

**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: *11.03.04 Электроника и микроэлектроника*  
Отделение электронной инженерии

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Система управления ультразвукового распылителя инсулина для лечения больных сахарным диабетом</b>

УДК 621.647.23-022.52: 616.379-008.64-07

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А41	Аверкиев Андрей Алексеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Арышева Галина Владиславовна	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицын Владислав Владимирович	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Юлия Владимировна	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электронной инженерии	Баранов Павел Фёдорович	к.т.н.		

Томск – 2018 г.

## Планируемые результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые и специальные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в комплексной инженерной деятельности при разработке, производстве, исследовании, эксплуатации, обслуживании и ремонте современной высокоэффективной электронной техники	Требования ФГОС (ПК-1–3, 6, 8–12) <sup>1</sup> , Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Ставить и решать задачи комплексного инженерного анализа и синтеза с использованием базовых и специальных знаний, современных аналитических методов и моделей	Требования ФГОС (ПК-16, ОК-2, 3), Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
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	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-3). Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
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	Требования ФГОС (ПК-3, 6, 9 – 11), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
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	Требования ФГОС (ОК-1; ПК-6, ПК-18 – 21). Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование в предметной сфере электронного	Требования ФГОС (ПК-13 – 14, 27–30), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный

<sup>1</sup> Указаны коды компетенций по ФГОС ВПО (направление 210100 – Электроника и нанoeлектроника), утвержденному Приказом N 743 Министерства образования и науки РФ от 21.12.2009 г.

	приборостроения, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды	с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Использовать базовые и специальные знания в области проектного менеджмента для ведения комплексной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ОК-9; ПК-21, 22). Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-3, ОК-14; ПК-11, 15, 21), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
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	Требования ФГОС (ОК-8; ПК-23), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Демонстрировать личную ответственность, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-4–5), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Демонстрировать знание правовых, социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности	Требования ФГОС (ОК-9, 15, 16; ПК-17), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P12	Проявлять способность к самообучению и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-6), Критерий 5 АИОР (2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

**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: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника  
 Отделение электронной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
 (Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

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

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
1А41	Аверкиеву Андрею Алексеевичу

Тема работы:

Система управления ультразвукового распылителя инсулина для лечения больных сахарным диабетом	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	19.06.2018г.
--	--------------

**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>Разработка системы управления для распыления инсулина с помощью ультразвука</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>	<p>Обзор литературы                      Рассмотреть принцип работы ультразвукового распылителя, его основные параметры                      Рассмотреть типы инсулина                      Выбрать подходящий тип инсулина                      Рассмотреть существующие системы ультразвуковых распылителей                      Выполнить расчет размера пор слизистой оболочки полости рта                      Разработать структурную схему                      Разработать принципиальную схему                      Разработать алгоритмы и коды программ</p>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b>	Спицын В.В.
<b>Социальная ответственность</b>	Анищенко Ю.В.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Введение	
Актуальность	
Обзор литературы	
Материалы и методы исследования	
Расчет размера пор слизистой оболочки полости рта и выбор оптимального типа инсулина	
Разработка структурной схемы	
Разработка принципиальной схемы	
Расчеты и аналитика	
Обсуждение результатов	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
Социальная ответственность	
Заключение	
Введение	

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

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Арышева Галина Владиславовна	к.т.н.		11.01.2018г.

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1А31	Аверкиев Андрей Алексеевич		11.01.2018г.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1А41	Аверкиеву Андрею Алексеевичу

<b>Школа</b>	<b>ИШНКБ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>Электронной инженерии</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оклад руководителя - 23100 руб. Оклад инженера - 17000 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Премиальный коэффициент руководителя 30%; Премиальный коэффициент инженера 30%; Надбавки руководителя 50%; Надбавки инженера 50%; Дополнительной заработной платы 12%; Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 30%.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	-Анализ конкурентных технических решений
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Гантта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; - заработная плата (основная и дополнительная); - отчисления на социальные цели; - накладные расходы.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- Определение эффективности исследования

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

1. <i>Оценочная карта конкурентных технических решений</i>
2. <i>График Гантта</i>
3. <i>Расчет бюджета затрат НИ</i>

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицын В.В.	К.- Э.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А41	Аверкиев Андрей Алексеевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА**  
**«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1А41	Аверкиеву Андрею Алексеевичу

<b>Школа</b>	<b>ИШНКБ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Электронной инженерии</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Электроника и наноэлектроника

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

<i>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</i>	Объект исследования – система управления, осуществляющая создание ультразвуковых импульсов, для распыления инсулина. Область применения - медицина
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Производственная безопасность</b> <i>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</i> <i>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</i>	Анализ выявленных вредных факторов: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Отклонение параметров микроклимата в помещении;</li> <li>• Недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>• Повышенный уровень электромагнитных излучений;</li> <li>• Повышенный уровень ультразвука</li> </ul> Анализ выявленных опасных факторов: Электрический ток, статическое электричество;
<b>2. Экологическая безопасность:</b>	анализ влияния процесса исследования на окружающую среду; анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	- Возможные ЧС: пожар, природное бедствие; - Наиболее типичным ЧС является пожар; - При ЧС выполнять предписания плана эвакуации
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;

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

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1А41	Аверкиев Андрей Алексеевич		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 94 с., 16 рис., 16 табл., 31 источник, 6 прил.

Ключевые слова: система управления, сахарный диабет, ультразвуковая распылительная головка, ультразвуковой ингалятор, инсулин, кавитация, атомизация жидкости, средний диаметр капель (фракции).

Объектами исследования является система управления ультразвукового распылителя инсулина, способ доставки инсулина перорально.

Цель работы - создание собственной системы управления ультразвукового распылителя инсулина, условий её использования и дальнейших проводимых исследований, связанных с применением для людей, страдающих сахарным диабетом.

В процессе исследования выполнен сравнительный анализ нескольких видов ультразвуковых распылительных приборов жидкости (их устройство и принцип работ).

В результате исследования разработаны структурная и принципиальная схемы системы управления, написаны алгоритмы и программы работы.

По данной работе было написано несколько статей на русском и английском языках, некоторые из них опубликованы, но имеются те, которые проходят индексацию. Получены сертификаты и дипломы на международных конференциях и акселератских программах.

Областью применения является медицина, а именно лечение пациентов с диагнозом «сахарный диабет».

В будущем планируется написание научно-исследовательских статей по данной работе. Будет продолжена разработка устройства, которое в последствии станет частью ультразвукового распылителя инсулина. На данном этапе будут продолжены участия в международных конференциях, а также будут подаваться заявки на гранты.



## **Нормативные ссылки**

В данной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»
2. СанПиН 2.2.4. /2.1.8.582—96 «Гигиенические требования при работах с источниками воздушного и контактного ультразвука промышленного, медицинского и бытового назначения»
3. ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования»
4. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»
5. ГОСТ Р 12.1.019-2009 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»
6. ГОСТ 12.1.030-81 «Электробезопасность. Защитное заземление, зануление»

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	13
АКТУАЛЬНОСТЬ .....	14
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ .....	15
1.1. Ультразвуковая кавитация .....	15
1.2. Отличие между ультразвуковым ингалятором и ультразвуковой распылительной головкой .....	17
1.3. Размеры капель напыления .....	19
1.4. Виды инсулина .....	20
1.5. Типы инсулина .....	21
1.6. Характеристики инсулина .....	22
1.7. Эффективность инсулина .....	22
2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	23
2.1. Ультразвуковая колебательная система для распыления жидкостей ...	23
2.2. Процесс распыления ультразвуковых распылительных головок .....	31
2.3. Конструкция ультразвуковой распылительной головки .....	32
2.4. Размеры пор слизистой оболочки полости рта .....	33
2.5. Анализ принципиальной схемы ультразвукового ингалятора .....	39
2.6. Выбор и обоснование структурной схемы .....	41
2.7. Выбор и обоснование принципиальной схемы .....	41
3 РАСЧЕТ И АНАЛИТИКА .....	43
3.1. Расчет мощности излучателя .....	43
3.2. Расчет схемы индикации .....	43
3.3. Расчет усилителя .....	43
3.4. Расчет трансформатора .....	44
3.5. Расчет системы управления .....	46
3.6. Алгоритмы работы программ .....	47
3.6.1 Алгоритм работы программы для ПК .....	47
3.6.2 Алгоритм работы программы для микроконтроллера .....	50

4	ОЦЕНКА КОММЕРЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА И ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ПОЗИЦИИ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ.....	52
4.1.	Потенциальные потребители результатов исследования.....	52
4.2.	Анализ конкурентных технических решений.....	52
4.3.	Планирование научно- исследовательских работ.....	54
4.4.	Структура работ в рамках научного исследования.....	54
4.5.	Определение трудоемкости выполнения работ.....	55
4.6.	Разработка графика проведения научного исследования.....	56
4.7.	Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	58
4.8.	Расчет материальных затрат НТИ.....	59
4.9.	Основная заработная плата исполнителей темы.....	60
4.10.	Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	62
4.11.	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	63
4.12.	Накладные расходы.....	63
4.13.	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	64
4.14.	Определение эффективности исследования.....	64
5	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	65
	Введение.....	65
5.1.	Производственная безопасность.....	65
5.2.	Отклонение параметров микроклимата в помещении.....	66
5.3.	Повышенный уровень ультразвука.....	68
5.4.	Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	68
5.5.	Повышенный уровень электромагнитных излучений.....	70
5.6.	Повышенный уровень статического электричества.....	71
5.7.	Поражение электрическим током.....	72
5.8.	Экологическая безопасность.....	73
5.9.	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	73
5.10.	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	75
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	77
	СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ.....	79

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЛИТЕРАТУРЫ.....	80
Приложение А. Описание микроконтроллера STM32F3.....	83
Приложение Б. Максимально допустимые параметры КТ920А.....	84
Приложение В. Принципиальная схема .....	85
Приложение Г. Перечень элементов .....	86
Приложение Д. Код программы для РС (Visual Studio).....	87
Приложение Е. Код программы для микроконтроллера (Eclipse).....	89

## **ВВЕДЕНИЕ**

Системы с ультразвуковыми распылительными головками заменили во многих индустриях и исследовательских приложениях обычные распылители, ингаляторы и др., а также сделали возможными многие распылительные процессы, в том числе в медицине (усовершенствование процессов распыления медицинских препаратов).

