

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

---

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение  
Отделение контроля и диагностики

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Разработка прибора для измерения влажности почвы на основе конденсационного метода</b>

УДК 681.542.4.08:631.423.2:004.31

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6Б	Мерзляков Антон Витальевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мойзес Борис Борисович	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Данков А. Г.	к.и.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Ю.В.	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Вавилова Г.В.	к.т.н.		

Томск – 2018 г.

## Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
Р1	Применять навыки эффективной индивидуальной и командной работы, включая руководство командой, работу по междисциплинарной тематике с учетом этики и корпоративных интересов, в том числе и на иностранном языке.	Требования ФГОС (ОК-3, ОПК- 1, ОПК-3, ПК-12, ПК-16, ПК-17, ПК-18, ПК-22), ), СУОС ТПУ (УК-1, УК-3, УК-4, УК-5, УК-6), CDIO Syllabus (2.1, 2.3, 2.4, 2.5, 3.1, 3.2, 3.3, 4.1), Критерий 5 АИОП (п. 2.2, п. 2.3, п. 2.4, п. 2.5, п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 19.026 Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса, 19.032 Специалист по диагностике газотранспортного оборудования, 40.008 Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами)
Р2	Применять навыки управления разработкой и производством продукции на всех этапах ее жизненного цикла с учетом инновационных рисков коммерциализации проектов, в том числе в нестандартных ситуациях.	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОПК-1, ПК-6, ПК -8, ПК-16, ПК-18, ПК-19, ПК-20), СУОС ТПУ (УК-2, УК-6), CDIO Syllabus (2.1, 2.4, 2.5, 3.2, 4.1, 4.2, 4.3, 4.6, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОП (п. 2.1, п. 2.3, п. 2.5, п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 06.005 Инженер-радиоэлектроник, 29.006 Специалист по проектированию систем в корпусе, 40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам)
Р3	Собирать, хранить, обрабатывать, использовать, представлять и защищать информацию при соблюдении требования информационной безопасности и корпоративной культуры.	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-4, ПК-17, ПК-19), СУОС ТПУ (УК-5, УК-6), CDIO Syllabus (1.1, 2.2), Критерий 5 АИОП (п. 1.1, п. 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI , требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 19.026 Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса)

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
Р4	Применять навыки планирования, подготовки, проведения теоретических и экспериментальных исследований, а также представления и интерпретации полученных результатов.	Требования ФГОС (ОПК-1, ОПК-2, ПК-1, ПК-2, ПК-15, ПК-17), СУОС ТПУ (УК-1), Критерий 5 АИОР (п.1.1, п.1.2, п.1.4), CDIO Syllabus (2.1, 2.2, 4.3), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 40.008 Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами)
Р5	Разрабатывать нормативную, техническую и методическую документацию в области неразрушающего контроля и измерительной техники.	Требования ФГОС (ПК-3, ПК-9, ПК-11, ПК-17), CDIO Syllabus (1.2, 4.4), Критерий 5 АИОР (п.1.3, п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 06.005 Инженер-радиоэлектроник)
Р6	Быть готовым к комплексной профессиональной деятельности при разработке инновационных и эффективных методов и средств измерения и контроля.	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-6, ПК-8, ПК-10, ПК-11, ПК-13, ПК-14, ПК-18, ПК-20, ПК-21, ПК-22), СУОС ТПУ (УК-1), CDIO Syllabus (1.2, 1.3, 2.3, 4.1, 4.4, 4.5), Критерий 5 АИОР (п.1.2, п.1.3, п.1.4, п.1.5, п.1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 06.005 Инженер-радиоэлектроник, 40.010 Специалист по техническому контролю качества продукции, 40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам)
Р7	Разрабатывать и внедрять энерго- и ресурсоэффективные технологические процессы производства приборных систем с использованием высокотехнологичных средств измерения и контроля.	Требования ФГОС (ПК-7, ПК-8, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ПК-14, ПК-21), CDIO Syllabus (1.3, 4.1, 4.2, 4.5, 4.6), Критерий 5 АИОР (п.1.2, п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (19.026 Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса, 19.032 Специалист по диагностике газотранспортного оборудования)

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение  
 Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Г.В. Вавилова  
 05.02.2018 г.

**ЗАДАНИЕ  
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации
--------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ6Б	Мерзляков Антон Витальевич

Тема работы:

<b>Разработка прибора для измерения влажности почвы на основе конденсационного метода</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018 г.
--	---------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><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 исследования является грунтовый слой. Метод исследования является конденсационный метод определения влажности воздуха в грунте. Метод лежит в основе прибора для измерения влажности почвы.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><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>	<p>Аналитический обзор по методам и приборам измерения влажности почвы; основные параметры влажности грунтов; конденсационный метод. Основная задача состоит в разработке прибора для измерения влажности грунта. По результатам необходимо отобразить качественные характеристики измерительного прибора.</p>

<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
---	--

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>
--

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Данков Артем Георгиевич
Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна

<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>
1. Литературный обзор (1. Literature review)

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	20.09.2016 г.
---	---------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мойзес Борис Борисович	к.т.н.		20.09.2016 г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6Б	Мерзляков Антон Витальевич		20.09.2016 г.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 83 с., 18 рис., 21 табл., 40 источников.

Ключевые слова: Влагомер почвы, метод точки росы, абсолютная влажность, относительная влажность воздуха;

Объектом исследования является грунтовый слой, необходимый для измерения влажности путём конденсационного метода

Цель работы – разработка рабочего модуля прибора для измерения влажности почвы с соответствующим программным обеспечением для его качественной и стабильной работы.

В процессе исследования проводился аналитический обзор методов и приборов измерения влажности почвы, изучены их конструктивные особенности.

В результате исследования был разработан рабочий макет прибора для измерения влажности почвы с соответствующим программным обеспечением для его работоспособности.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: в техническую основу прибора измерения влажности почвы входят: микроконтроллер Atmega8, LCD индикатор, датчики температуры, элемент пельтье, адаптер-переходник USB-UART, Набор SMD резисторов и конденсаторов, транзисторы, светодиоды, фотодиоды, блок питания 5V. При эксплуатации данного устройства напряжение питания не должно превышать пяти вольт.

Область применения: Использование прибора преимущественно в сельскохозяйственной сфере, центрах мониторинга влажности почвы, аналитических центрах.

Экономическая эффективность/значимость работы: разработанное устройство позволит оптимизировать и автоматизировать процесс измерения влажности почвенного слоя в сельскохозяйственной сфере.

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями

**Микроконтроллер (МК):** Микросхема, предназначенная для управления электронными устройствами.

**Влажность почвы:** Содержание в грунте влаги в трех состояниях (жидком, твердом и газообразном). Влажность выражается в процентах от массы сухой почвы или от объема.

**Водопроницаемость:** Это способность почвы впитывать и пропускать через себя воду.

**Влагоемкость:** Способность почвы удерживать воду.

**Относительная влажность:** Отношение абсолютной влажности данной почвы к ее предельно-полевой влагоемкости.

**Абсолютная влажность:** Общее количество воды в почве, выраженное в процентах по отношению к массе почвы.

**Точка росы:** Температура, до которой должен охладиться воздух, чтобы содержащийся в нём пар достиг состояния насыщения и начал конденсироваться в росу.

