13 \cdot 203647 = 26474 \text{ руб.}, \quad (5.15)$$

$$Z_{\text{доп}} = 4243 + 26474 = 30717 \text{ руб.}, \quad (5.16)$$

### 5.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды

В данном разделе будут рассчитаны отчисления во внебюджетные фонды, согласно законодательству РФ являются обязательными, а именно отчисления органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) [18].

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (5.17)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 5.16.

Таблица 5.16 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.		Дополнительная заработная плата, руб.	
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
Руководитель проекта	32639	32639	4243	4243
Студент - дипломник	203647	203647	26474	26474

Продолжение таблицы 5.16

Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271
Итого	
Исполнение 1	72357
Исполнение 2	72357

### 5.3.6 – Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовый и телеграфный расходы и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{Сумма статей}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (5.18)$$

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

$$Z_{\text{накл}} = (6342 + 25000 + 140224,6 + 16826,9 + 42560,9) \cdot 0,16 = 36953 \text{ руб.},$$

(5.19)

### 5.3.7 Формирование бюджета затрат

Таблица 5.17 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	Исп.1	Исп.2	
1. Материальные затраты НТИ	3576	3918	Пункт 4.3.1

Продолжение таблицы 5.17

2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	6000	6000	Пункт 4.3.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	236286	236286	Пункт 4.3.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	30717	30717	Пункт 4.3.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	72357	72357	Пункт 4.3.5
6. Накладные расходы	36953	36953	Пункт 4.3.6
7. Бюджет затрат НИИ	385889	386231	Сумма ст. 1-6

Как говорилось выше, Под Исп.1 и исп.2 подразумеваются различные варианты технических решений. В первом исполнении не используются регистры памяти для предустановки на ключ определенного момента. Также в первом исполнении присутствует потенциометр для настройки тензометрического моста и дополнительный семисегментный индикатор, чего нет во втором исполнении. Все эти отличия не влияют на коммерческий потенциал или качество разработки.

#### **5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования**

**Интегральный показатель финансовой эффективности** научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат двух (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за

базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения [18].

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (5.19)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Максимальная стоимость составляет 379240 рублей для исполнения 2, следовательно, в соответствии с формулой 5.19:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{378995}{379240} = 0,99, \quad (5.20)$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{p2}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{379240}{379240} = 1, \quad (5.22)$$

**Интегральный показатель ресурсоэффективности** вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом по формуле 5.23:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (5.19)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта представлена в таблице 5.18.

Таблица 5.18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Чувствительность	0,3	4	5
2. Удобство в эксплуатации	0,1	5	4
3. Помехоустойчивость	0,15	4	4
4. Диапазон измерений	0,2	4	5
5. Надежность	0,25	4	5
ИТОГО	1	21	23

Таким образом, интегральный показатель ресурсоэффективности равен:

$$I_{\text{р-исп.1}} = 4 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 = 4,1, \quad (5.20)$$

$$I_{\text{р-исп.2}} = 5 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 = 4,75. \quad (5.21)$$

**Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки** ( $I_{\text{исп}i}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формулам 5.22 и 5.23:

$$I_{\text{исп1}} = \frac{I_{\text{р1}}}{I_{\text{финр}}} = \frac{4,1}{0,99} = 4,14 \quad (5.22)$$



$$I_{\text{исп2}} = \frac{I_{\text{р2}}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп2}}} = \frac{4,75}{1} = 4,75 \quad (5.23)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ ) находится по формулам 5.24 и 5.25.

$$\mathcal{E}_{\text{ср1}} = \frac{I_{\text{исп1}}}{I_{\text{исп2}}} = \frac{4,14}{4,75} = 0,87 \quad (5.24)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср1}} = \frac{I_{\text{исп2}}}{I_{\text{исп1}}} = \frac{4,75}{4,14} = 1,15 \quad (5.25)$$

Сравнительная эффективность разработки представлена в таблице 5.19:

Таблица 5.19 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп. 1	Исп. 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки $I_{\text{финр}}^{\text{исп.i}}$	0,99	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки ( $I_{\text{рi}}$ )	4,1	4,75
3	Интегральный показатель эффективности ( $I_{\text{исп}}$ )	4,14	4,75
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения ( $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ )	0,87	1,15

Проведя сравнение значений интегральных показателей эффективности, можно выбрать более эффективный вариант решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности. Вторым вариантом является наиболее оптимальным исполнением проекта.

## **6 Социальная ответственность**

ВКР направлена на разработку цифрового динамометрического ключа, предназначенного для контроля затяжки резьбовых соединений и передачи полученных значений по беспроводному каналу связи.