Озабоченность проблемами окружающей среды, недопустимыми количествами промышленных отходов, а также побочными эффектами применения различных медицинских препаратов для пациентов заставила производителей использовать системы с ультразвуковой распылительной головкой, как технологию, которая более точна, контролируема, экологически чистая и безвредная для пациентов.

Распылительные ультразвуковые головки, являются не забивающимися, самоочищающимися устройствами, которые атомизируют жидкость, используя звуковые волны высокой частоты (за пределами восприятия человеческого слуха), вместо того чтобы проталкивать с силой жидкость через маленькое отверстие, используя высокое давление, что открывает широкий диапазон их применения.

## **АКТУАЛЬНОСТЬ**

По статистике на 2014 год в России диагноз «Сахарный диабет» был поставлен 3,96 млн человек, при этом реальная цифра значительно выше – только по неофициальным оценкам, количество больных составляет более 11 млн. Международная Федерация Диабета (IDF) недавно опубликовала обновленные данные, показавшие, что во всем мире диабетом больны уже 382 млн человек (это втрое выше, чем в 1990 году). Каждые 5 секунд в мире кто-то заболевает сахарным диабетом, а каждые 7 секунд кто-то умирает от этой болезни, которая получила статус неинфекционной эпидемии XXI века.

Каждый человек больной сахарным диабетом 1-ого типа, вынужден делать подкожные инъекции инсулина, внутримышечно – от чего у многих пациентов остаются «шишки» под кожей, повреждение мягких тканей и болевые ощущения продолжительное время, кроме того сама процедура инъекции проходит довольно болезненно.

Разработка ультразвукового устройства, распыляющего инсулин (с размером фракций, позволяющих его проникновению в кровеносную систему через слизистые оболочки организма человека), направлена на уменьшение проблем, связанных с необходимостью делать инъекции инсулина, что является очень болезненным процессом (особенно у детей и беременных женщин) и, как следствие, на повышение эффективности лечения больных сахарным диабетом (возможно ускорение лечения).

## 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

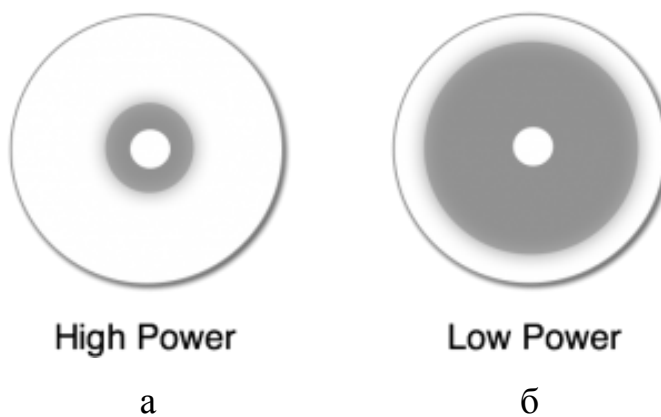
### 1.1. Ультразвуковая кавитация

Ультразвуковая атомизация происходит на кончике ультразвуковой распылительной головки за счет быстрого механического движения вверх и вниз наконечника распылительной головки, которое приводит к тому, что жидкостная пленка формирует стационарные капиллярные волны. Когда амплитуда капиллярной волны, которая является функцией от количества потребляемой мощности (как правило, в диапазоне от 1 до 20 Вт), достигает пика, что требуется для устойчивости системы, жидкость на пике своей мощности отрывается в виде капель. Кавитация будет происходить, если уровень такой энергии будет чрезмерным. Вместо того, чтобы образовать идеальную пленку на кончике распылительной головки, чрезмерная энергия заставит жидкость появляться из сопла для преждевременного аэрозольного распыления (что буквально означает - "разрываться" на капли неравномерного размера). Кавитацию можно видеть, наблюдая за тем насколько жидкость "увлажняет" наконечник распылительной головки.

В качестве самого первого примера рассмотрим «идеальный» случай [1]. Каждое изображение на рисунке 1 представляет собой вид наконечника сопла, который смотрит прямо. Центральный круг представляет жидкостное отверстие или орфис, из которого жидкость просачивается на наконечник распылительной головки. Внутренний серый круг представляет собой жидкую пленку. Сделаем допущение, что для обоих примеров, жидкость и скорость потока одинаковы, а значит единственным отличием является уровень мощности. В примере с низким потреблением энергии, можно увидеть, что большая часть поверхности распылительной головки имеет жидкую пленку, но следует обратить внимание на то, что пленка не распространяется на края, а значит часть жидкости кавитируется или отрывается от наконечника сопла до того, когда она могла бы правильно атомизироваться.

Кроме того, ультразвуковая кавитация производит капли разного размера, в то время как ультразвуковое распыление создает более одинакового размера

капели, поскольку они формируются за счет более контролируемого механического процесса противопоставленного грубой силе. Поэтому, наилучшим способом установить оптимальный уровень мощности для данной частоты распылительной головки, а также скорости потока и типа материала, это установить мощность примерно на один ватт выше точки срыва.



**Рисунок 1** – Вид наконечника сопла распылителя при высокой (а) и низкой (б) используемой мощности кавитации [1]

Рассмотрим пример с мощностью распыления равной 3 Вт, когда жидкость атомизируется и не кавитирует. Пленка на кончике выглядит как нечто среднее между примерами с высокой и низкой мощностью (рис. 1). При постепенном снижении мощности на устройстве необходимо достичь момента, когда произойдет срыв сопла, предположим - на мощности в 1 ватт. Срыв происходит, когда большая капля образуется на наконечнике и атомизация прекращается. К полученному значению (1 ватт) добавляем еще 1 ватт, установив свой идеальный уровень мощности до 2 Вт. Теперь, повторив эксперимент, если наконечник сопла выглядит примерно так, как пример с низким потреблением энергии (рис. 1, б), это может означать хорошую установку мощности прибора.

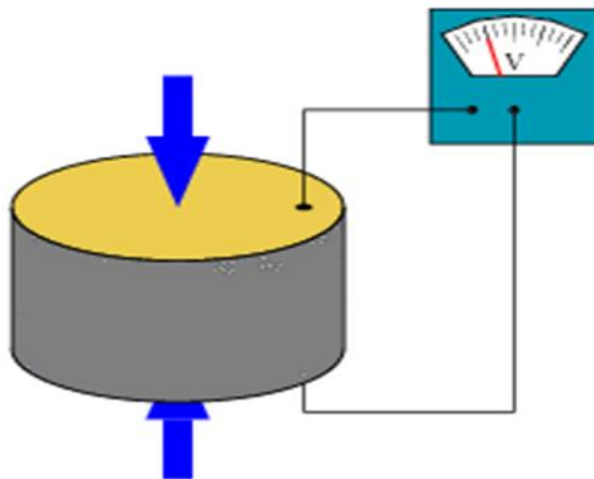
Кроме того, пленка не должна быть слишком близко к краю из-за возможного риска обертывания пленкой наконечника распылительной головки, что в свою очередь вызовет нежелательные распыления по сторонам, т.к. жидкость атомизируется в сторону от наконечника.



## 1.2. Отличие между ультразвуковым ингалятором и ультразвуковой распылительной головкой

Ультразвуковые ингаляторы и ультразвуковая распылительная головка используют пьезоэлектрические преобразователи для генерации атомизированных частиц. Обе системы применяют напряжение на пьезоэлектрических преобразователях, которые будут вибрировать на высокой частоте в движение вверх и вниз.

Ультразвуковой ингалятор использует поверхность пьезоэлектрического диска в качестве поверхности атомизации, в то время как ультразвуковая распылительная головка использует пьезоэлектрический преобразователь для вибрации металла (например, титан) на резонансной частоте. Вибрация этого преобразователя из титана подобна концепции вибрирующей вилки (рис. 2). То же самое движение вверх и вниз пьезоэлектрического преобразователя передается на ультразвуковой наконечник распылительной головки, который также будет вибрировать в том же направлении (вверх и вниз).



**Рисунок 2** – Концепция пьезоэлектрического преобразователя [1]

В отличие от ультразвукового ингалятора, который непосредственно использует поверхности пьезоэлектрического диска, атомизация жидкости происходит с поверхности распылительной головки. Однако, обе системы называются ультразвуковыми, так как они работают в ультразвуковом диапазоне, который начинается при 20 кГц [2].

Особенности ультразвуковых ингаляторов. Ультразвуковые ингаляторы, используемые в промышленности для создания атомизированных спреев, как правило, работают на частоте 1-2 МГц. Источник питания часто находится в диапазоне 12-15 Вт. Частота определяет размер капель.

В работе [3] показано, что система 2,4 МГц, например, будет генерировать средний размер частиц 1-2 мкм, в сравнении с системой 1,65 МГц - средний размер частиц лежит в диапазоне 5-7 мкм.

Из-за прямого контакта жидкости с пьезоэлектрическим преобразователем на нем могут накапливаться твердые частицы, которые будут оказывать влияние на его производительность, что делает сложным техническое обслуживание многих промышленных ингаляторов. Ультразвуковые ингаляторы популярны в приложениях спрей пиролиза.

Особенности ультразвуковых распылительных головок. Ультразвуковые распылительные головки работают на гораздо более низкой частоте ультразвуковых ингаляторов и имеют физические ограничения в их рабочем диапазоне. Представьте органную трубу. Чем больше труба, тем ниже звук, соответственно, тем меньше частота. Небольшие органные трубы делают более высокие звуки, но они вибрируют более энергично, чем более крупные. Это важная концепция в ультразвуковой конструкции распылительной головки.