**Влагомер почвы:** Прибор для измерения влажности почвы.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	14
1 Общие сведения о методах и приборах контроля влажности .....	15
1.1 Методы контроля и измерения влажности почвы .....	15
1.1.1 Термостатно-весовой метод.....	15
1.1.2 Тензометрический метод .....	18
1.1.3 Метод определения влажности в зависимости от степени отражения электромагнитной волны влажной поверхностью .....	21
1.1.4. Кондуктометрические методы.....	22
1.1.5. Нейтронный метод.....	24
1.1.6. Органолептический метод .....	25
1.1.7. Диэлькометрический метод (ёмкостный).....	26
1.1.8. Метод точки росы .....	27
2 Объект и методы исследования .....	30
3 Расчёты и аналитика .....	31
3.1 Проектирование структурной схемы прибора .....	31
3.2 Проектирование принципиальной схемы устройства.....	36
3.3 Сборка макета.....	37
3.4 Конструкция прибора.....	39
3.5 Подготовка образцов почвы.....	40
3.6 Измерение абсолютной влажности в образцах почвы термостатно-весовым методом.....	40
3.7 Измерение влажности разработанным прибором.....	41
Результаты .....	43
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	44
4.1 Предпроектный анализ.....	44
4.1.1 Потенциальные потребители исследования.....	44
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений .....	44
4.1.3 FAST-анализ .....	45
4.1.4 SWOT-анализ .....	51



4.1.5	План проекта .....	52
4.2	Бюджет научного исследования .....	54
4.2.1	Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов) .....	54
4.2.2.	Специальное оборудование для научных работ .....	55
4.2.3.	Основная заработная плата .....	55
4.2.4.	Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала .....	58
4.2.5.	Отчисления на социальные нужды .....	58
4.2.6.	Накладные расходы .....	59
4.2.7.	Итоговый бюджет научного исследования .....	59
	Заключение .....	68
5	Социальная ответственность .....	69
	Введение .....	70
5.1	Токсические вещества в области рабочей зоны.....	75
5.2	Шум на рабочем месте .....	75
5.3	Поражение электрическим током.....	76
5.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	77
5.5	Действия при землетрясении.....	77
5.6	Действия при пожаре.....	77
	Заключение .....	81
	Список публикаций студента.....	82
	Список литературы .....	83

## ВВЕДЕНИЕ

В сельскохозяйственной сфере особое внимание уделяется параметрам грунтов, а именно, влажности грунта, а также его способностью отдавать влагу растениям. Если сравнить два вида грунта, например, песок и торф, то можно заметить, что способность отдавать влагу у песка будет больше чем у грунта. Поэтому при одинаковой влажности растению будет сложнее получить воду из торфа.

Мониторинг влажности почвы играет главную роль для получения наиболее качественной продукции, а также хорошего урожая. Главным фактором урожайности является необходимое и достаточное количество воды в грунте, которое будет удовлетворять растения. Зачастую, как правило, сельскохозяйственные организации не имеют возможность регулярного измерения влажности почвы, и поэтому прибегают к таким мерам, как избыточный полив. Однако, такие меры отрицательно сказываются на состоянии почвы, поскольку в таком случае появляется риск возникновения эрозии почвы, что в дальнейшем приведёт к дополнительным затратам.

Важно знать, что своевременное и грамотное определение влажности грунта позволит уменьшить расходы воды, а также связанные с ним расходы на нерациональное применение различных удобрений, уменьшит риск потери урожая и ухудшение качества продукции.

Расчетные методы и рекомендации для достижения оптимального уровня увлажнения позволят определить такое количество воды для растений, что воспрепятствует вымыванию удобрений, различных гербицидов и стимуляторов в низшие слои почвы, а также исключат нехватку воды для растений. Тем самым появится возможность получения более качественного урожая с точки зрения экологической безопасности.

Целью магистерской диссертации является разработка рабочего макета прибора для измерения влажности почвы с учётом недостатков существующих приборов и методов. Прибор должен обладать способностью учитывать особенности грунта и при этом точность не должна быть хуже ГОСТ 28268-89.

## **1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТОДАХ И ПРИБОРАХ КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ**

В XXI веке существует множество методов для контроля влажности почвы. Это связано в первую очередь с тем, что с развитием технического прогресса, человек всегда ищет наиболее простой, точный и недорогостоящий метод для определения необходимых параметров.

Основным методом, по которому определяют содержание водяных паров в почве является термостатно-весовой метод. Документом, в котором описана методика измерения влажности почвы является ГОСТ 28268-89. При проведении аналитического литературного обзора были рассмотрены наиболее известные методы и приборы для измерения влажности.

### **1.1 Методы контроля и измерения влажности почвы**

Все существующие на сегодняшний день приборы для измерения влажности почвы можно разделить на две группы: прямые и косвенные. Отличие между ними состоит в том, что в приборах, использующих прямой метод измерения, производится непосредственное расщепление образцов сухое и влажное вещество. Во влагомерах, которые используют косвенный метод, измеряется физический параметр, который связан с влажностью почвы через определённую зависимость. По сравнению с косвенным методом, прямой имеет более высокую точность, но при этом он требует более длительного времени для проведения измерений (время измерений может достигать несколько часов). При этом, обязательным условием при использовании прямого способа измерения является нарушение целостности почвы. Это связано с процессом подготовки проб почвы. При этом, если используется косвенный метод, то необходимо учитывать, что такой способ требует предварительной калибровки.

#### **1.1.1 Термостатно-весовой метод**

Данный способ относится к прямым методам измерения и является основным при контроле и измерении влажности почвы. В основе метода лежит отбор образцов почвы в полевых условиях с их дальнейшей просушкой при высокой и постоянной температуре (100 градусов) в специальных устройствах,

термостатах. При этом, результатом является отношение веса испарившейся влаги к весу сухой почвы, выраженное в процентах [30].

Процесс измерения влажности заключается в следующем: во время проведения сушки постоянно измеряется масса пробы. Происходит это до того момента, пока результаты последних двух измерений перестанут меняться. При этом, полагается, что почти вся влага, которая была в пробе, испарилась. Далее, прибор сравнивает массы образцов почв до сушки и после, затем вычисляет массовую долю влаги в образце с применением арифметических операций. Ниже представлена формула расчёта влажности.

$$V = \frac{M_{H_2O}}{M_{\text{сух.почв.}}} * 100\%$$

$M_{H_2O}$  – Масса воды;  $M_{\text{сух.почв.}}$  – Масса сухой почвы, выраженная в кг.

Это отношение является основным показателем при измерении влажности почвы термостатно-весовым способом [30].

Преимуществами такого метода определения влажности почвы является его высокая точность, возможность выполнения метода без специализированного оборудования. Однако, термостатно-весовой метод не является идеальным методом измерения влажности почвы. Это связано с тем, что метод обладает весьма существенными недостатками. Во-первых, такой метод весьма трудоёмкий и занимает много времени для отбора проб. Во-вторых, при отборе проб происходит повреждение грунта, и есть вероятность «перемешивания» почвы. Это может исказить результаты эксперимента. В-третьих, для достижения результата необходима большая повторность и большая продолжительность эксперимента. Также, после отбора проб необходимо «консервировать» образцы, чтобы окружающая среда не влияла на показатели влажности.

Также существуют методические погрешности, возникающие в процессе сушки

1. Завершение процесса сушки соответствует не полному высушиванию образца почвы, а установлению равновесия между давлением паров воды в пробе и давлением паров воды в воздухе.
2. У некоторых веществ в процессе сушки возникает водонепроницаемая корка, которая блокирует дальнейший процесс испарения влаги.

При необходимости можно сократить время измерения, но при этом увеличится погрешность результата. Для ускорения эксперимента применяют ускоренный термостатно-весовой метод. Метод отличается от традиционного только тем, что сушку проводят с применением спиртового обжига почвы. Проба грунта смачивается спиртом и обжигается при дефиците кислорода в специальных бьюксах. Органика почвы при сгорании спирта практически не выгорает (расхождения до 1,5%). О содержании влаги судят по разнице масс пробы до и после обжига. Недостатки метода частично совпадают с традиционным способом [5].