Одним из основных направлений развития и совершенствования современных прецизионных инструментов и измерительных устройств является внедрение в них интернета вещей для взаимодействия предметов между собой или с внешней средой.

Потенциальными потребителями могут являться машиностроительные предприятия, производящие различные типы машин, орудий, приборов, а также продукцию оборонного назначения. Примером такого предприятия в г. Томск может являться АО «Томский приборный завод».

В данной работе освещен комплекс мер организационного, правового, технического и режимного характера, которые минимизируют негативные последствия разработки цифрового ключа, а также рассматриваются вопросы техники безопасности, охраны окружающей среды и пожарной профилактики, даются рекомендации по созданию оптимальных условий труда.

### **6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

#### **6.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства**

Согласно ТК РФ, N 197 -ФЗ работник аудитории 35, 4 корпуса ТПУ имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;

- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра.

### **6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

Рабочее место в аудитории 35, 4 корпуса ТПУ должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032–78. Оно должно занимать площадь не менее 4,5 м<sup>2</sup>, высота помещения должна быть не менее 4 м, а объем - не менее 20 м<sup>3</sup> на одного человека. Высота над уровнем пола рабочей поверхности, за которой работает оператор, должна составлять 720 мм. Оптимальные размеры поверхности стола 1600 х 1000 кв. мм. Под столом должно иметься пространство для ног с размерами по глубине 650 мм. Рабочий стол должен также иметь подставку для ног, расположенную под углом 15° к поверхности стола. Длина подставки 400 мм, ширина – 350 мм. Удаленность клавиатуры от края стола должна быть не более 300 мм, что обеспечит удобную опору для предплечий. Расстояние между глазами оператора и экраном видеодисплея должно составлять 40 – 80 см. Так же рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество. Рабочий стул должен иметь дизайн, исключаящий онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте.

Рабочее место сотрудника аудитории 35, 4 корпуса ТПУ соответствует требованиям ГОСТ 12.2.032-78.

## 6.2 Производственная безопасность

Разрабатываемый печатный узел и механическая часть устройства требуют использования ПК, паяльной станции. Рассмотрим вредные и опасные факторы, которые могут возникать при работе с оборудованием и теоретической разработке концепции УР, а также требования по организации рабочего места.

### 6.2.1 Анализ потенциально возможных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Для выбора факторов использовался ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [20]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в виде таблицы:

Таблица 6.1 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ по разработке программного модуля

Источник фактора, наименование вида работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1) Разработка печатного узла	1. Повышенный уровень электростатического поля, электромагнитных полей;	1. Поражение электрическим током; 2. Опасность термического поражения;	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 СанПиН 2.2.2.542-96
и механической части 2) Работа с ЭВМ; 3) Работа с паяльной станцией.	2. Недостаточная освещенность рабочей зоны 3. Повышенный уровень шума на рабочем месте; 4. Неудовлетворительный микроклимат; 5. Повышенный уровень напряженности электростатического поля.	3. Опасность термического поражения; 4. Повышенный уровень пожароопасности при пайке.	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 СанПиН 2.2.4.1191-03 СП 52.13330.2011 СанПиН 2.2.4.548-96

## Продолжение таблицы 6.1

			СН 2.2.4/2.1.8.562– 96  ГОСТ 30494- 2011  СП 952-72
--	--	--	--------------------------------------------------------------------------

### **6.2.2 Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов**

#### Электромагнитное излучение, напряженность электростатического поля:

При разработке динамометрического ключа использовался стационарный персональный компьютер в аудитории 35, 4 корпуса ТПУ, основным источником потенциально вредных и опасных производственных факторов (ОВПФ) является возможность поражения электрическим током. Использование ПК может привести к наличию таких вредных факторов, как повышенный уровень статического электричества, повышенный уровень электромагнитных полей, повышенная напряженность электрического поля.

К основной документации, которая регламентирует вышеперечисленные вредные факторы относится СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к электронно-вычислительным машинам и организации работы":

ЭВМ должны соответствовать требованиям настоящих санитарных правил и каждый их тип подлежит санитарно-эпидемиологической экспертизе с оценкой в испытательных лабораториях, аккредитованных в установленном порядке [22].

Допустимые уровни электромагнитных полей в аудитории 35, 4 корпуса ТПУ [23], создаваемых ЭВМ, не должны превышать значений [23], представленных в таблице 6.2:

Таблица 6.2 – Допустимые уровни ЭМП, создаваемых ЭВМ

Наименование параметров	Диапазон	ДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25нТл
Напряженность электростатического поля	-	15кВ/м

Уровни ЭМП, ЭСП в аудитории 35, 4 корпуса ТПУ, перечисленные в таблице 6.2. соответствуют допускам [34].