В течение нескольких десятилетий рабочий диапазон ультразвуковой распылительной головки находился между 25 и 120 кГц. Последние несколько лет, новая наука материалов и производственная практика подтолкнули этот диапазон немного выше, но ненамного. Основной барьер, заключается в том, что, так как распылительные головки конструируются на высокой частоте, они становятся очень маленькими, но содержат много мощности, которая генерируют более высокий стресс и нагревание в системе. Зачем тогда пытаться построить распылительные головки высокой частоты?

Размер капли - является ответом на данный вопрос. При увеличении частоты, ультразвуковая головка генерирует более мелкие капли. Размер

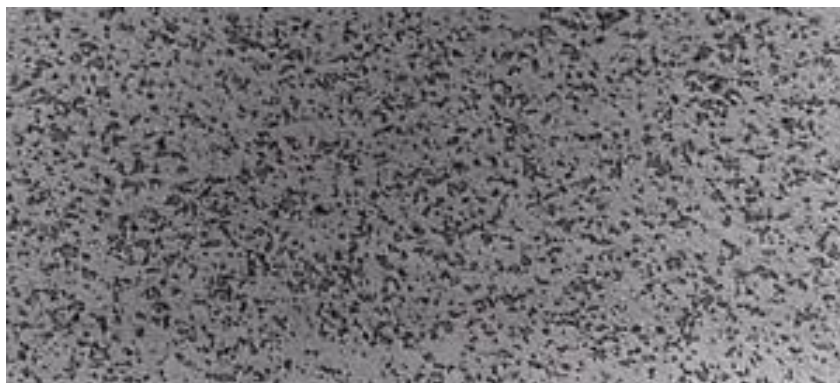
капли очень важен не только во многих применениях тонкой пленки, но и там, где спрей претерпевает трансформацию (спрей пиролиза и т.д.) [4]. Таким образом, очень важно применять правильную технологию и частоту работы прибора.

### **1.3. Размеры капель напыления**

Частота ультразвуковой распылительной головки определяет размер капель. Чем выше частота, тем меньше "начальная" капля. Большинство потребителей, однако, больше озабочены размером капли, которая вступает в контакт с их деталью. В качестве примера в [5] рассмотрено тонкое пленочное покрытие на широкой подложке.

Идеальное функциональное покрытие может быть в большей степени не как пленка, а больше как образец напыления. Для достижения такого рода покрытия следует проанализировать многие факторы, один из которых, конечно, начальный размер капель, генерируемый данной ультразвуковой распылительной головкой. То, что многие потребители упускают из вида, является важной особенностью испарения в конечном размере капли, которая вступает в контакт с деталью.

Не редкость для потребителей, думать, что им необходима наименьшая из возможных начальных капель (т.е. ультразвуковая распылительная головка высокой частоты), но когда они запускают свою систему, покрытие становится сухим. Все растворители, выпариваются до того, как твердые частицы в растворе успевают покрыть деталь. Другими словами, они теряют все характеристики создания пленки и вместо этого становятся порошковым покрытием (рис. 3).



### **Рисунок 3 – РЭМ-изображение порошкового покрытия [5]**

Несомненно, частота ультразвуковой распылительной головки очень важна, но самая высокая частота не всегда лучше. Рассмотрение типов растворителя (с высокой температурой кипения, по сравнению с низкой), расстояние распылительной головки от подложки и скорости потока также играют роль в определении конечного размера капель, а, следовательно, качества покрытия [6].

#### **1.4. Виды инсулина**

Существуют различные виды инсулина, причем разделение происходит в зависимости от того, насколько быстро они работают, когда они достигают пика своего действия, и как долго длится эффект от их воздействия.

Инсулин доступен в различной степени интенсивности действия. Наиболее распространенным является U-100.

Весь инсулин доступный в Соединенных Штатах производится в лабораторных условиях, но животный инсулин может все еще быть импортированы для личного пользования.

Внутри поджелудочной железы, бета - клетки производят гормон инсулин. С каждым приемом пищи, бета - клетки выделяют инсулин, чтобы помочь организму использовать или хранить содержание глюкозы в крови, которую он получает из пищи.

У людей с **диабетом типа 1**, поджелудочная железа больше не вырабатывает инсулин. Бета – клетки разрушены, и они нуждаются в инъекции инсулина для использования организмом глюкозы, получаемой из пищи.

У люди с **сахарным диабетом 2 типа** инсулин производится. Но их организм не реагирует на него. Некоторым людям, страдающие сахарным диабетом 2 типа, необходимо принимать таблетки или инъекции инсулина, чтобы помочь их организму использовать глюкозу для получения энергии.

Инсулин не может быть принят в виде таблетки, так как она будет расщеплена в процессе пищеварения точно так же как белок в пище. Он должен быть введен в жир под кожей для того, чтобы попасть в вашу кровь. В некоторых редких случаях инсулин может привести к аллергической реакции в месте инъекции.

### **1.5. Типы инсулина:**

**Инсулин быстрого действия**, начинает работать через 15 минут после инъекции, достигает пика приблизительно через 1 час, и продолжает работать от 2-х до 4-х часов. *Типы:* Insulin glulisine (Apidra), insulin lispro (Humalog), and insulin aspart (NovoLog) .

**Регулярный или инсулин короткого действия.** Обычно достигает кровяного русла в течение 30 минут после инъекции, достигает максимума приблизительно от 2-х до 3-х часов после инъекции, и действует в течение 3-6 часов. *Типы:* Humulin R, Novolin R.

**Инсулин промежуточные действия** в целом достигает кровотока примерно через 2 - 4 часа после инъекции, достигает пика действия через 4 - 12 часов, и действует в течение приблизительно 12 - 18 часов. *Типы:* NPH (Humulin N, Novolin N).

**Инсулин длительного действия** достигает кровотока через несколько часов после инъекции и имеет тенденцию к снижению уровня глюкозы достаточно равномерно в течение 24 часов. *Типы:* Insulin detemir (Levemir) and insulin glargine (Lantus).

Комбинированный инсулин может быть полезным для людей, которые имеют проблемы при наборе инсулина из двух бутылок и чтении инструкции и информации о дозировке. Он также полезен для тех, у кого плохое зрение или ловкость, и подходит для людей, у которых диабет был стабилизирован на этой комбинации.

В 2015 году ингаляционный инсулиновый продукт, Afrezza, стал доступен в США. Afrezza является быстродействующим ингаляционным инсулином, который вводят в начале каждого приема пищи. Он может

использоваться взрослыми с 1-ым или 2-ым типами сахарного диабета. Afrezza не является заменой для инсулина длительного действия. Afrezza должен быть использован в сочетании с инъекциями инсулина длительного действия у больных сахарным диабетом 1-го типа и пациентов 2-го типа, которые используют инсулин длительного действия.

**Ингаляционный инсулин** начинает работать через 12-15 минут, достигает пика на 30 минуте, и выводится из организма через 180 минут. *Типы:* Technosphere insulin-inhalation system (Afrezza)

#### **1.6. Характеристики инсулина:**

**начало действия** - продолжительность времени, через которое инсулин достигает кровяного русла и начинается снижение уровня глюкозы в крови, **пик действия** - это время, в течение которого инсулин максимально снижает уровень глюкозы в крови, **продолжительность действия** – время, за которое инсулин продолжает снижать уровень глюкозы в крови.

**1.7. Эффективность инсулина.** Все типы инсулина выпускаются либо в растворенном, либо во взвешенном состоянии в жидкости. Стандартным и наиболее часто используемым по силе действия в Соединенных Штатах сегодня является U-100, а это значит, он имеет 100 единиц инсулина на 1 миллилитр жидкости [7].

Рассмотрев данные типы и виды инсулина, был сделан вывод, что наиболее подходящим для исследования и использования на практике является ингаляционный инсулин. Однако точно можно будет утверждать, после проведения ряда тестирований.

## **2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **2.1. Ультразвуковая колебательная система для распыления жидкостей**

Изобретение относится к области ультразвуковой техники, а именно к устройствам для мелкодисперсного распыления (диспергирования) жидкостей, и может быть использовано в nanoиндустрии, химико-фармацевтической и медицинской промышленности. В ультразвуковой колебательной системе для распыления жидкостей толщина каждого пьезоэлектрического элемента выбрана равной четверти длины волны формируемых колебаний в пьезоматериале.

Толщина торцевой стягивающей накладки соответствует половине длины волны формируемых колебаний в материале накладки. Рабочая накладка выполнена равной одной или двум полуволнам формируемых колебаний в материале накладки [8]. Рабочая накладка имеет плавные радиальные и экспоненциальные переходы в середине каждого полуволнового участка.

Техническим результатом изобретения является повышение эффективности и производительности, увеличение эксплуатационной надежности системы и создание условий обеспечения оптимальной работы при изменениях нагрузки, обеспечив тем самым возможность распыления вязких жидкостей.

Свойство ультразвуковых колебаний высокой интенсивности распылять (диспергировать) жидкости в газовой среде широко применяется для получения различных аэрозолей, при интенсификации тепло- и массообменных процессов в распылительной сушке, при нанесении тонких слоев лекарственных веществ (микродоз) или защитных слоев на грануляты, спансулы, таблетлируемый материал, при получении монодисперсных гранул, распылении расплавов химических веществ, изготовлении мельчайших порошков и т.п. Ультразвуковое распыление жидкостей находит применение в медицине для создания лечебных аэрозолей. Ультразвуковое распыление аэрозолей имеет ряд преимуществ перед химическим (конденсационным) и

механическим (дисперсионным) способами, так как позволяет значительно интенсифицировать процесс, улучшить качество продукта, заменить громоздкие устройства более компактными. При этом при высокой концентрации аэрозоля получается монодисперсный и однородный по составу факел распыления с заданным размером формируемых капель.

Механизм получения аэрозолей ультразвуком объясняется кавитационной и волновой теориями. На границе жидкость-газ при достаточном количестве зародышей кавитации (включений газа, твердых частичек) происходит захлопывание кавитационных полостей, происходит образование капиллярных стоячих волн, с гребней которых происходит отрыв мелких капель.