На рисунке 1 представлен инфракрасный влагомер, который используют при измерении влажности почвы термостатно-весовым методом. О количестве влаги судят о разности масс до сушки и после. Прибор обладает высокой точностью от 0.1 до 0.01%. Нагревательным элементом выступает инфракрасная кварцевая лампа с мощностью  $P=625$  Вт. Прибор оснащён несколькими режимами измерений, которые характеризуются скоростью измерения.



Рисунок 1 - Инфракрасный влагомер FD-720 (Япония),  
работающий по методу сушки

*Недостатки метода:*

1. при отборе проб происходит нарушения целостности почвы, возможно перемешивание почвы в процессе сбора;
2. трудоёмкость процесса подготовки проб;
3. необходимо «Консервировать» образцы от воздействия окружающей среды до проведения эксперимента;
4. если требуется значительно высокая точность, то необходимо применять специализированное оборудование.

*Достоинства метода:*

1. высокая точность метода;
2. отсутствие специализированного оборудования;
3. относительно низкая стоимость метода;

### **1.1.2 Тензометрический метод**

В основе метода лежит особенность грунта всасывать из окружающей среды влагу до полного насыщения. Измеряется влажность специальным прибором, тензиометром. Он представляет из себя замкнутый сосуд с определённым количеством воды, который соединяется с ёмкостью, в которой

находится образец почвы. На одной из стенок тензиометра находится мембрана, которая отклоняется под действием разряжения всасывающей силы почвы. Необходимо знать, что в такой системе не должно быть воздуха, и система должна быть герметичной [9].

По степени отклонения мембраны от нулевого положения судят о влажности почвы. Такой метод является лабораторным и обладает достаточной точностью. Однако, есть возможность применения в системе непрерывного мониторинга за влажностью почвы. Если уровень опускается ниже допустимого, то система запускает полив. Тензиометры чаще всего используются при разработке автоматических систем измерения влажности почвы и ее поливе.

На рисунке 2 представлен почвенный тензиометр. Перед проведением измерения необходимо заполнить трубчатый сосуд (2) дистиллированной или кипячёной водой, после этого герметично закрыть пробку (5). Затем прибор необходимо установить в заранее пробуренную скважину глубиной до одного метра, которая соответствует исследуемому слою грунта [3].

Принцип измерения заключается в следующем: Вода, находящаяся в трубчатом сосуде, всасывается почвой через пористый наконечник, тем самым создаётся разрежение внутри этого сосуда, что приводит к прогибу мембраны. Затем, исходя из показаний индикатора прогиба мембраны можно определить всасывающую силу, и при соответствующей настройке можно получить влажность почвы. Стоит отметить, что прибор используется для измерения влажности почвы в интервале от полной влагоёмкости до 0.7 — 0. Если же влажность ниже этого диапазона, то вследствие попадания воздуха через наконечник в сосуд, точность метода снижается, а погрешность влажности может достигать более пяти процентов [1].

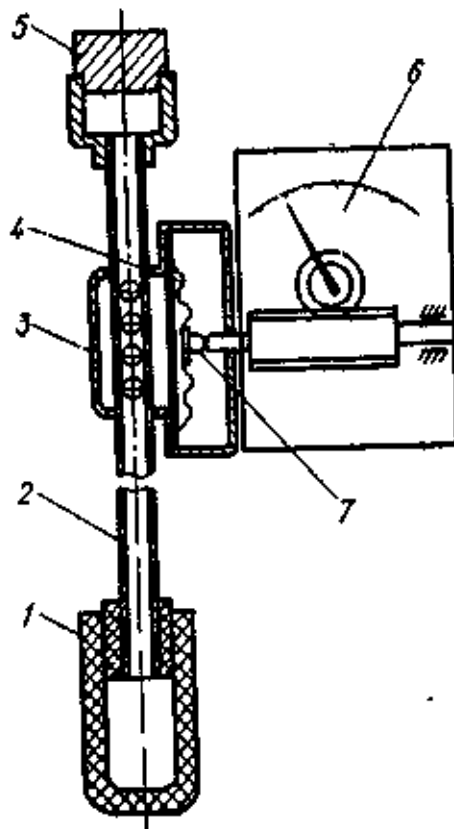


Рисунок 2 – Почвенный тензиометр

- 1 — пористый наконечник;
- 2 — трубчатый сосуд;
- 3 — измерительная чаша;
- 4 — мембрана;
- 5 — пробка;
- 6 — индикатор перемещения (микрометрический);
- 7 — штифт

*Недостатки метода:*

1. для введения прибора в почву необходимо пробурить отверстие в грунте на определённой глубине. При этом повреждается грунт, и возникают дополнительные затраты на специализированное оборудование для проведения подготовительных работ [2];
2. длительность измерения. Такой метод является трудоёмким с точки зрения временных затрат;
3. необходима калибровка прибора под разные виды грунта;



4. отсутствие мобильности устройства;
5. некоторые модели имеют малую глубину погружения (18 см);
6. низкая точность метода при низкой влажности почвы/грунта.

*Достоинства метода:*

1. широко используются при автоматизации поливочных работ в теплицах;
2. достаточно высокая точность измерения;
3. низкая стоимость на рынке (от 2000 до 3000 рублей);
4. простота конструкции.

### **1.1.3 Метод определения влажности в зависимости от степени отражения электромагнитной волны влажной поверхностью**

Молекулы воды способны поглощать часть высокочастотной энергии электромагнитной волны. Степень ее отражения изменяется в зависимости от степени влажности материала и измеряется датчиком, а процессор высчитывает показатель в зависимости от вида измеряемого материала. Прибор сравнивает амплитуды падающей и отражённой волн, а МП рассчитывает коэффициент отражения и на его основе определяет какое количество влаги содержится в почве [10].

*Недостатки метода:*

1. калибровка под разные типы грунтов;
2. отсутствие способности учитывать особенности грунта;
3. при измерении влажности на участке прохождения ЛЭП возможно возникновение погрешности и искажение результатов;
4. наличие соединительного провода между щупом и индикаторным устройством (возможно повреждение в процессе длительной эксплуатации);

*Достоинства метода:*

1. высокая точность (+/- 1%);
2. диапазон измерения влажности 0-100%;
3. стабильная работа при наличии солей в почве;
4. мобильность и портативность устройства;



Рисунок 3 – Внешний вид прибора МГ-44

#### 1.1.4 Кондуктометрические методы

Методы являются достаточно популярными в области мониторинга влажности почвы. Принцип действия приборов, основанных на этом методе, заключается в измерении электрической проводимости на переменном и постоянном токе с низкой частотой, которая в свою очередь зависит от влажности. Измерительные приборы в своей конструкции имеют измерительные щупы. Щупы подключаются либо через специальный кабель, либо являются встроенными в корпус прибора. Недостатком приборов, у которых щуп подключается через кабель является возможное повреждение при длительной эксплуатации прибора [19].

В кондуктометрии нашли применение следующие разновидности способов измерения:

- Способ непосредственного измерения сопротивления грунта

Принцип действия приборов, работающих на таком методе заключается в измерении электрического сопротивления между щупами прибора, погруженных в грунт. Погрешность измерения вносят солевой состав почвы, структура почвы, характер контакта щупа и почвы, угол ввода измерительного щупа в слой почвы, наличие жировых следов на поверхности электрода.

- Способ измерений с применением промежуточного сорбента

Суть метода состоит в том, что измеряют сопротивление пористого сорбента, который помещён в почву и находится в равновесии по влажности с

почвой. В качестве сорбентов применяют стекловату, гипс, и др. При этом величина сопротивления между щупами зависит на сколько влажный гипс при установленном равновесии по влажности.

Частота, на которой необходимо проводить измерения, должна составлять от 1 до 2 кГц. В отличие от метода измерения сопротивления грунта, метод с применением сорбента показывает более стабильные результаты при изменении солевого состава почвы, поскольку солевой раствор, проходя через сорбент, фильтруется. Однако, срок службы такого преобразователя будет невелик.