Электробезопасность:

Для предотвращения поражения электрическим током, где размещаются рабочее место с ЭВМ и паяльной станцией в аудитории 107а, 4 корпуса ТПУ, оборудование должно быть оснащено защитным заземлением, занулением в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации [33]. Для предупреждения электротравматизма необходимо проводить соответствующие организационные и технические мероприятия:

- 1) оформление работы нарядом или устным распоряжением;
- 2) проведение инструктажей и допуск к работе;
- 3) надзор во время работы.

Уровень напряжения для питания ЭВМ в данной аудитории 220 В, для ПК - 220 В. По опасности поражения электрическим током помещение 35, 4 корпуса ТПУ относится к первому классу – помещения без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с токонепроводящими полами, с температурой 18-20°, с влажностью 40-50%) [33].

Основными непосредственными причинами электротравматизма, являются:

- 1) прикосновение к токоведущим частям электроустановки, находящейся под напряжением;
- 2) прикосновение к металлическим конструкциям электроустановок, находящимся под напряжением;
- 3) ошибочное включение электроустановки или несогласованных действий обслуживающего персонала;
- 4) поражение шаговым напряжением и др.

Основными техническими средствами защиты, согласно ПУЭ, являются защитное заземление, автоматическое отключение питания, устройства защитного отключения, изолирующие электрозащитные средства, знаки и плакаты безопасности. Наличие таких средств защиты предусмотрено в рабочей зоне. В целях профилактики периодически проводится инструктаж работников по технике безопасности. Работники, выполняющие пайку паяльником, должны иметь II группу по электробезопасности.

Не следует размещать рабочие места с ЭВМ вблизи силовых кабелей, технологического оборудования, создающего помехи в работе ЭВМ [22].

Таким образом, разработанные мероприятия и расчеты обеспечивают безопасную эксплуатацию электроустановок в аудитории 35, 4 корпуса ТПУ.

#### Освещение:

В аудитории 35, 4 корпуса ТПУ имеется естественное (боковое двухстороннее) и искусственное освещение. Рабочие столы размещены таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

Для рабочего места с паяльной станцией необходимо местное освещение со светильниками с непросвечивающими отражателями. Светильники должны располагаться таким образом, чтобы их светящие элементы не попадали в поле зрения работников. Устройство для крепления светильников местного освещения должно обеспечивать фиксацию светильника во всех необходимых

положениях. Подводка электропроводов к светильнику должна находиться внутри устройства. Открытая проводка не допускается согласно [34].

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ЭВМ осуществляется системой общего равномерного освещения. В аудитории 35, 4 корпуса, в случаях работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 - 500 лк [24]. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк [24].

В качестве источников света применяются светодиодные светильники или металлогалогенные лампы (используются в качестве местного освещения) [24].

Таблица 6.3 – Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения помещений жилых зданий [24]

Помещение	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение		Искусственное освещение		
		КЕО $e_n$ , %		КЕО $e_n$ , %		Освещенность рабочих поверхностей, лк	Показатель дисконтинентности, не более	Коэффициент пульсации $K_p$ , %, не более
		При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении			



Продолжение таблицы 6.3

Кабинет ы	Г-0,0	3,0	1,0	1,8	0,6	300	-	≤5%(рабо та с ЭВМ) ≤20%(при работе с документа цией)
--------------	-------	-----	-----	-----	-----	-----	---	---------------------------------------------------------------------

Согласно [34] освещенность в аудитории 243 8 корпуса ТПУ соответствует допустимым нормам.

Шум

При работе с ЭВМ в аудитории 107а, 4 корпуса ТПУ характер шума – широкополосный с непрерывным спектром от 27 до 45 дБА.

Таблица 6.4 – Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для основных наиболее типичных видов трудовой деятельности и рабочих мест [26]

N пп.	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц										Уровни звука и эквивалентные уровни звука ( дБА)
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, преподавание и обучение, врачебная деятельность. Рабочие места в помещениях	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50	

Продолжение таблицы 6.4

дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов вычислительных машин, в лабораториях для теоретических работ и обработки данных, приема больных в здравпунктах										
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Согласно [34] уровень шума в аудитории 35, 4 корпуса ТПУ не более 50 дБА и соответствует нормам.

Микроклимат

Для создания и автоматического поддержания в аудитории 35, 4 корпуса ТПУ независимо от наружных условий оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года используется водяное отопление, в теплое время года применяется кондиционирование воздуха. Кондиционер представляет собой вентиляционную установку, которая с помощью приборов автоматического регулирования поддерживает в помещении заданные параметры воздушной среды.

Аудитория 35, 4 корпуса ТПУ является помещением I б категории. Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.) [25].