В современных нанотехнологиях и химико-фармацевтическом производстве используются различные ультразвуковые устройства, позволяющие вести процесс распыления жидкостей и расплавов различного дисперсного состава без газовых потоков и в среде инертных газов. Это весьма важно для лекарственного сырья, химически лабильного, особенно в мелкодисперсном состоянии, к кислороду воздуха.

С увеличением частоты ультразвука число поверхностных стоячих волн растет, на них формируются гребни (соответствующие по размерам определенным резонансным условиям), которые после наступления порога интенсивности отрываются от волны. Размеры возникающих волн и гребней, а в связи с этим и размеры капель зависят от физико-химических свойств распыляемых жидкостей (например, величины поверхностного натяжения, инертности массы) и частоты ультразвуковых колебаний.

Частота колебаний определяет средний диаметр капель формируемого аэрозоля, который равен:

$$D = a * \lambda_k, \text{ где} \quad (1)$$

$a$  - коэффициент пропорциональности (частично зависит от вязкости жидкости);  $\lambda$  - длина капиллярных волн, образующихся на поверхности слоя жидкости, которая равна:



$$\lambda_k = \sqrt[3]{\frac{8\pi\sigma}{\rho f^2}}, \text{ где} \quad (2)$$

$\sigma$  - коэффициент поверхностного натяжения жидкости;  $\rho$  - плотность жидкости;  $f$  - частота УЗ колебаний.

Таким образом, для выбора резонансной частоты ультразвуковой колебательной системы необходимо определиться с требуемым средним диаметром капель формируемого аэрозоля, при условии обеспечения необходимой производительности распыления. Выбор среднего диаметра капель аэрозоля осуществлялся для каждой технологии опытным путем по двум критериям. Первым условием являлось то, что диаметр капли должен быть как можно меньшим, при условии, что получающейся массы капли достаточно для того, чтобы не менее 90% формируемых капель достигли поверхности, на которую осуществляется распыление. Так распыление со средним диаметром капель в 80 мкм обеспечивается при частоте колебаний распылителя равной 40 кГц. При частоте 120 кГц формируется аэрозоль со средним размером частиц 18-20 мкм, при частоте 180 кГц – 13-15 мкм, при частоте 250 кГц – 9-10 мкм. Однако с увеличением рабочей частоты и уменьшением среднего размера формируемых капель пропорционально уменьшается производительность распыления.

Поэтому необходимость всегда стремиться обеспечить формирование меньших по размеру частиц с максимальной производительностью.

Основными достоинствами ультразвукового распыления являются малая энергоемкость процесса, отсутствие дополнительных расходных материалов (газ, растворители и т.д.), возможность получения факела распыления произвольной формы (например, прямоугольной или треугольной), высокое качество и равномерность получаемых покрытий [9].

Для создания УЗ колебаний, необходимых и достаточных для распыления жидкостей, используются как пьезоэлектрические, так и магнитострикционные колебательные системы. Ультразвуковые

колебательные системы на основе пьезоэлектрических преобразователей обладают рядом неоспоримых преимуществ (меньшие габаритные размеры, более высокий КПД, во многих случаях не требуют применения принудительного охлаждения) по сравнению с магнитострикционными.

Поэтому для ультразвукового распыления наибольшее распространение получили различные ультразвуковые колебательные системы, например [9] выполненные по патентам США №№4153201, 4301968, 4337896, 4352459, 4541564, 4642581, 4655393, 4659014, 4723708, 4978067, 4996080, 5219120, 5632445, 6663554, 7347889, или по патентам РФ №№2393881, 2388500, 2305621, на основе пьезоэлектрического преобразователя, конструктивно выполненные в виде последовательно установленных и акустически связанных между собой пьезоэлектрических элементов и частотно-понижающих металлических накладок.

Для увеличения амплитуды механических колебаний используются различные по форме концентраторы. Рабочая частота всех известных ультразвуковых колебательных систем ограничивается частотой в 120 кГц и малой распылительной поверхностью (торцевая поверхность конечного участка концентратора выполняется диаметром 1-3 мм), что не позволяет осуществлять формирование аэрозоля со средним размером менее 18-20 мкм и производительностью более 0,35 мл/с.

Наиболее близкой по технической сущности и функциональному назначению к предлагаемому техническому решению является ультразвуковая колебательная система для распыления жидкостей по патенту США №7712680 [9], май 2010 г., принятая за прототип.

Ультразвуковая колебательная система для распыления жидкостей, принятая за прототип, содержит последовательно установленные и акустически связанные между собой торцевую стягивающую накладку, два пьезоэлектрических кольцевых элемента, рабочую накладку в виде стержня переменного сечения, заканчивающегося торцевой распылительной поверхностью.

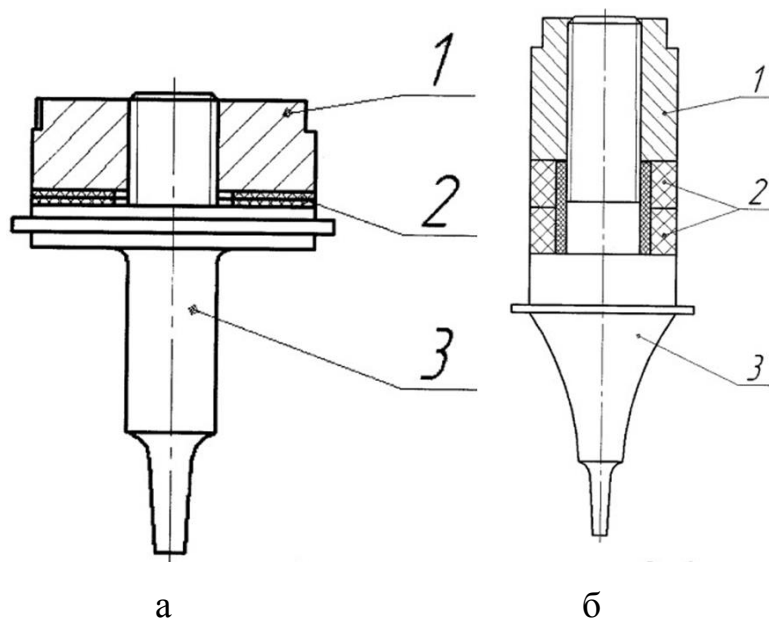
Для эффективного распыления жидких сред амплитуда колебаний торцевой распылительной поверхности должна быть более 10-15 мкм [9]. Для обеспечения такой амплитуды необходимо прикладывать к электродам пьезоэлектрических элементов электрическое напряжение, близкое к 1000 В.

При этом обеспечивается амплитуда колебаний пьезоэлектрических элементов не более 1 мкм. Для обеспечения необходимой амплитуды колебаний торцевой поверхности в 15 мкм необходимо в конструкции колебательной системы использовать концентратор с коэффициентом усиления не менее 15. Столь высокое усиление можно обеспечить только при помощи ступенчатого концентратора, и поэтому рабочая накладка выполнена в виде стержня ступенчато переменного диаметра. При диаметре колебательной системы в 21 мм (на частоте 120 кГц) или 10 мм на частоте 250 кГц и коэффициенте усиления ступенчатого концентратора в 15 диаметр торцевой распылительной поверхности не может превышать 5 мм на частоте 120 кГц или 2,5 мм на частоте 250 кГц.

По этой причине происходит существенное снижение производительности при распылении на высоких частотах. Так, если при распылении на частоте 120 кГц обеспечивается производительность (по воде) до 0,35 мл/с [9], то на частоте в 250 кГц обеспечить производительность более 0,1 мл/с невозможно.

Обусловлено это тем, что распыление осуществляется при оптимальной толщине слоя растекающейся по поверхности распыления жидкости (0,8 мм для воды и до 1,5 мм для вязких жидкостей), и при соответствующем уменьшении площади распылительной поверхности в 4 раза происходит снижение производительности не менее чем в 4 раза.

Сущность такого технического решения поясняется на рисунке 4, где изображены известная (рис. 4, а) и предлагаемая (рис. 4, б) ультразвуковые колебательные системы для распыления жидкостей. Обозначения позиций (1-3) на рисунке 4 идентичны.



**Рисунок 4** – Схема ультразвуковой колебательной системы: а) практически реализованная, б) предлагаемая улучшенная конструкция [8]

Предлагаемая ультразвуковая колебательная система для распыления жидкостей, так же, как и практически-реализованная, содержит последовательно установленные и акустически связанные между собой торцевую стягивающую накладку (1), два пьезоэлектрических кольцевых элемента (2), рабочую накладку (3) в виде стержня переменного сечения, заканчивающегося торцевой распылительной поверхностью.

При этом толщина каждого пьезоэлектрического элемента выбрана равной четверти длины волны формируемых колебаний в пьезоматериале, т.е. суммарная длина двух пьезоэлектрических элементов (2) соответствует половине длины волны, и два этих пьезоэлемента представляют собой самостоятельный ультразвуковой электроакустический преобразователь, обеспечивающий формирование ультразвуковых колебаний с необходимой (заданной) рабочей частотой.

Так, например, для обеспечения работы на резонансной частоте 120 кГц (при скорости распространения УЗ колебаний в пьезоматериале, равной 3600 м/с) суммарная толщина двух пьезоэлементов должна быть равной 15 мм (с учетом толщины медных контактных электродов необходимы два пьезоэлемента толщиной по 7 мм каждый). Для создания ультразвуковых

колебаний с резонансной частотой в 250 кГц суммарная толщина двух пьезоэлементов должна быть равной 7,2 мм (два пьезоэлемента толщиной по 3,5 мм каждый).

Использование пьезоэлектрических элементов большей толщины, в сравнении с прототипом, позволяет при одинаковых прикладываемых напряжениях (до 1000 В/мм) получить большее расширение, т.е. обеспечить на преобразователе большую амплитуду колебаний (от 7 мкм на частоте 120 кГц до 3,5 мкм на частоте 250 кГц). Это позволит при использовании концентратора, для дальнейшего усиления, либо уменьшить коэффициент его усиления, исключив проблемы, связанные с применением ступенчатых переходов, либо получить те же амплитуды, что и в прототипе, но на большей поверхности излучения (большем по диаметру распылительном торце), либо получить на поверхности излучения, соответствующей прототипу, большие амплитуды, обеспечив распыление вязких жидкостей.