- Способ измерений параметров первичного преобразователя (ёмкостный)

Метод основан на измерении электрической ёмкости и угла диэлектрических потерь, которые зависят от влажности посредством функции. Глобальное отличие диэлектрической проницаемости водяных паров от проницаемости других составляющих обеспечивает существенную зависимость общей диэлектрической проницаемости грунта от его влажности [15].

В зависимости от свойств контролируемой среды и от условий, при которых проводятся измерения, зависит конструкция ёмкостных преобразователей. Если нет необходимости проводить отбор проб и нужно измерять в естественных условиях залегания, то применяют преобразователи ф форме цилиндра со спиралевидными щупами, которые устанавливаются в заранее пробуренную скважину без повреждения структуры контролируемого слоя грунта. Рабочая частота, на которой работают преобразователи составляет от  $5 \cdot 10^{-5}$  до  $5 \cdot 10^{-7}$  Гц.

*Недостатки метода:*

1. искажение результатов при отсутствии плотного контакта между щупом и грунтом;
2. наличие солей в почве повышает погрешность метода в результате чего прибор показывает неверное значение влажности;
3. угол ввода щупа в почву влияет на точность;

4. если щуп соединяется посредством кабеля, то при длительной эксплуатации есть вероятность повреждения/обрыва;
5. необходим контроль чистоты поверхности щупа (отсутствие жировых следов);
6. калибровка под разные виды грунта;

*Достоинства метода:*

1. простота эксплуатации прибора;
2. быстрое действие при измерении;
3. низкая стоимость на рынке;
4. минимальное повреждение почвенного слоя (малый диаметр щупов);

### **1.1.5 Нейтронный метод**

Физическая суть метода заключается во взаимодействии быстрых нейтронов, которые испускаются источником, содержащим ядра атомов  $H_2$  грунтовой влаги, и последующей регистрации тепловых нейтронов, которые появляются непосредственно после взаимодействия. Прибор необходимо установить в заранее пробуренную вертикальную скважину. Счётчик и плутониево-бериллиевый источник питания должны располагаться в одном корпусе и экранировать между собой. Счётчик с кадмиевым экраном регистрирует интенсивность  $V$ -излучения и плотность потока тепловых нейтронов. Затем, в зависимости от скорости счёта по тарировочной кривой определяется влажность грунта. Влагомеры, работающие на таком методе, измеряют объемную влажность в интервале от 20 до 40%. При этом точность достигает двух процентов. Такие влагомеры являются приборами локального измерения влагосодержания с радиусом сферы контролируемого грунта до тридцати сантиметров. Таким образом работают приборы типа НИВ-2 [12].

Если необходимо измерять влажность поверхностного слоя грунта без углубления прибора в скважину применяют нейтронный влагомер НВУ-1. Принцип работы такого влагомера как у НИВ-2. Интервал измерений от 4 до 42% по объёму. Также, такой прибор может быть применён при измерении влажности грунта на глубине [14].

*Недостатки метода:*

1. наличие аномальных поглотителей медленных нейтронов Cl, K, Li, водорода в твёрдой фазе грунта вызывает погрешность измерений;
2. необходимо использовать специальные средства защиты;
3. необходимо бурить скважину для проведения измерений на глубине, соответственно необходимо дополнительное оборудование;
4. при низкой влажности грунта нет необходимости использовать такой метод измерения;
5. негативное влияние на биологическую среду.

*Достоинства метода:*

1. широкий интервал измерений;
2. метод является бесконтактным

#### **1.1.6 Органолептический метод**

Метод является объективным и простым в применении. Применяется в полевых условиях при отсутствии специализированного оборудования. Например, если необходимо определить оптимальные условия увлажнения почвы для обработки.

Если при сжатии некоторого количества почвы в руке сочится вода, значит почва слишком увлажнённая.

Сырая почва характеризуется отсутствием излишней влаги на руке, но при этом ладонь руки становится влажной, а почва при этом легко поддаётся деформации, а при падении с высоты ~ 1 метр, комок грунта не должен рассыпаться [16].

Влажную почву можно определить следующим образом: если приложить к почве бумажный фильтровальный лист, то последний промокнет. При падении с высоты ~ 1 метр комок грунта рассыпается на мелкодисперсные частицы.

Свежая почва характеризуется тем, что не прилипает к ладони, а при растирании руками не выделяет пыль. На ощупь такая почва прохладная.

Сухая почва характеризуется чрезмерной пыльностью при растирании руками.

Основным недостатком метода является объективность метода, которая зависит от множества факторов. Основное достоинство метода – это простота и быстрота контроля влажности.

### **1.1.7 Диэлькометрический метод (ёмкостный)**

Метод является косвенным способом измерения влажности. В основе метода лежит зависимость диэлектрической проницаемости почвы в зависимости от влажности.

Принцип действия диэлькометрического метода заключается в измерении диэлектрической проницаемости среды, которая заполняет электрический конденсатор. При этом, ёмкость определяется следующим образом:

$$C = k \cdot \epsilon$$

$k$  – коэффициент, который определяется конструкцией конденсатора и его размерами.

Диэлектрическая проницаемость вещества, который насыщен парами воды, а также его ёмкость пропорциональны относительной влажности. Таким образом, датчиком относительной влажности является конденсатор. Между пластинами конденсатора располагается материал с некоторой диэлектрической проницаемостью, которая зависит от влажности материала [17].

Приборы, работающие на таком методе, измеряют относительную влажность в интервале 20 – 100%. Однако, существуют приборы, в которых поры оксидной плёнки заполняют насыщенным раствором гигроскопической соли. При этом, такие приборы могут обеспечивать измерение микроконцентраций влажности в газах  $1 \cdot 10^{-4}$  %. Погрешность составляет 5-10% от интервала измерения [13].

Приборы, работающие на таком методе, отличаются высоким быстродействием при измерении и отсутствием разрушающих воздействий при измерении. Ёмкостные датчики способны измерить влажность от 0 до 100%. Однако, на точность измерений влияют температурные показатели окружающей среды. Исходя из этого, применяют схемы для температурной компенсации.

Измерение ёмкости проводится путём подачи сигнала возбуждения на щупы датчика. Изменение ёмкости датчика преобразуется в изменение тока, частоты, ширины импульсов или напряжения [8].

В ёмкостном методе наиболее распространено применение коротковолнового и средневолнового диапазона частот или же СВЧ. Характер изменения диэлектрика в синусоидальном ЭМ поле определяется величиной комплексной магнитной и диэлектрической проницаемостей. При контроле влажности применяют такие пары величин:

1. мнимая и вещественная составляющие комплексной диэлектрической проницаемости;
2. удельная проводимость и диэлектрическая проницаемость;
3. тангенс угла диэлектрических потерь и диэлектрическая проницаемость.

*Недостатки метода:*

4. необходима калибровка прибора под определённый вид грунта;
5. на результат измерения могут повлиять «включения», находящиеся в почве;
6. ёмкость материала зависит от химического состава;

*Достоинства метода:*

1. высокая точность измерения;
2. быстрое действие приборов;
3. широкий диапазон измерений;

### **1.1.8 Метод точки росы**

Метод предполагает охлаждение воздуха до момента точки росы, т.е. до насыщения. При этом такой метод можно использовать при любых давлениях газа.

Такой способ измерения влажности считается одним из главных производственных способов, которые позволяют контролировать влажность воздуха. Основная суть заключается в измерении температуры, до которой необходимо охлаждать увлажнённый воздух для достижения состояния насыщения [9].

Температуру конденсации (точки росы) необходимо определять по началу конденсации водяных паров или же по появлению инея на зеркальной поверхности. Устройство, которое фиксирует образование конденсата, действует на систему, которая регулирует температуру зеркальной поверхности, тем самым поддерживая ту температуру, при которой возникает конденсат.