Таблица 6.5 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Катег. работ по уровню энергозатрат	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относ. влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Iб	21-23	20-24	40-60	0,1
Теплый	Iб	22-24	21-25	40-60	0,1

Таблица 6.6 – Допустимые величины интенсивности теплового облучения

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м <sup>2</sup> , не более
50 и более	35
25-50	70
не более 25	100

В аудитории проводится ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы на ЭВМ.

Согласно [34] микроклимат аудитории 35, 4 корпуса ТПУ соответствует допустимым нормам.

Опасность термического поражения:

Для исключения травм от взаимодействия с предметами с повышенной температурой во время работы с паяльной станцией необходимо соблюдать

«Межотраслевой типовой инструкцией по охране труда для работников, занятых пайкой и лужением изделий паяльником» согласно [34].

Мероприятиями обязательными к выполнению являются:

1) К выполнению работ по пайке паяльником допускаются работники в возрасте не моложе 18 лет, прошедшие обучение, инструктаж и проверку знаний по охране труда, освоившие безопасные методы и приемы выполнения работ, методы и приемы правильного обращения с приспособлениями, инструментами и грузами.

2) Работники, выполняющие пайку паяльником, должны иметь II группу по электробезопасности.

3) В случае возникновения в процессе пайки паяльником каких-либо вопросов, связанных с ее безопасным выполнением, работник должен обратиться к своему непосредственному или вышестоящему руководителю.

4) Работники, занятые пайкой паяльником, должны обеспечиваться средствами индивидуальной защиты.

## **6.3 Экологическая безопасность**

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Выявляются предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате реализации предлагаемых в ВКР решений.

### **6.3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду**

Печатный узел динамометрического ключа представляет собой печатную плату с встраиваемыми электронными компонентами. С точки зрения влияния на окружающую среду можно рассмотреть влияния микросхемы при ее утилизации.

Продукты производства электроники содержат бериллий, кадмий, мышьяк, поливинилхлорид, ртуть, свинец, фталаты, огнезащитные составы на основе брома и редкоземельные минералы [35]. Это очень вредные вещества, которые не должны попадать на свалку после истечения срока использования, а должны правильно утилизироваться.

Утилизация компьютерного оборудования осуществляется по специально разработанной схеме, которая должна соблюдаться в организациях:

- 1) На первом этапе необходимо создать комиссию, задача которой заключается в принятии решений по списанию морально устаревшей или не рабочей техники, каждый образец рассматривается с технической точки зрения.

- 2) Разрабатывается приказ о списании устройств. Для проведения экспертизы привлекается квалифицированное стороннее лицо или организация.

- 3) Составляется акт утилизации, основанного на результатах технического анализа, который подтверждает негодность оборудования для дальнейшего применения.

- 4) Формируется приказ на утилизацию. Все сопутствующие расходы должны отображаться в бухгалтерии.

5) Утилизацию оргтехники обязательно должна осуществлять специализированная фирма.

б) Получается специальная официальной формы, которая подтвердит успешность уничтожения электронного мусора.

После оформления всех необходимых документов, компьютерная техника вывозится со склада на перерабатывающую фабрику. Все полученные в ходе переработки материалы вторично используются в различных производственных процессах [35].

### **6.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду**

Процесс исследования представляет из себя работу с информацией, такой как технологическая литература, статьи, ГОСТы и нормативно-техническая документация, а также разработка математической модели с помощью различных программных комплексов. Таким образом процесс исследования не имеет влияния негативных факторов на окружающую среду.

## **6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС**

Согласно ГОСТ Р 22.0.02-94 ЧС - это нарушение нормальных условий жизни и деятельности людей на объекте или определенной территории (акватории), вызванное аварией, катастрофой, стихийным или экологическим бедствием, эпидемией, эпизоотией (болезнь животных), эпифитотией (поражение растений), применением возможным противником современных средств поражения и приведшее или могущее привести к людским или материальным потерям".

С точки зрения выполнения проекта характерны следующие виды ЧС:

1) Пожары, взрывы;

- 2) Внезапное обрушение зданий, сооружений;
- 3) Геофизические опасные явления (землетрясения);
- 4) Метеорологические и агрометеорологические опасные явления;

Так как объект исследований представляет из себя проект механической части ключа и его печатный узел, электронные компоненты которого необходимо присоединять с помощью паяльной станции, а также проектирование печатного узла и механической части устройства осуществляется с помощью ПК, то наиболее вероятной ЧС в данном случае можно назвать пожар в аудитории с ПК и паяльной станцией. В аудитории 35 4 корпуса применяется дорогостоящее оборудование, не горючие и не выделяющие дым кабели. Таким образом, возникновение пожаров происходит из-за человеческого фактора, в частности, это несоблюдение правил пожарной безопасности. К примеру, замыкание электропроводки - в большинстве случаев тоже человеческий фактор. Соблюдение современных норм пожарной безопасности позволяет исключить возникновение пожара в рабочей комнате:

- Согласно СП 5.13130.2009 предел огнестойкости серверной должен быть следующим: перегородки - не менее EI 45, стены и перекрытия - не менее REI 45. Т.е. в условиях пожара помещение должно оставаться герметичным в течение 45 минут, препятствуя дальнейшему распространению огня.