Использование концентратора с достаточным усилением (например, 10 вместо 15 у прототипа) позволит уменьшить амплитуду колебаний пьезоэлементов до 2 мкм, снизив питающее напряжение.

Для того чтобы обеспечить необходимое сжатие двух пьезоэлектрических элементов в виде дисков с центральным отверстием, используется металлическая шпилька и торцевая стягивающая накладка.

Для обеспечения работы всей колебательной системы на резонансной частоте двух последовательно установленных пьезоэлементов резонансная частота торцевой стягивающей накладки должна соответствовать частоте двух последовательно установленных пьезоэлементов. Это обеспечено тем, что толщина торцевой стягивающей накладки соответствует половине длины волны колебаний в материале накладки, т.е. ее резонансная частота соответствует частоте двух последовательно установленных пьезоэлементов.

Размер рабочей накладки также выбран соответствующим резонансной частоте двух последовательно установленных пьезоэлементов, т.е. рабочая

накладка выполнена равной одной или двум полуволнам формируемых колебаний в материале наклейки.

Для уменьшения механических напряжений, возникающих в местах переходов при выполнении концентраторов, рабочая наклейка имеет плавные радиальные или экспоненциальные переходы в середине каждого полуволнового участка. Плавные переходы снижают зависимость резонансной частоты от нагрузки, что позволяет обеспечить работу колебательной системы в оптимальном режиме, т.е. всегда на резонансной частоте.

Незначительное уменьшение коэффициента усиления концентратора компенсируется большей амплитудой колебаний пьезоэлементов. Так, например, при обеспечении амплитуды колебаний пьезопреобразователя на частоте в 120 кГц в 5 мкм и использовании концентратора с коэффициентом усиления 10 можно обеспечить амплитуду колебаний торцевой поверхности диаметром в 5 мм равной 50 мкм или обеспечить амплитуду колебаний в 15 мкм на излучающей поверхности диаметром более 10 мм (площадь поверхности распыления увеличивается в 4 раза).

Таким образом, увеличение площади излучающей поверхности позволяет повысить производительность распыления, по сравнению с прототипом, увеличить эксплуатационную надежность системы, обеспечить ее оптимальную работу при изменениях нагрузки и обеспечить возможность распыления вязких жидкостей.

Технический результат - увеличение производительности процесса на повышенных частотах распыления и возможность обеспечить распыление вязких жидкостей.

Предложенная ультразвуковая колебательная система для распыления жидкости практически реализована в разработанном ООО «Центр ультразвуковых технологий» аппарате для распыления жидких сред [10]. Аппарат обеспечил распыление жидкости (воды) на рабочей частоте колебательной системы в 180 кГц с производительностью не менее 0,4 мл/с.

## **2.2. Процесс распыления ультразвуковых распылительных головок**

Ультразвуковые распылительные головки используют высокочастотные звуковые волны (диапазон за пределами слышимости человека) для получения атомизации.

Диск-образные керамические пьезопреобразователи получают высокочастотную электрическую энергию, и преобразовывает эту энергию в вибрационное механическое движение при определенной частоте. Преобразователи соединены с двумя титановыми цилиндрами, которые усиливают движение (рис.5).

Возбуждение, создаваемое преобразователями, генерирует стоячие волны вдоль всей длины головки, амплитуда которых равна максимизированной распылительной поверхности, расположенной в конце части малого диаметра распылительной головки.

В общем, высокочастотные распылительные головки создают меньшие капли и имеют меньшую пропускную способность, чем головки, которые работают на более низких частотах. Жидкость вводится в большой, не забивающийся Канал (отверстие), длина которого равна длине самой распылительной головки.

Жидкость, возникающая при распылении на поверхности, поглощает колебательную энергию, с помощью чего происходит распыление.

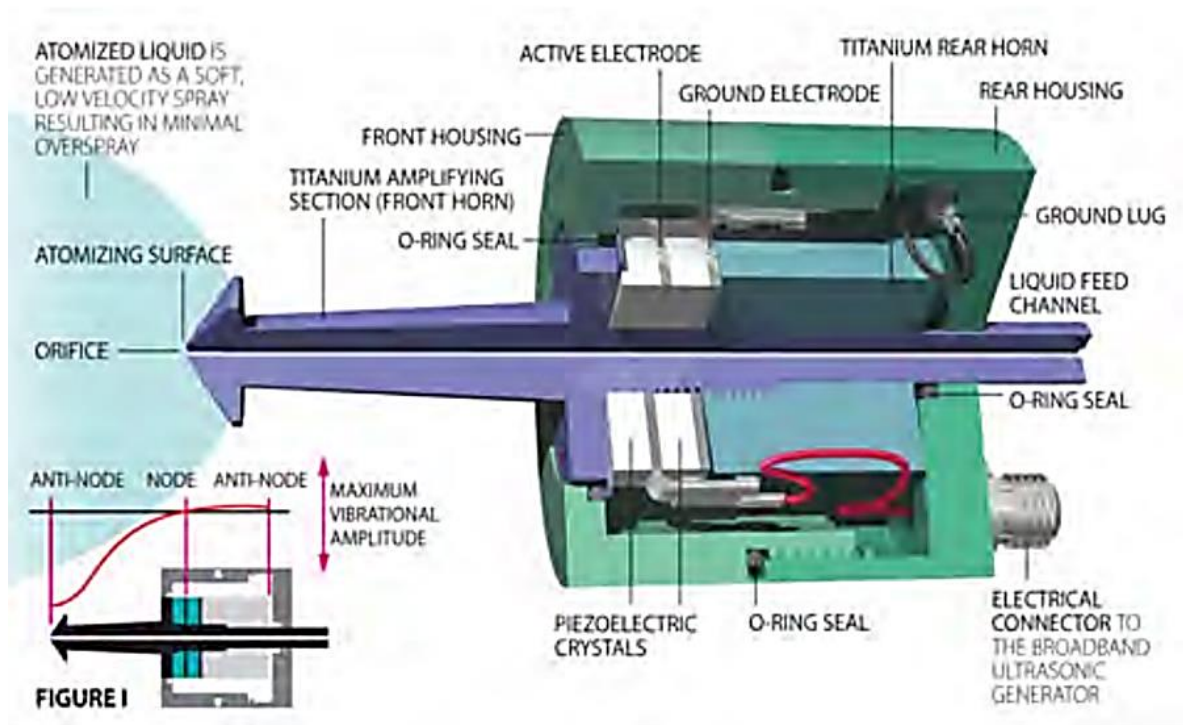


Рисунок 5 – Ультразвуковая распылительная головка (строение) [12]

### 2.3. Конструкция ультразвуковой распылительной головки

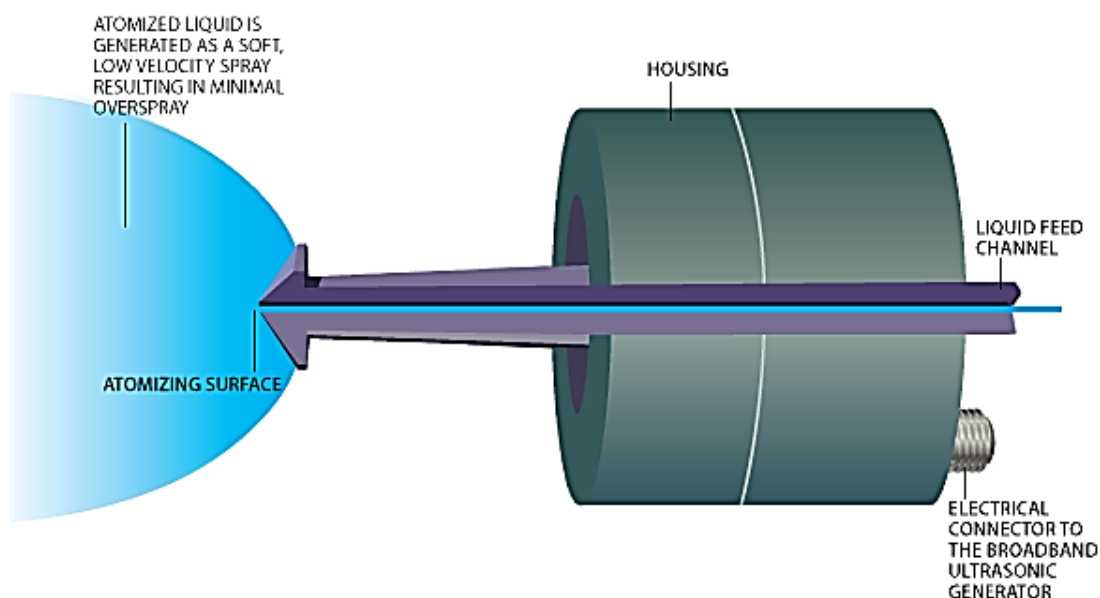
Корпус ультразвуковой распылительной головки обычно изготавливается из титана из-за его выдающихся акустических свойств, высокой прочности на растяжение и отличную коррозионную стойкость. Защитный корпус изготовлен из нержавеющей стали (возможен титановый вариант).

Каждая ультразвуковая головка работает на определенной резонансной частоте, которая определяет средний размер капель. Ультразвуковая распылительная головка изготовлена из очень высокопрочного титанового сплава и нержавеющей стали, что делает его исключительно стойким к химическому воздействию и обеспечивает превосходные акустические свойства.

Электрически активные элементы содержатся в герметичном корпусе, который защищает пьезоэлектрические преобразователи, электроды и соединительные провода от внешнего загрязнения. Химически непроницаемые уплотнительные кольца обеспечивают целостность уплотнения.



Головка распылительной системы имеет коническую распылительную поверхность (рис. 6), её цель - разбрызгивание. Некоторые применения требуют, чтобы спрей был очень узким. В этих случаях распыляемая поверхность скульптурируется в плоскую или почти плоскую поверхность. В зависимости от требований к ширине распылительного рисунка и требуемой скорости потока, распыляемая поверхность может иметь очень малый диаметр или удлиненный плоский профиль.