За температуру точки росы рабочей среды необходимо принимать среднее значение температуры зеркальной поверхности, при которой начался процесс появления или удаление конденсата. Точность измерения при этом зависит только от того, с какой скоростью охлаждается зеркальная поверхность.

Основными трудностями, которые возникают при измерении таким методом являются определение момента появления конденсата, регулировка температур, обеспечение чистоты зеркальной поверхности. Нижняя граница измерений точки росы составляет  $-10^{\circ}\text{C}$ . При понижении температуры конденсации до  $-20^{\circ}\text{C}$ , и  $-30^{\circ}\text{C}$ , происходит увеличение погрешности от 3 до 5 градусов по цельсию при измерении равновесной температуры. Инерционность датчика составляет от 0.5 до 5 минут. Если на датчике нет защитного слоя, то скорость воздушного потока не должна превышать значение 0.5 метров в секунду. При наличии защитного покрытия, скорость воздушного потока может быть значительно больше [11].

Физический принцип работы приборов заключается в следующем: Зеркальную поверхность необходимо охладить до появления конденсата с помощью элемента пельтье. Совместно с этим процессом, световое излучение от светодиода падает на зеркальную поверхность, а отражённый от зеркальной поверхности световой поток фиксируется фотодиодом. При появлении конденсата на зеркальной поверхности интенсивность излучения падает. При падении интенсивности до некоторого уровня происходит фиксация температуры конденсации. Одновременно с измерением температуры конденсации измеряется температура окружающей среды. Затем, данные поступают на вычислительное устройство, которое в свою очередь проводит ряд арифметических действий и выдаёт значение влажности воздуха в грунте. Далее,



используя некоторую зависимость между влажностью воздуха и влажностью грунта вычислительное устройство преобразует влажность воздуха в процентное значение влажности почвы. На рисунке 4 представлена структура приборов [14].

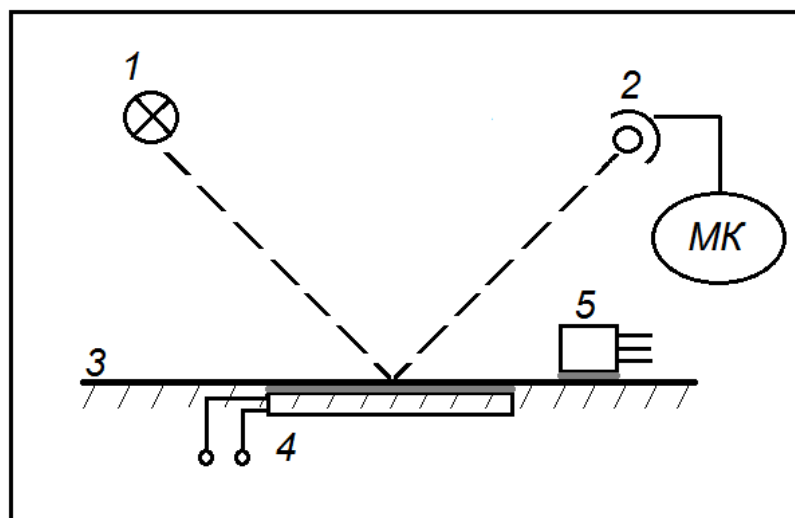


Рисунок 4 – Конструкция приборов

- 1 – светодиод;
- 2 – фотодиод;
- 3 – зеркальная поверхность;
- 4 – элемент пельтье;
- 5 – датчик температуры

*Недостатки метода:*

1. сложность реализации приборов на таком методе;
2. необходимо соблюдать чистоту зеркальной поверхности в процессе эксплуатации прибора;

*Достоинства метода:*

1. нет необходимости калибровки прибора к определённому типу почвы;
2. высокая точность измерений;
3. солевые растворы не влияют на результат измерения;
4. нет подготовки проб почвы;

Таблица отличительных особенностей приведена в приложении 1

## **2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Объект исследования – грунтовый слой, метод исследования – конденсационный (метод точки росы), позволяющий определить относительную влажность воздуха в почве. Метод лежит в основе работоспособности прибора для измерения влажности почвы.

Цель работы – разработать прибор для измерения влажности почвы на основе конденсационного метода.











## 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЕ

### 4.1 Предпроектный анализ

#### 4.1.1 Потенциальные потребители исследования

Целью магистерской диссертации является разработка прибора для измерения влажности почвы на основе метода точки росы. Целевым рынком для разрабатываемого алгоритма могут являться различные институты мониторинга параметров почвы, аналитические центры сельскохозяйственные компании, осуществляющие мониторинг за влажностью почвы.

Таблица 3. Сегментирование

Заинтересованные стороны	Характеристики			
	Низкая стоимость	Портативность	Мобильность	Точность
Институты мониторинга				
Аналитические центры				
Сельскохозяйственные компании	 	 		

 – Наш прибор     – Прибор другого производителя

#### 4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Результат научно исследовательской работы – это автоматизированный мобильный комплекс для мониторинга параметров влажности почвы. Мобильность устройства позволит упростить процедуру контроля за состоянием почвы, поскольку прибор будет работать от автономного источника и будет прост в использовании.

Детальный разбор 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.

Данный анализ проводится с помощью оценочной карты и отображен в таблице 4.

Таблица 4 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>
1	2	3	4	6	7
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>					
1. Точность измерений	0,10	4	4	0,40	0,40
2. Надежность	0,15	5	5	0,75	0,75
3. Удобство и простота эксплуатации	0,10	5	1	0,50	0,50
4. Портативность	0,15	5	5	0,75	0,15
5. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,10	5	5	0,50	0,50
6. Безопасность	0,10	5	5	0,5	0,5
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>					
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	4	5	0,20	0,25
2. Цена	0,10	5	3	0,50	0,30
3. Послепродажное обслуживание	0,05	4	2	0,20	0,10
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,10	3	4	0,30	0,40
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>45</b>	<b>39</b>	<b>4,60</b>	<b>3,85</b>

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

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

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Проанализировав оценочную карту, можно сделать вывод, что прибор для измерения влажности почвы на основе метода точки росы имеет высокую конкурентоспособность. Позиции конкурентов особенно уязвимы в простоте и удобстве использования. Конкурентное преимущество разработки заключается в цене, однако уступает в предполагаемом сроке эксплуатации.

#### 4.1.3 FAST-анализ

FAST-анализ выступает как синоним функционально-стоимостного анализа. Суть этого метода базируется на том, что затраты, связанные с созданием и использованием любого объекта, выполняющего заданные

функции, состоят из необходимых для его изготовления и эксплуатации и дополнительных, функционально неоправданных, излишних затрат, которые возникают из-за введения ненужных функций, не имеющих прямого отношения к назначению объекта, или связаны с несовершенством конструкции, технологических процессов, применяемых материалов, методов организации труда и т.д.

Проведение FAST-анализа предполагает шесть стадий:

1. Выбор объекта FAST-анализа;
2. Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом;
3. Определение значимости выполняемых функций объектом;
4. Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования;
5. Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ;
6. Оптимизация функций, выполняемых объектом.

**Стадия 1.** Объектом FAST-анализа является устройство для измерения влажности почвы.

**Стадия 2.** Главная функция объекта – определять влажность почвы.

В устройство входят следующие компоненты: Датчики температуры, светодиоды, фотодиод, элемент пельтье, зеркальная поверхность, радиатор, микроконтроллер, набор радиоэлементов (резисторы, конденсаторы), LCD экран, печатная плата.

Основная функция деталей: Элемент пельтье отвечает за охлаждение зеркальной поверхности; фотодиод принимает излучение от светодиода; LCD экран необходим для удобства чтения данных; радиатор выполняет функцию охлаждения элемента пельтье; печатная плата с микроконтроллером необходима для приёма, обработки и вывода результата.