- Помещение серверной должно быть отдельным помещением, функционально не совмещенным с другими помещениями. К примеру, не допускается в помещении серверной организовывать мини-склад оборудования или канцелярских товаров.

- При разработке проекта серверной необходимо учесть, что автоматическая установка пожаротушения (АУПТ) должна быть обеспечена электропитанием по первой категории (п. 15.1 СП 5.13130.2009).

- Согласно СП 5.13130.2009 в системах воздуховодов общеобменной вентиляции, воздушного отопления и кондиционирования воздуха защищаемых помещений следует предусматривать автоматически закрывающиеся при

обнаружении пожара воздушные затворы (заслонки или противопожарные клапаны);

– Работы с вредными и взрывопожароопасными веществами при нанесении припоев, флюсов, паяльных паст, связующих и растворителей должны проводиться при действующей общеобменной и местной вытяжной вентиляции. Системы местных отсосов должны включаться до начала работ и выключаться после их окончания. Работа вентиляционных установок должна контролироваться с помощью световой и звуковой сигнализации, автоматически включающейся при остановке вентиляции согласно постановлению МТиСР РФ от 17.07.2003 г. №55.

#### **6.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС**

При проведении исследований наиболее вероятной ЧС является возникновение пожара в помещении 35, 4 корпуса ТПУ. Пожарная безопасность должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Основные источники возникновения пожара:

1) Неработоспособное электрооборудование, неисправности в проводке, розетках и выключателях. Для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неполадки, а также проводить плановый осмотр электрооборудования.

2) Электрические приборы с дефектами. Профилактика пожара включает в себя своевременный и качественный ремонт электроприборов.

3) Перегрузка в электроэнергетической системе (ЭЭС) и короткое замыкание в электроустановке.

Под пожарной профилактикой понимается обучение пожарной технике безопасности и комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожаров.

Пожарная безопасность обеспечивается комплексом мероприятий:

- обучение, в т.ч. распространение знаний о пожаробезопасном поведении (о необходимости установки домашних индикаторов задымленности и хранения зажигалок и спичек в местах, недоступных детям);
- пожарный надзор, предусматривающий разработку государственных норм пожарной безопасности и строительных норм, а также проверку их выполнения;
- обеспечение оборудованием и технические разработки (установка переносных огнетушителей и изготовление зажигалок безопасного пользования).

В соответствии с ТР «О требованиях пожарной безопасности» для административного жилого здания требуется устройство внутреннего противопожарного водопровода.

Согласно ФЗ-123, НПБ 104-03 «Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях» для оповещения о возникновении пожара в каждом помещении должны быть установлены дымовые оптико-электронные автономные пожарные извещатели, а оповещение о пожаре должно осуществляться подачей звуковых и световых сигналов во все помещения с постоянным или временным пребыванием людей.

Аудитория 35, 4 корпуса ТПУ оснащена первичными средствами пожаротушения: огнетушителями ОУ-3 1шт., ОП-3, 1шт. (предназначены для тушения любых материалов, предметов и веществ, применяется для тушения ПК и оргтехники, класс пожаров А, Е.).



Таблица 6.7 – Типы используемых огнетушителей при пожаре в электроустановках

Напряжение, кВ	Тип огнетушителя (марка)
До 1,0	порошковый (серии ОП)
До 10,0	углекислотный (серии ОУ)

Согласно НПБ 105-03 помещение, предназначенное для проектирования и использования результатов проекта, относится к типу П-2а.

Таблица 6.8 – Категории помещений по пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
П-2а	Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества в количестве, при котором удельная пожарная нагрузка составляет не менее 1 мегаджоуля на квадратный метр.

В корпусе 4 ТПУ имеется пожарная автоматика, сигнализация. В случае возникновения загорания необходимо обесточить электрооборудование, отключить систему вентиляции, принять меры тушения (на начальной стадии) и обеспечить срочную эвакуацию студентов и сотрудников в соответствии с планом эвакуации.