**Рисунок 6** – Ультразвуковая распылительная головка с конической распылительной поверхностью [12]

#### **2.4. Размеры пор слизистой оболочки полости рта**

Слизистая оболочка полости рта является привлекательным альтернативным способом для доставки макромолекул в кровь. Однако гидрофильные макромолекулы, как правило, плохо усваиваются через пероральный прием из-за их гидрофильности и размера. Транспортировка этих молекул через слизистую оболочку полости рта может протекать через «водный путь». Знание о измерении данного маршрута необходимо для понимания процесса проникновения этих молекул через слизистую оболочку полости рта. Полиэтиленгликоли (ПЭГ) уже были использованы в качестве модельных гидрофильных пермеантов в одном из исследований, для

установления связи между проницаемостью и молекулярной массой по разным областям слизистой оболочки полости рта. Радиус поры ( $r_p$ ) для прохождения «водного пути» и отношение площади участка водного пути к длине барьера слизистой оболочки были рассчитаны с использованием уравнения Ренкина на основе экспериментально определенной проницаемости и теоретические параметры диффузии для молекул ПЭГ. Размеры пор водных путей для слизистой оболочки щеки и сублингвальной (подъязычной) слизистой были оценены как 18-22 и 30-53 Å, соответственно (1,9-2,2 и 3,0-5,3 нм). Оценка размера пор в различных областях слизистой оболочки полости рта показала, что потенциал доставки терапевтически важных макромолекул через слизистую оболочку рта очень велик [11, 13].

#### Пути прохождения сквозь слизистую оболочку

Чтобы обойти недостатки парентерального введения инсулина (инъекции), альтернативные пути доставки молекул в настоящее время продолжают исследоваться. Транс-оральная доставка слизистой оболочки является одной из таких альтернативных маршрутов, которые позволяют избежать первого метаболизма в печени и деградации при низком рН желудка и протеазах, по мимо всего прочего, такой способ доставки молекул в кровь - обеспечивает быстрое начало действия [13].

Предыдущие исследования показали, что макромолекулы обладают очень слабым поглощением через слизистую оболочку ротовой полости. Эти молекулы имеют высокий молекулярный вес, низкую диффузность, что приводит к плохому поглощению слизистой оболочки полости рта. Хотя перенос этих молекул через различные биологические барьеры, такие как кишечник и носовая слизистая оболочка хорошо изучена, проницаемость этих молекул слизистой оболочкой полости рта - не полностью. Кроме того, транспортные маршруты этих макромолекул сквозь слизистую оболочку полости рта не до конца изучены. Молекулы слизистой оболочки полости рта в основном транспортируются либо с помощью «липоидного», либо с помощью «водного пути». «Липоидальный» путь охватывает как

межклеточный путь, где проникающее вещество проходит через клетки, так и межклеточный путь, где проникающее вещество проходит через межклеточное пространство [14].

Липиды в межклеточном пространстве слизистой оболочки полости рта состоят примерно из 50% полярных липидов, таких как фосфолипиды и гликозилцерамиды. Молекулы воды, захваченные полярной группой этих липидов, образуют «водный» путь [14, 15].

Однако следует отметить, что эффективная площадь такого водного пути в слизистой оболочке полости рта может быть очень малой по сравнению с областью более доминирующего липоидного пути. Транспортировка гидрофильных макромолекул через слизистую оболочку полости рта происходит водным или гидрофильным путем [14, 16].

Прогресс по доставке инсулина и макромолекул через слизистую оболочку полости рта требует понимания маршрута транспортировки для таких проницаемых веществ [16].

Чтобы полностью понять потенциал доставки макромолекул через слизистую оболочку полости ротовых мембран, необходимо знание о размере водного пути. Связь междумолекулярной массы (MW) и проницаемость по разным областям слизистой оболочки полости рта, изучали с использованием гомологичных полиэтиленгликолей (ПЭГ) в качестве гидрофильных зондов. Были рассчитаны теоретические параметры водного пути слизистой оболочки полости рта, такой как радиус поры ( $r_p$ ) и отношение площади участка водного пути к длине барьера ( $\epsilon/L$ ) [17].

#### Расчет радиуса пор слизистой оболочки полости рта

Стационарный поток вычислялся по наклону линейной области совокупного количества проницаемого ПЭГ, в зависимости от времени. Коэффициент кажущейся проницаемости (P) рассчитывается по следующему уравнению:

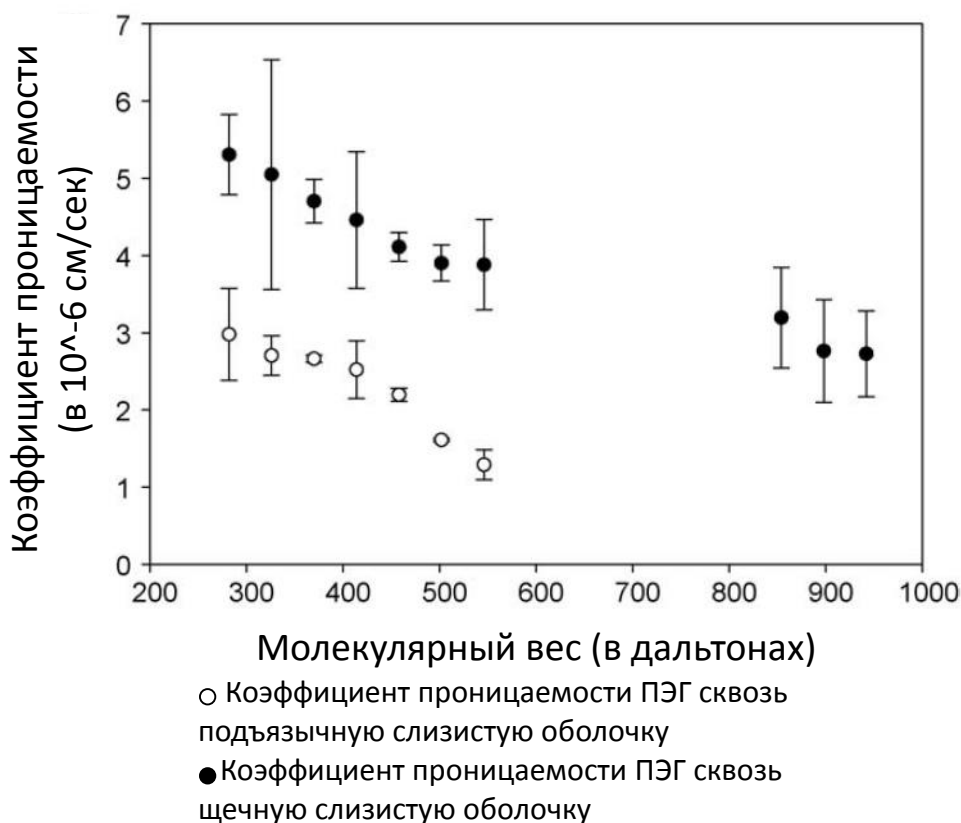
$$P = \frac{dQ/dt}{C_0 A} \quad (3)$$

где  $dQ/dt$  - установившийся поток,  $C_0$  - начальная концентрация,  $A$  - диффузионная площадь. Радиус поры ( $r_p$ ) для водного пути слизистой оболочки полости рта вычисляли по уравнению на основе функции Ренина [17], следующим образом:

$$P_i = D_i \frac{\epsilon}{L} \left[ 1 - \left( \frac{r_i}{r_p} \right)^2 \right] \left[ 1 - 2.104 \left( \frac{r_i}{r_p} \right) + 2.09 \left( \frac{r_i}{r_p} \right)^3 - 0.95 \left( \frac{r_i}{r_p} \right)^5 \right] \quad (4)$$

где  $P_i$ ,  $r_i$ ,  $D_i$ ,  $\epsilon$  и  $L$  - коэффициент проницаемости, проникающей через мембрану, радиус проникающего вещества, коэффициент диффузии проникающего вещества в воде, площадь доли водного пути и длины барьера соответственно [17, 18].

Значения  $D_i$  и  $r_i$  получены для олигомеров ПЭГ из литературы [18]. Данные экспериментальной проницаемости для олигомеров были использованы для расчета значений  $r_p$  и  $\epsilon/L$ .



**Рисунок 7** – Зависимость коэффициента проницаемости от молекулярного веса молекул ПЭГ (в дальтонах) для слизистой оболочки щек и слизистой оболочки подъязычной области [18]

ПЭГ были выбраны в качестве модельных проницаемых материалов, поскольку они имеют хорошую растворимость в воде, широкий диапазон молекулярных масс, нет метаболизма тканей и низкий коэффициент распределения в диапазоне молекулярной массы. Из-за низкого распределения, ПЭГ можно использовать для изучения водного пути транспортировки через слизистую оболочку полости рта. Связь между проницаемостью слизистой оболочки полости рта и молекулярной массой ПЭГ была установлена [19].

Размер пор водного пути был рассчитан на основе экспериментально определенной проницаемости ПЭГ. Проницаемость ПЭГ через слизистую оболочку полости рта уменьшалась с увеличением молекулярной массы MW для подъязычной слизистой оболочки, коэффициент проницаемости для ПЭГ уменьшился почти в 2 раза от  $5,31 \cdot 10^{-6}$  до  $2,72 \cdot 10^{-6}$  см<sup>2</sup>/с. Молекулярная масса увеличилась примерно в 3 раза с 282 до 942 Да (Таблица 1) [20].