Вспомогательная функция: болты – закрепляют печатную плату к радиатору на фиксированном расстоянии; пенопласт – защищает датчик

температуры от влияния внешней окружающей среды на показания, что может гарантировать более высокую точность.

Вся информация, полученная при выполнении данной стадии, представлена в таблице №5.

Таблица 5 – Классификация функций, выполняемых объектом исследования

Наименование детали (узла)	Кол-во деталей на узел	Выполняемая функция	Ранг функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная
Прибор измерения влажности почвы	–	Ф1. Определять влажность почвы	✓		
Элемент пельтье	1	Ф2. Охлаждение зеркальной поверхности		✓	
Зеркальная поверхность	1	Ф3. Индикатор появления конденсата		✓	
Светодиод	1	Ф4. Излучение света		✓	
Фотодиод	1	Ф5. Приём излучения от светодиода		✓	
Датчики температуры	2	Ф6. Измерение температуры запотевания и окружающей среды		✓	
LCD экран	1	Ф7. Вывод результата		✓	
Радиатор	1	Ф8. Охлаждение модуля пельтье		✓	
Печатная плата	1	Ф9. Приём, обработка и вывод результата		✓	
Болты	4	Ф10. Фиксация печатной платы			✓
Пенопласт	–	Ф11. Обеспечение более высокой точности показаний			✓

**Стадия 3.** Определение значимости выполняемых функций объектом.

Для оценки значимости функций используем метод расстановки приоритетов,

На первом этапе строим матрицу смежности функций (таблица 6).

Таблица 6 – Матрица смежности

	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф5	Ф6	Ф7	Ф8	Ф9	Ф10	Ф11
Ф1	=	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>
Ф2	<	=	>	>	>	>	>	>	>	>	>
Ф3	<	<	=	>	>	<	>	<	<	>	>
Ф4	<	<	<	=	<	<	<	<	<	>	>
Ф5	<	<	<	>	=	<	<	>	<	>	>
Ф6	<	<	>	>	>	=	>	>	<	>	>
Ф7	<	<	<	>	>	<	=	>	<	>	>
Ф8	<	<	>	>	<	<	<	=	<	>	>
Ф9	<	<	>	>	>	>	>	>	=	>	>
Ф10	<	<	<	<	<	<	<	<	<	=	<
Ф11	<	<	<	<	<	<	<	<	<	>	=

На втором этапе преобразуем матрице смежности в матрицу количественных соотношений функций (таблица 7).

Таблица 7 – Матрица количественных соотношений функций

	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф5	Ф6	Ф7	Ф8	Ф9	Ф10	Ф11	ИТОГО
Ф1	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	<b>16</b>
Ф2	0.5	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	<b>15</b>
Ф3	0.5	0.5	1	1.5	1.5	0.5	1.5	0.5	0.5	1.5	1.5	<b>11</b>
Ф4	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	1.5	<b>8</b>
Ф5	0.5	0.5	0.5	1.5	1	0.5	0.5	1.5	0.5	1.5	1.5	<b>10</b>
Ф6	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	1	1.5	1.5	0.5	1.5	1.5	<b>13</b>
Ф7	0.5	0.5	0.5	1.5	1.5	0.5	1	1.5	0.5	1.5	1.5	<b>11</b>
Ф8	0.5	0.5	1.5	1.5	0.5	0.5	0.5	1	0.5	1.5	1.5	<b>10</b>
Ф9	0.5	0.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1.5	1.5	<b>14</b>
Ф10	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0.5	<b>6</b>
Ф11	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	1	<b>7</b>
												<b>Σ=121</b>

На третьем этапе определим значимости функций путем деления балла, полученного по каждой функции на общую сумму баллов по всем функциям.

Для функции 1 относительная значимость равна  $16 / 121 = 0,13$ ; для функции 2 –  $15 / 121 = 0,13$ ; для функции 3 –  $11 / 121 = 0,09$ ; для функции 4 –  $8 / 121 = 0,07$ ; для функции 5 –  $10 / 121 = 0,09$ ; для функции 6 –  $13 / 121 = 0,11$ ; для функции 7 –  $11 / 121 = 0,09$ ; для функции 8 –  $10 / 121 = 0,09$ ; для функции 9 –  $14 / 121 = 0,12$ ; для функции 10 –  $6 / 121 = 0,05$ ; для функции 11 –  $7 / 121 = 0,05$ ;

**Стадия 4.** Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования.

На данной стадии с помощью специальных методов оценивается уровень затрат на выполнение каждой функции. Сделать это возможно с помощью применения нормативного метода. Расчет стоимости функций приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Деталь (узел)	Кол-во деталей	Функция	Норма расхода, кг	Трудоемкость детали, нормо-ч	Стоимость материала, руб	З/п, руб	Себестоимость, руб
Влагомер	–	Ф1. Измерение влажности почвы	–	–	–	–	–
Элемент пельтье	1	Ф2. Охлаждение зеркальца	–	0,5	400	50	450
Зеркальце	1	Ф3. Индикатор появления конденсата	–	1	50	15	65
Светодиод	1	Ф4. Излучение света	–	0,5	100	15	115
Фотодиод	1	Ф5. Прием излучения	–	0,5	70	20	90
Датчики температуры	2	Ф6. Измерение температур	–	1	120	30	150
LCD экран	1	Ф7. Вывод результата	–	2	500	100	600
Радиатор	1	Ф8. Теплоотвод	–	1	300	40	340
Печатная плата	1	Ф9. Прием, обработка и вывод результата	–	3	600	200	800
Болты	4	Ф10. Крепление платы	–	0,3	20	5	25
Пенопласт	–	Ф11. Защита от помех	–	0,5	30	15	45
<b>Итого</b>							<b>2680</b>

Общая стоимость функций равна 2680 рублей. Для функции 2 –  $450/2680 = 0,17$ ; для функции 3 –  $65/2680=0,025$ ; для функции 4 –  $115/2680=0,05$ ; для



функции 5 –  $90/2680=0,034$ ; для функции 6 –  $150/2680=0,06$ ; для функции 7 –  $600/2680=0,23$ ; для функции 8 –  $340/2680=0,13$ ; для функции 9 –  $800/2680=0,30$ ; для функции 10 –  $25/2680=0,01$ ; для функции 11 –  $45/2680=0,02$ ;

**Стадия 5.** Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ.

Информация об объекте исследования, собранная в рамках предыдущих стадий, на данном этапе обобщается в виде функционально-стоимостной диаграммы (ФСД) (Рисунок 18) Анализ построенной ФСД показывает явное наличие рассогласования по функциям 7, 9;