## **Заключение**

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был произведен обзор существующих динамометрических ключей, в том числе электронных. Была разработана электрическая принципиальная схема электронного динамометрического ключа, способного передавать данные по беспроводному каналу, а именно Bluetooth. Также было произведено конструирование печатного узла разрабатываемого устройства. На макетной плате была собрана и испытана часть устройства с микроконтроллером.

В дальнейшем планируется сборка и испытание полного устройства с торсионным узлом, а также замена выбранных ЭРИ в пользу уменьшения габаритов печатной платы.

Глава финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение отражает экономическую составляющую данной работы, а именно материальные и нематериальные затраты, заработные платы студента и руководителя и общие затраты на изготовление готового образца УР. В главе социальная ответственность описаны основные нормы и акты безопасности жизнедеятельности во время работы над ВКР

## Список использованных источников

1. Электронные динамометрические ключи. [Электронный курс]: М. – Режим доступа: <https://www.vseinstrumenti.ru/ruchnoy-instrument/klyuchi/dinamometricheskie/elektronnye/>, свободный. – Загл. Тит. Экрана (Дата обращения: 12.06.2020)
2. Тензорезисторы, википедия. [Электронный курс]: М. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BD%D0%B7%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%B7%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80>, свободный. – Загл. Тит. Экрана (Дата обращения: 12.06.2020)
3. Тензорезисторы. [Электронный курс]: М. – Режим доступа: [https://www.bookasutp.ru/Chapter6\\_3\\_5.aspx](https://www.bookasutp.ru/Chapter6_3_5.aspx), свободный. – Загл. Тит. Экрана (Дата обращения: 12.06.2020)
4. Белянин Л.Н. Конструирование печатного узла и печатной платы. Расчёт надёжности. Учебно-методическое пособие. – М.: Издательство ТПУ, 2008. – 79с.
5. Пирогова Е.В. Проектирование и технология печатных плат. Учебник. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005. -560с.
6. ГОСТ Р 53386-2009 Платы печатные. Термины и определения. – Москва: Изд-во стандартов, 2009. – 8с.
7. ГОСТ Р 53429-2009. Платы печатные. Основные параметры конструкции. - Москва: Изд-во стандартов, 2009. – 7с.
8. ГОСТ 10316-78 Гетинакс и стеклотекстолит фольгированные. – Москва: Изд-во стандартов, 1978. – 12с.
9. ГОСТ 10317-79. Платы печатные. Основные размеры– Москва: Изд-во стандартов, 1979. –2с.
10. ГОСТ 29137-91 Формовка выводов и установка изделий электронной техники на печатные платы. – Москва: Изд-во стандартов, 1991. – 31с.

11. Документация Altium Designer [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.altium.com/ru/documentation/altium-designer/?version=18.1>. (Дата обращения: 12.06.2020)
12. 3D CAD model [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://grabcad.com/library/tag/> (Дата обращения: 12.06.2020)
13. Texas Instruments. Technical Documents [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.ti.com/technical-documents/techdoc?siloid=1> (Дата обращения: 12.06.2020)
14. Электроника. Элементная база, аналоговые и цифровые функциональные устройства: учеб. пособие / Ю.М. Фомичев, В.М. Сергеев; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 275 с.
15. Петин В.А. Практическая энциклопедия ARDUINO. Учебник. В.А. Петин, А.А. Биняковский. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 152 с.
16. Datasheet INA326. [Электронный ресурс] /Банк Datasheets. URL – Режим доступа: [https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina326.pdf?ts=1591778491748&ref\\_url=https://www.google.com/](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina326.pdf?ts=1591778491748&ref_url=https://www.google.com/), свободный. – Загл. Тит. Экрана (Дата обращения: 12.06.2020)
17. Упрощенная система налогообложения [Электронный ресурс]. Nalog.ru. URL: [nalog.ru/rn03/taxation/taxes/usn/](http://nalog.ru/rn03/taxation/taxes/usn/), свободный. Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (Дата обращения: 12.06.2020)
18. Видяев И.Г. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницына; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
19. Пашков Е.Н. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» выпускной квалификационной работы магистра, специалиста и бакалавра всех направлений (специальностей) и форм

- обучения/ Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во. Томского политехнического университета, 2019. – 24 с.
20. ГОСТ 12.0.003-2015 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация, 2015
  21. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий, 2003
  22. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы, 2003
  23. СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях, 2003
  24. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение, 2011
  25. СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений, 1996
  26. СН 2.2.4/2.1.8.562–96, Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки, 1996
  27. ГОСТ 30494-2011, Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях, 2011
  28. ГОСТ 12.4.124-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования, 1984
  29. Пожарная безопасность серверной комнаты [Электронный ресурс] URL: <https://avtoritet.net/library/press/245/15479/articles/15515>, (Дата обращения: 12.06.2020)
  30. НПБ 105-03, Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности, 2003
  31. Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.02.2018)

32. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя, 2017
33. ПРАВИЛА УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК. Седьмое издание, 2002. – 222 с.
34. Специальная оценка условий труда в ТПУ. 2019.
35. Химия для электроники [Электронный ресурс]/Kite. URL: [https://www.kit-e.ru/articles/device/2002\\_2\\_132.php](https://www.kit-e.ru/articles/device/2002_2_132.php), свободный. Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (Дата обращения: 12.06.2020)

## **Приложение А**

(обязательное)

**Печатный узел электронного динамометрического ключа. Схема  
электрическая принципиальная ФЮРА 1А6112.012.ЭЗ**

## Приложение Б

(обязательное)

### Код программы для микроконтроллера

```
#define potent_pin 0
```

```
int val = analogRead( potent_pin );
```

```
int pins[8] = {9, 13, 4, 6, 7, 10, 3, 5};
```

```
byte numbers[10] = {B11111100, B01100000, B11011010, B11110010, B01100110,  
B10110110, B10111110, B11100000, B11111110, B11110110};
```

```
int number1 = 0;
```

```
int number2 = 0;
```

```
int pindigits[4] = {2, 12, 11, 8};
```

```
int digit = 0;
```

```
void setup()
```

```
{
```

```
    Serial.begin(9600);
```

```
    for (int i = 0; i < 8; i++)
```

```
    {
```

```
        pinMode(pins[i], OUTPUT);
```

```
    }
```

```
    for (int i = 0; i < 4; i++)
```



```
{
  pinMode(pindigits[i], OUTPUT);
  digitalWrite(pindigits[i], HIGH);
}
}
```

```
void loop()
```

```
{
  val = analogRead( potent_pin );
  float v = 99.0*val / 1023.0;
```

```
  number1 = v;
```

```
  Serial.println(v);
```

```
  for(int i=0; i<4; i++)
```

```
  {
    number2 = number1 % 10;
    number1 = number1 / 10;
    showNumber(number2);
    for(int j=0; j<4; j++)
      digitalWrite(pindigits[j], HIGH);
```

```
    digitalWrite(pindigits[i], LOW);
```

```
    delay(1);
```

```
  }
```

```
}
```

```
void showNumber(int num)
```

```
{
```

```
for (int i = 0; i < 8; i++)  
{  
  if (bitRead(numbers[num], 7 - i) == HIGH)  
    digitalWrite(pins[i], HIGH);  
  else  
    digitalWrite(pins[i], LOW);  
}  
}
```

## Приложение В

(обязательное)