**Таблица 1** – Параметры диффузии ПЭГ для подъязычной области полости рта [20]

Вес молекулы олигомера	$r_i^*$ (Å)	$r_i$ (Å)	$D_i \cdot 10^6$ см <sup>2</sup> /с	Экспериментальная проницаемость $\cdot 10^6$ см <sup>2</sup> /с (значение $\pm$ погрешность)
282	4.87	4.83	6.80	5.31 $\pm$ 0.52
326	5.15	5.13	6.40	5.05 $\pm$ 1.48
370	5.47	5.38	6.10	4.70 $\pm$ 0.28
414	5.78	5.57	5.90	4.46 $\pm$ 0.88
458	6.03	5.66	5.80	4.11 $\pm$ 0.18
502	6.27	5.76	5.70	3.90 $\pm$ 0.23
546	6.55	5.86	5.60	3.88 $\pm$ 0.58
854	8.09	6.44	5.10	3.19 $\pm$ 0.65
898	8.27	6.57	5.00	2.67 $\pm$ 0.66
942	8.51	6.70	4.90	2.72 $\pm$ 0.55

$r_i^*$  – радиус молекулы полиэтиленгликоля основанный на принципе вращательного движения.

$r_i$  – радиус молекулы полиэтиленгликоля основанный на уравнении Стокса – Эйнштейна.

Коэффициент проницаемости ПЭГ через слизистую оболочку щеки также уменьшился примерно в 2 раза от  $2,97 * 10^{-6}$  до  $1,28 * 10^{-6}$  см/с, когда молекулярная масса ПЭГ увеличивалась примерно в 2 раза от 282 до 546 Да (Таблица 2) [21, 22]

**Таблица 2** - Параметры диффузии ПЭГ для щечной области полости рта [21]

Вес молекулы олигомера	$r_i^*$ (Å)	$r_i$ (Å)	$D_i * 10^6$ см <sup>2</sup> /с	Экспериментальная проницаемость * $10^6$ см <sup>2</sup> /с (значение ± погрешность)
282	4.87	4.83	6.80	2.97±0.59
326	5.15	5.13	6.40	2.70±0.25
370	5.47	5.38	6.10	2.66±0.04
414	5.78	5.57	5.90	2.51±0.37
458	6.03	5.66	5.80	2.19±0.08
502	6.27	5.76	5.70	1.60±0.10
546	6.55	5.86	5.60	1.28±0.19

$r_i^*$  – радиус молекулы полиэтиленгликоля основанный на принципе вращательного движения.

$r_i$  – радиус молекулы полиэтиленгликоля основанный на уравнении Стокса – Эйнштейна.

Используя значения радиуса для ПЭГ из литературы [22], значения  $r_i$  (радиуса) оказались равными 22 Å и 53 Å. Значения  $\epsilon/L$  были найдены и равны 1,42 и 1,24 для щёчной и подъязычной слизистых, соответственно (таблица. 4). Второй подход основан на радиусе Стокса-Эйнштейна. Коэффициент диффузии (D) сферической частицы с радиусом  $r_i$  в амедиях вязкости  $\eta$  и при температуре T определяется соотношением Стокса-Эйнштейна [23, 24] следующим образом:

$$D = \frac{KT}{6\pi\eta r_i} \quad , \quad (5)$$

где  $K$  - постоянная Больцмана. Если коэффициенты диффузии и вязкость растворителя известны, радиус Стокса-Эйнштейна ( $r_i$ ) можно вычислить из уравнения Стокса-Эйнштейна [23, 24].

Используя значения Стокса-Эйнштейна для ПЭГ, значения  $r_p$  были оценены как 18 и 30 Å СИ. Значения  $\epsilon/L$  были оценены как 1,94 и 1,74 для щёчной, и подъязычной слизистых оболочек соответственно (Таблица 3) [25, 26].

**Таблица 3** – Значения для  $r_p$  (в Å) и  $\epsilon/L$  (в  $\text{см}^{-1}$ ) для подъязычной и щёчной слизистых оболочек [26]

	$\epsilon/L(\text{см}^{-1})$	$r_p(\text{Å})$
Использование радиуса вращательного движения		
Подъязычная слизистая оболочка	1.24	52
Щёчная слизистая оболочка	1.42	23
Использование радиуса по уравнению Стокса – Эйнштейна		
Подъязычная слизистая оболочка	1.74	30
Щёчная слизистая оболочка	1.94	17.5

## 2.5. Анализ принципиальной схемы ультразвукового ингалятора

В настоящее время существует разработка ультразвукового ингалятора, схема которого представлена ниже (Рисунок 8). Хотя данная система не предоставляет возможности распыления инсулина до необходимых нам размеров, и предназначена для доставки лекарственного препарата в легкие пациента, принцип её работы очень близок к принципу работы нашего устройства.

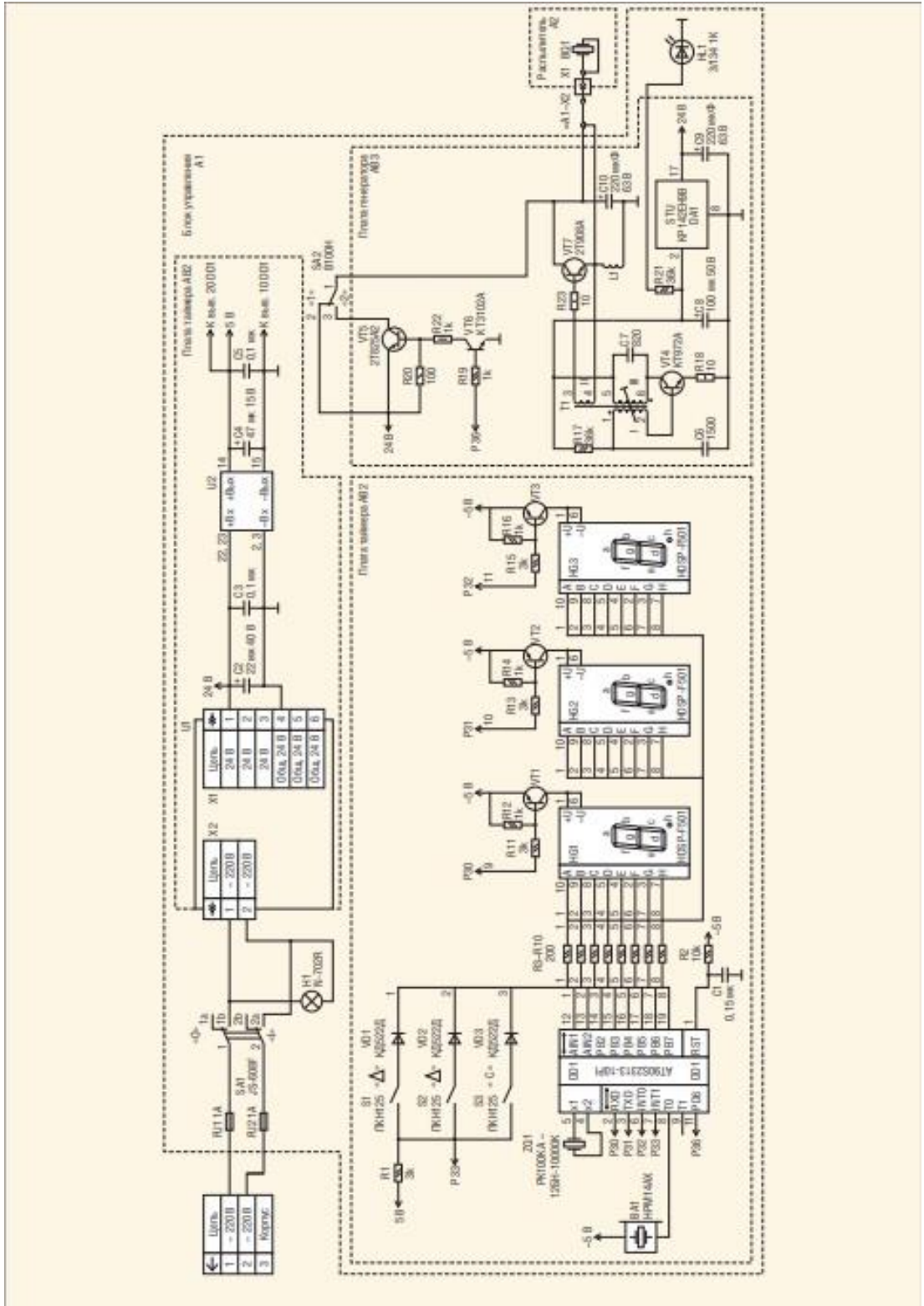
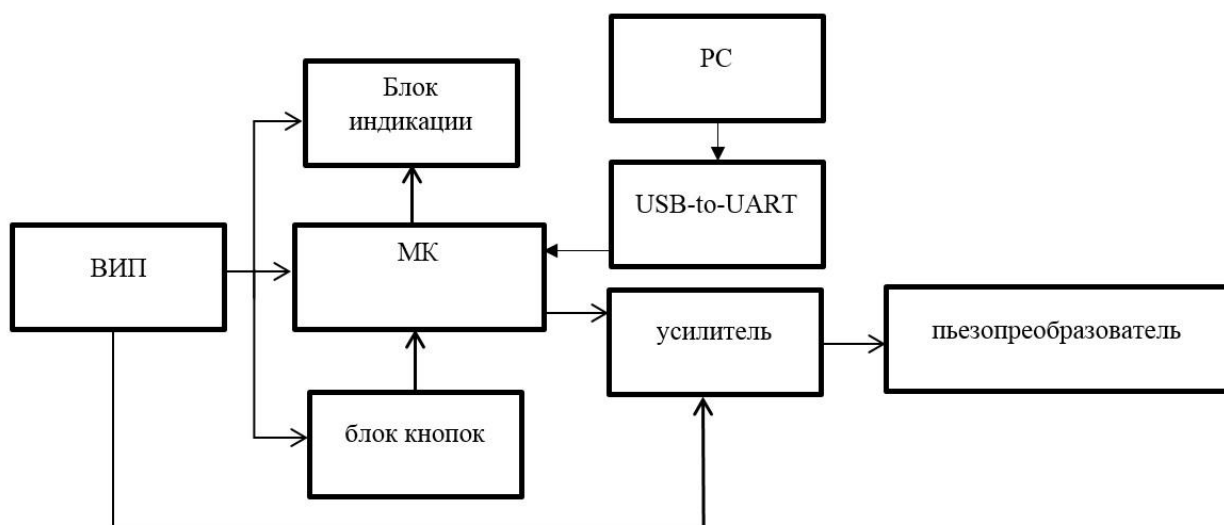


Рисунок 8. Принципиальная схема ультразвукового ингалятора [27]



## 2.6. Выбор и обоснование структурной схемы

Исходя из имеющихся данных, можно предложить вариант структурной схемы для будущего устройства (Рисунок 9).