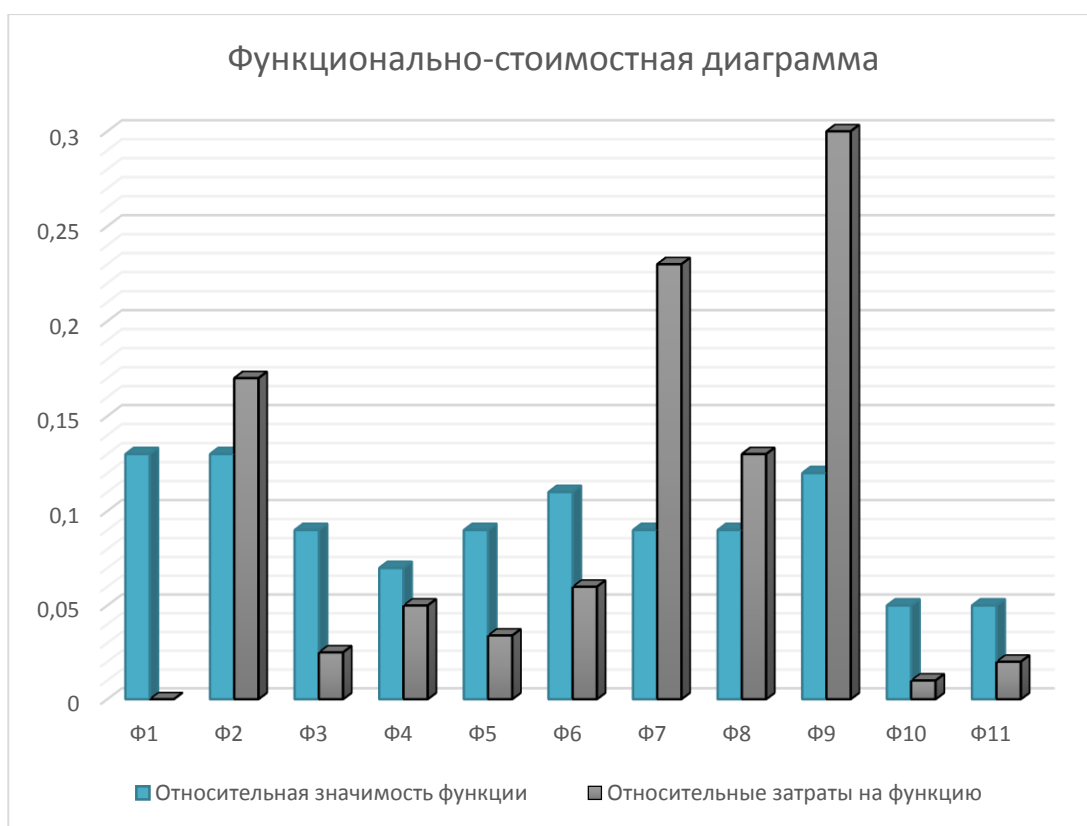


Рисунок 18 - ФСД

**Стадия 6.** Оптимизация функций, выполняемых объектом.

На данном этапе для экономии предлагается следующее:

- Найти и использовать более дешевый LCD экран;
- Найти программиста, который справится с травлением и сбором печатной платы быстрее;

В результате проведенного FAST-анализа были выявлены диспропорции между относительными затратами на функцию и ее относительной значимостью.

Были предложены шаги, которые помогут снизить затраты и при этом не понизить потребительские свойства объекта.

#### 4.1.4 SWOT-анализ

Первый этап SWOT–анализа заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта. Результаты первого этапа представлены в виде матрицы (таблица 9).

Таблица 9 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1: Низкая стоимость С2: Минимальные затраты на производство С3: Удобство и простота эксплуатации С4: Малогабаритность С5: Мобильность прибора	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие патента на изобретение Сл2:Трудности при внедрении в промышленность
Возможности: В1: Появление доп. спроса на новый продукт. В2: Повышение стоимости конкурентных разработок	В1С1С2С3С4С5 – низкая стоимость, простота эксплуатации и мобильность прибора повышают конкурентность прибора на рынке оборудования для мониторинга В2С3С4С5 – повышение стоимости конкурентных разработок может положительно сказаться на спросе нашего устройства	
Угрозы: У1: Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2: Недостаточность денежных средств на реализацию проекта		У2Сл1Сл2 – При отсутствии финансирования нет возможности внедрить разработку в промышленность; отсутствие патента делает нашу разработку незащищённой

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторона научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. В таблице 10 приведена интерактивная матрица возможностей, угроз, сильных и слабых сторон проекта.

Таблица 10 – Интерактивная карта проекта

	Сильные стороны					Слабые стороны	
	С1	С2	С3	С4	С5	Сл1	Сл2
В1	+	+	+	+	+	-	-
В2	-	-	+	+	+	-	-
У1	-	-	-	-	-	+	+
У2	-	-	-	-	-	+	+

#### 4.1.5 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта. линейный график представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Ответственный исполнитель (ФИО)
1	Составление и утверждение ТЗ	15	01.09.2016	15.09.2016	Шестаков В.В.
2	Получение задания по теме	10	20.09.2016	30.09.2016	Шестаков В.В. Мерзляков А.В.
3	Лит. Обзор	30	01.10.2016	30.10.2016	Мерзляков А.В.
4	Выбор направления исследования	5	01.11.2016	5.11.2016	Шестаков В.В. Мерзляков А.В.
5	Постановка целей и задач	14	6.11.2016	20.11.2016	Шестаков В.В. Мерзляков А.В.
6	Анализ конкурентных технология	9	21.11.2016	30.12.2016	Мерзляков А.В.
7	Подбор электронных компонентов для прибора	15	15.01.2017	30.01.2017	Мерзляков А.В.
8	Изготовление макета прибора	90	01.02.2017	30.05.2017	Мерзляков А.В.
9	Разработка ПО	150	01.09.2017	25.01.2018	Мерзляков А.В. Шестаков В.В.
10	Изготовление опытного образца	60	01.02.2018	30.03.2018	Мерзляков А.В.
11	Испытание опытного образца	30	01.04.2018	20.04.2018	Мерзляков А.В.
12	Анализ полученных результатов	9	21.04.2018	30.04.2018	Шестаков В.В. Мерзляков А.В.
13	Подготовка и оформление отчёта	7	01.05.2018	08.05.2018	Мерзляков А.В.
14	Сдача проекта	1	13.06.2018	14.06.2018	Мерзляков А.В.
<b>Итого</b>		<b>414</b>			

Код работы (ИСР)	Вид работы	Исполнители	Т <sub>к</sub> , кал, дни	Продолжительность выполнения работ													
				Сентябрь 2016	Октябрь 2016	Ноябрь 2016	Декабрь 2016	Январь 2017	Февраль 2017	Май 2017	Сентябрь 2017	Январь 2018	Февраль 2018	Март 2018	Апрель 2018	Май 2018	Июнь 2018
1	Составление и утверждение ТЗ	Руководитель	15	▨													
2	Получение задания по теме	Исполнитель Руководитель	10	▨													
3	Лит. Обзор	Исполнитель	30		▨												
4	Выбор направления исследования	Исполнитель Руководитель	5			▨											
5	Постановка целей и задач	Исполнитель Руководитель	14			▨											
6	Анализ конкурентных технология	Исполнитель	8				▨										
7	Подбор компонентов для прибора	Исполнитель	15					▨									
8	Изготовление макета прибора	Исполнитель	90						▨								
9	Разработка ПО	Исполнитель Руководитель	150							▨							
10	Изготовление опытного образца	Исполнитель	60									▨					
11	Испытание опытного образца	Исполнитель	30											▨			
12	Анализ полученных результатов	Исполнитель Руководитель	9												▨		
13	Подготовка и оформление отчёта	Исполнитель	7													▨	
14	Сдача проекта	Исполнитель	1														▨

▨ – руководитель; ▨ – исполнитель

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм, который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме предоставляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

## 4.2 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для выполнения работ по данной теме. В данном разделе отражены все виды планируемых расходов, необходимые для выполнения проекта.

### 4.2.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3–5% от цены). Результаты представлены в таблице 12. В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов).

Таблица 12 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб	Сумма, руб
Датчик температуры	DS18b20	1	120	240
Элемент пельтье	шт.	1	300	300
LCD WEN1202	шт.	1	1200	1200
МК Atmega8	шт.	1	140	140
Светодиод	шт.	2	10	20
Фотодиод	шт.	1	20	20
Транзистор	шт.	2	75	150
Текстолит	шт.	1	200	200
Зеркальная поверхность	шт.	1	30	30
Радиатор	шт.	1	200	200
Термопаста	шт.	1	120	120
<b>Всего за материалы:</b>				<b>2620</b>
<b>Транспортно-заготовительные расходы (3-5%):</b>				<b>131</b>
<b>Итого по статье С<sub>м</sub>:</b>				<b>2751</b>

Бюджет на сырье, материалы и покупные изделия составил 2620 рублей, плюс транспортно-заготовительные расходы 131 руб.. Итого сырье, материалы и покупные изделия вышло 2751 рубль.