### Модель торсиона с наложенной сеткой конечных элементов

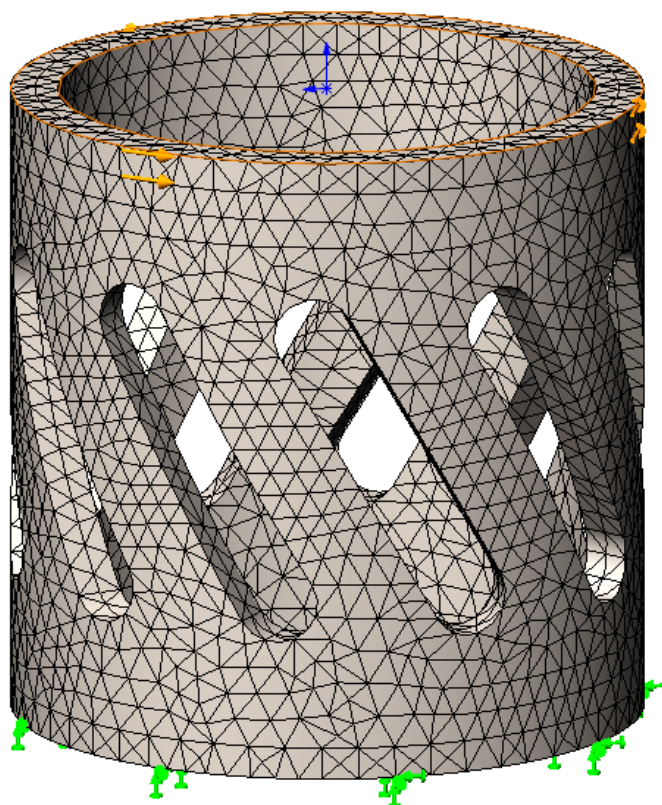


Рисунок 4.2 - Модель торсионного узла с наложенной сеткой конечных элементов

**Приложение Г**  
(обязательное)

**Модель торсиона с приложенным вращающим моментом**

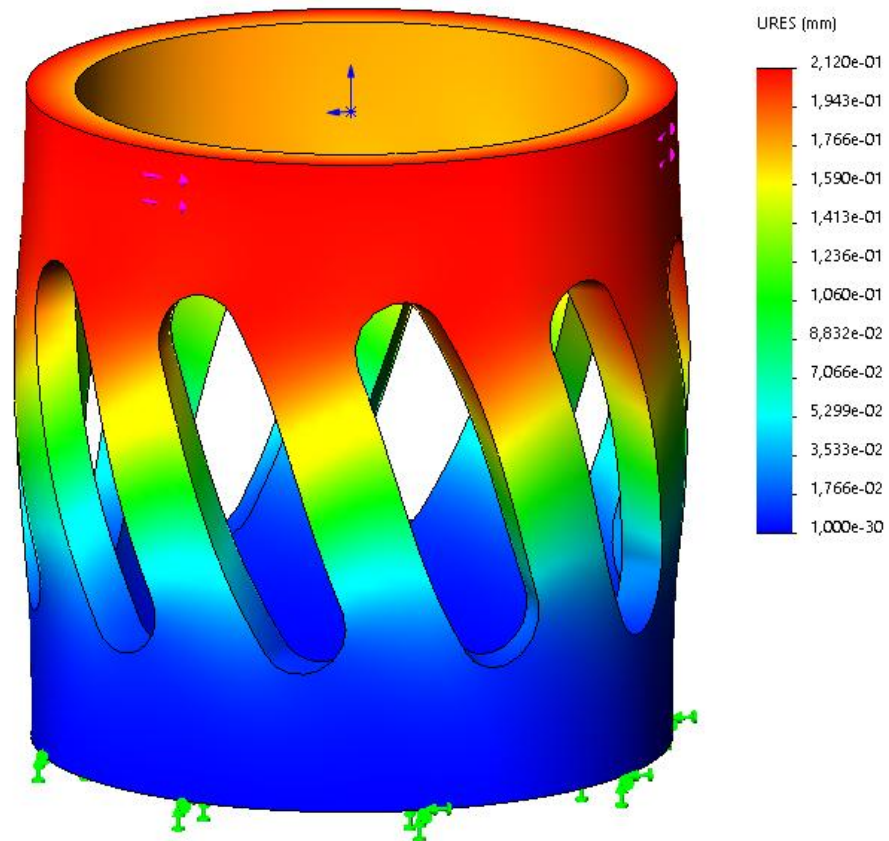


Рисунок 4.3 - Модель напряженно-деформированного состояния торсионного узла при приложении вращающего момента (эпюра деформации)

## Приложение Д (Обязательное)

Таблица 5.10 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ						Исполнители		Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календар-ных днях $T_{ki}$	
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ожп}$ , чел-дни				Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 1	Исп. 2		
Составление и утверждение темы проекта	4	4	6	6	5	5	Научный руководитель		5	5	6	6
Постановка целей и задач, получение исходных данных	1	1	4	4	3	3	Научный руководитель, студент		1,5	1,5	2	2
Определение стадий, этапов и сроков разработки проекта	4	4	10	10	7	7	Научный руководитель, студент		3,5	3,5	5	5
Подбор литературы по тематике работы	8	8	12	12	10	10	Студент		10	10	12	12
Сбор материалов и анализ существующих разработок	14	14	20	20	17	17	Студент		17	17	18	18
Разработка схемы электрической принципиальной	22	22	25	25	23,5	23,5	Студент		23,5	23,5	25	25
Моделирование схемы и разработка её 3D – модели	18	18	20	20	19	19	Студент		19	19	22	22
Проектирование механической части устройства	10	10	12	12	11	11	Студент		11	11	12	12
Оценка эффективности полученных результатов	3	3	5	5	4	4	Научный руководитель, студент		2	2	3	3
Составление пояснительной записки к работе	17	17	23	23	20	20	Студент		20	20	21	21

## Приложение Е (Обязательное)

Таблица 5.11 – Календарный план-график

№ Работ	Вид работ	Исполнители	Т <sub>кп</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				февраль		март			апрель			май				
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель	6													
2	Постановка целей и задач, получение исходных данных	Научный руководитель, студент	2													
3	Определение стадий, этапов и сроков разработки проекта	Научный руководитель, студент	5													
4	Подбор литературы по тематике работы	Студент	12													
5	Сбор материалов и анализ существующих разработок	Студент	18													
6	Разработка схемы электрической принципиальной	Студент	25													
7	Моделирование схемы и разработка её 3D – модели	Студент	22													
8	Проектирование механической части устройства	Студент	12													
9	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, студент	3													
10	Составление пояснительной записки к работе	Студент	21													

■ – студент; □□□□ – научный руководитель