#### **4.2.2 Специальное оборудование для научных работ**

В данную часть включает все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Все расчеты по приобретению спецоборудования сведены в таблице 13.

Таблица 13 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование оборудования</b>	<b>Количество единиц оборудования</b>	<b>Цена ед. оборудования, руб</b>	<b>Общая стоимость оборудования, руб</b>
1	Персональный компьютер	1	25000	25000
2	Весы лабораторные I и II класса	1	62500	62500
3	Программатор для прошивки МК	1	1500	1500
Итого				89000

Расходы на специальное оборудование для научных работ составили 89000 рублей.

#### **4.2.3 Основная заработная плата**

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется, исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок в Томском политехническом университете. Расчет основной заработной платы сведен в таблицу 14.

Таблица 14 – Расчет основной заработной платы

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование этапов</b>	<b>Исполнитель по категориям</b>	<b>Трудоемкость, чел.-дни</b>	<b>З/п, приходящаяся на 1 чел.-дн., руб</b>	<b>Всего заработная плата по тарифу, руб</b>
1	Составление и утверждение ТЗ	Руководитель	15	1249.3	18739,5

2	Получение задания по теме	Исполнитель Руководитель	10	1249.3 94.64	12493 946,4
3	Лит. Обзор	Исполнитель	30	94.64	2839,2
4	Выбор направления исследования	Исполнитель Руководитель	5	1249.3 94.64	6246,5 473,2
5	Постановка целей и задач	Исполнитель Руководитель	14	1249.3 94.64	17490,2 1324,96
6	Анализ конкурентных технология	Исполнитель	8	94.64	757,12
7	Подбор компонентов	Исполнитель	15	94.64	1419,6
8	Изготовление макета прибора	Исполнитель	90	94.64	8517,6
9	Разработка ПО	Исполнитель Руководитель	150	1249.3 94.64	187395 14196
10	Изготовление опытного образца	Исполнитель	60	94.64	5678,4
11	Испытание опытного образца	Исполнитель	30	94.64	2839,2
12	Анализ результатов	Исполнитель Руководитель	9	1249.3 94.64	11243,7 851,76
13	Оформление отчёта	Исполнитель	7	94.64	662,48
14	Сдача проекта	Исполнитель	1	94.64	94,64
<b>Итого</b>					<b>294208,46</b>

Заработная плата:

$$C_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп};$$

Где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{доп} \cdot T_{раб};$$

где  $T_{раб}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (Таблица 12);  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d};$$

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

М – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 24 раб. дня М =11,2 месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней М=10,4 месяца, 6-дневная неделя);

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

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_6 \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p;$$

где  $Z_6$  – заработная плата по тарифной ставке, руб. (Должностные оклады ППС и педагогических работников с 01.06.2016 г.);

$k_{np}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_6$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2;

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

Расчет основной заработной платы переведен в Таблице 16.

Таблица 15 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	561	561
Количество нерабочих дней:	186	186
– выходные дни	159	159
– праздничные дни	27	27
Потери рабочего времени	0	0
– отпуск	0	0
– невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	375	375

Таблица 16 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_6$ , руб.	$k_{np}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб	$T_p$ , раб.дн.	$Z_{осн}$ , руб
Руководитель	23100	0.3	0.2	1.3	45045	1249.3	203	253607,9
Студент	1750	0.3	0.2	1.3	3412,5	94.64	429	40600,6
							<b>Итого</b>	<b>294208,5</b>

Основная заработная плата руководителя проекта составила 253607,9 рублей, исполнителя проекта (студента) – 40600,6 рубля.



#### **4.2.4 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала**

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде (в среднем – 12% от суммы основной заработной платы).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн};$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы.

В таблице 17 приведен расчет основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 17 – Заработная плата исполнителей НТИ

<b>Заработная плата</b>	<b>Руководитель</b>	<b>Студент</b>
Основная зарплата	253607,9	40600,6
Дополнительная зарплата	30433	4872,1
Зарплата исполнителя	284040,9	45472,7
<b>Итого по статье С<sub>зн</sub></b>	<b>329513,6</b>	

Дополнительная заработная плата руководителя проекта составила 30433 рубля, исполнителя проекта (студента) – 4872,1 рубля. Полная заработная плата руководителя проекта составила 284040,9 рублей, исполнителя проекта (студента) – 45472,7 рублей. Итого по статье заработная плата вышло 329513,6 рублей.

#### **4.2.5. Отчисление на социальные нужды**

Отчисления во внебюджетные фонды рассчитывают по формуле:

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

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

На 2017 г. в соответствии с Налоговым кодексом РФ, г. 34, ст. 427 [] «Пониженные тарифы страховых взносов» отчисления на социальные нужды для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, будут составлять 30,2% (пенсионный фонд на обязательное пенсионное страхование 22%; фонд социального страхования 2,9%; фонд обязательного медицинского страхования 5,1%; согласно приказу МПР № 851н научные

исследования и разработки в области естественных и технических наук, общероссийский классификатор видов экономической деятельности 72.1 относится к I классу профессионального риска, отчисления равны 0,2%).

Расчет отчисления на социальные нужды представлен в таблице 18.

Таблица 18 – Отчисления во внебюджетные фонды

Налогоплательщик	Заработная плата (З <sub>осн</sub> +З <sub>доп</sub> ), руб	Коэффициент отчислений	Отчисления во внебюджетные фонды, руб
Руководитель	284040,9	0.302	85780,4
Студент	45472,7	0.302	13732,8
<b>Итого по статье С<sub>внеб</sub></b>			<b>99513,2</b>

Отчисления во внебюджетные фонды составили 99513,2 рублей.

#### **4.2.6. Накладные расходы**

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

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}});$$

где  $k_{\text{накл}} = 0,8$  – коэффициент накладных расходов.

Таким образом, накладные расходы равны:

$$C_{\text{накл}} = 0.8 \cdot 329513,6 = 263610,9 \text{ руб.}$$

#### **4.2.7. Итоговый бюджет научного исследования**

Расчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведено в таблице 19.

Таблица 19 – Расчет бюджета затрат НИИ

<b>Наименование статьи</b>	<b>Сумма, руб</b>
Материальные затраты НИИ	2751
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	89000
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	294208,5
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	35305,1
Отчисления во внебюджетные фонды	99513,2
Накладные расходы	263610,9
<b>Бюджет затрат НИИ</b>	<b>784388,7</b>

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы была построена карта сегментирования рынка, в которой отображены основные заинтересованные стороны в результатах проекта, а также обнаружена основная сильная сторона разработки.

Проведен краткий анализ конкурентных технических решений и комплексный анализ проекта, в котором представлены технические и экономические критерии оценки эффективности. Также проведена оценка конкурентоспособности разработки.

Построена интерактивная матрица проекта, в которой выявлены слабые и сильные стороны проекта, относительно возможностей и угроз со стороны внешнего воздействия. Несоответствия взаимосвязей проекта, помогают в выявлении необходимости проведения стратегических изменений.

В результате проведенного FAST-анализа были выявлены диспропорции между относительными затратами на функцию и ее относительной значимостью. Были предложены шаги, которые помогут снизить затраты и при этом не понизить потребительские свойства объекта.

Проведено планирование научно-исследовательских работ. Определены контрольные события проекта и их даты. Построен календарный график проведения исследования (диаграмма Ганта). Продолжительность общих работ составила около 570 дней.

Рассчитан бюджет научного исследования. Подсчитаны материальные затраты научного исследования, затраты на специальное оборудование, основная и дополнительная заработные платы исполнителей проекта, отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы.

## **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА**

1. Мерзляков А.В. Разработка прибора для измерения влажности почвы на основе бесконтактного метода / А.В. Мерзляков // Сборник научных трудов VI международной конференции студентов. – 2017. – С. 84.