**Рисунок 9.** Структурная схема генератора ультразвукового распылителя инсулин

Микроконтроллер формирует сигнал прямоугольной формы с необходимой частотой. Затем сигнал с микроконтроллера идет на усилитель, который формирует его до необходимой нам амплитуды. Пьезопреобразователь создает ультразвуковой импульс. Также в схеме предусмотрена индикация работы прибора, при распылении лекарственного вещества загорается светодиод, в режиме простаивания горит другой светодиод.

Вторичный источник питания (ВИП) подключается к микроконтроллеру, блоку управления и индикации (3,3 В). Питание усилителя 12 В.

## 2.7. Выбор и обоснование принципиальной схемы

Для обработки данных используется микроконтроллер STM32F103VCT6. Данный микроконтроллер обладает большой функциональностью, что может быть использовано для выполнения других целей и интеграции с другими узлами схемы. Преимуществом микроконтроллеров является высокая производительность ядра, что выделяет микроконтроллеры STM32 для выполнения математических операций.

Для индикации работы прибора используем светодиоды. Подобная индикация не требует большого количества затрат, а также проста и надежна в эксплуатации.

Для обеспечения требуемой мощности нагрузки перед излучателем необходимо поставить усилитель мощности, в нашем случае мы используем трансформаторный усилитель мощности. Он состоит из трансформатора TV1 и транзистора VT1.

Принципиальная схема прибора представлена в Приложении В.

### 3. РАСЧЕТ И АНАЛИТИКА

#### 3.1. Расчет мощности излучателя

$$P_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВЫХ}} \cdot I_{\text{ВЫХ}} \cdot Q_{\text{и}} \quad (6)$$

$$Q_{\text{и}} = \frac{t_{\text{и}}}{T_{\text{и}}} \quad (7)$$

При мощности излучателя 2Вт,  $Q_{\text{и}}=0.5$ ,  $U_{\text{ВЫХ}}=50\text{В}$ ,  $I_{\text{ВЫХ}}=80\text{мА}$

#### 3.2. Расчет схемы индикации

Для системы индикации используются светодиоды синего и красного цвета. Ток через светодиод составляет 15мА. Максимальный выходной с микроконтроллера составляет 20мА. Таким образом, требуется поставить ограничивающие резисторы номиналом 200Ом. На рисунке 10 изображена схема индикации работы микроконтроллера.

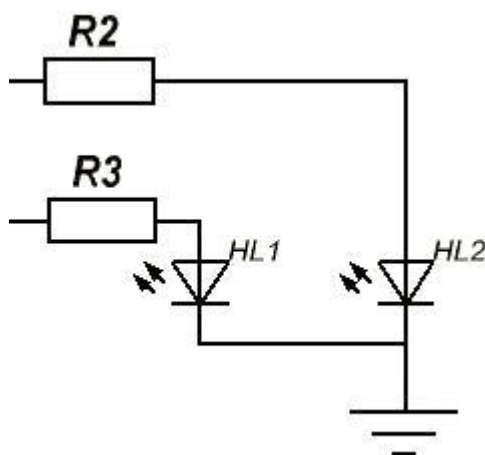


Рисунок 10. Схема индикации

#### 3.3. Расчет усилителя прямоугольных импульсов

В качестве усилителя используется транзистор КТ920А, работающий в импульсном режиме. Предельно допустимые параметры транзистора представлены в приложении Б.

Расчет усилителя импульсном режиме (рисунок 11):

$U_{\text{ВЫХМК}}=3\text{В}$  - выходное напряжение с микроконтроллера

$R_{\text{акт}}=200\text{ Ом}$  - активное сопротивление в коллекторной цепи

$\beta=6$  - коэффициент передачи тока транзистора

$$I_{KH} = \frac{U_{пит}}{R_{акт}} \quad (8)$$

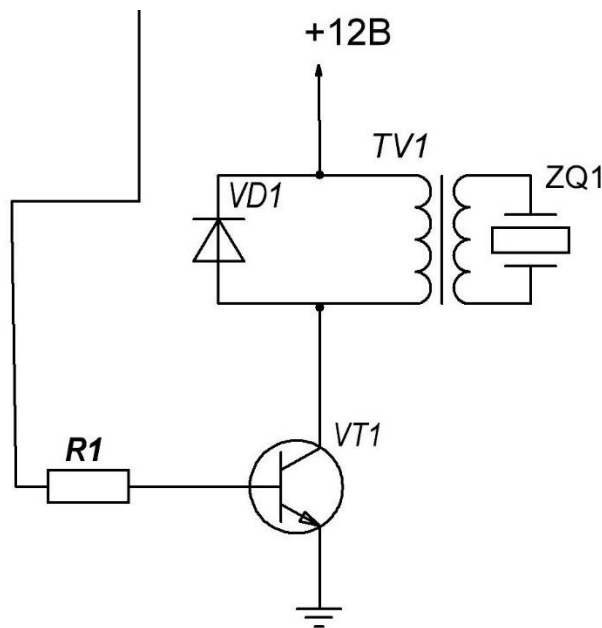
$$I_{BH} = \frac{I_{KH}}{\beta} \quad (9)$$

$$R_{акт} = 200 \text{ Ом}$$

$$I_{KH} = \frac{12\text{В}}{200\text{Ом}} = 60 \text{ мА} \quad (10)$$

$$I_{BH} = \frac{60\text{мА}}{6} = 10 \text{ мА} \quad (11)$$

$$R_{б} = \frac{U_{ВЫХМК}}{I_{BH}} = \frac{3\text{В}}{10\text{мА}} = 300 \text{ Ом} \quad (12)$$



**Рисунок 11.** Усилитель прямоугольных импульсов

### 3.4. Расчет трансформатора

Напряжение на первичной обмотке трансформатора:

$$U_{1m} = U_{пит} - U_{нас} = 12\text{В} - 0,5\text{В} = 11,5\text{В} \quad (13)$$

Напряжение на вторичной обмотке трансформатора:

$$U_{2m} = 50\text{В}$$

1) Ток на вторичной обмотке трансформатора

$$I_2 = 80\text{мА}$$

2) Частота:  $f = 2\text{МГц}$

Необходимо в качестве материала для сердечника выбрать феррит. Из справочника [12] выбираем феррит 2000НМ1 со следующими параметрами:

$\Delta B = 0,2 \text{ Тл}$  – магнитная индукция;  
 $\mu = 2000$  – магнитная проницаемость феррита;  
 $j = 4 \text{ А/мм}^2$  – плотность тока в обмотках;  
 $K_{cm} = 1$  – коэффициент заполнения стали;  
 $K_{ок} = 0,3$  – коэффициент заполнения окна медью;  
 $\eta = 0,9$  – коэффициент полезного действия;  
 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Гн/м}$  – магнитная проницаемость вакуума.

1. Коэффициент трансформации:

$$n = \frac{U_{2m}}{U_{1m}} = \frac{50 \text{ В}}{11,5 \text{ В}} = 4,3 \approx 5 \quad (14)$$

2. Амплитуда тока, протекающего во вторичной обмотке:  $80 \text{ мА}$

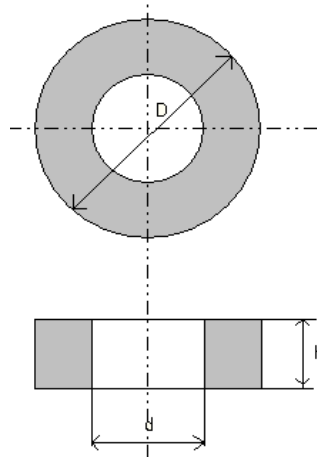
3. Амплитуда тока первичной обмотке:  $400 \text{ мА}$

4. Определяем мощность:

$$P_H = P_2 = U_2 \cdot I_2 = 50 \text{ В} \cdot 80 \text{ мА} = 2 \text{ Вт} \quad (15)$$

5. Выбор сердечника.

Из справочника [29] выбираем сердечник:  $K45 \times 28 \times 8$ . Выбранный сердечник является кольцевым с прямоугольным поперечным сечением (рисунок 12).



**Рисунок 12.** Кольцевой сердечник

Данный сердечник имеет следующие параметры[29]:

$$S_o = 6,158 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$S_{cm} = 6,8 \times 10^{-5} \text{ м}^2$$

$$D = 45 \text{ мм}$$

$$d = 28 \text{ мм}$$

$$h = 8 \text{ мм}$$

$$l_{срн} = 114,61 \text{ мм} = 114,61 \times 10^{-3} \text{ м}$$

6. Рассчитываем количество витков первичной и вторичной обмоток:

$$W_1 = \frac{U_{1m} \cdot t_{и}}{\Delta B \cdot S_{cm} \cdot K_{cm}} = \frac{11,5B \cdot 2 \cdot 10^{-5} c}{0,2Tл \cdot 204 \cdot 10^{-6}} \cong 6 \text{ ВИТКОВ} \quad (16)$$

$$W_2 = W_1 \cdot n = 30 \text{ ВИТКОВ} \quad (17)$$

Из справочника [30] выбираем провода ПЭВ-2:

$$S_1 = 2,269 \text{ мм}^2 \quad D_1 = 1,7 \text{ мм}$$

$$S_2 = 0,385 \text{ мм}^2 \quad D_2 = 0,7 \text{ мм}$$

7. Проверка  $K_{ок}$ :

$$K_{ок} = \frac{W_1 S_1 + W_2 S_2}{S_{ок}} = \frac{(6 \cdot 2,269 \text{ мм}^2 + 30 \cdot 0,385 \text{ мм}^2) \cdot 10^{-6}}{6,158 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2} = 0,065 < 0,3 \quad (18)$$

Видно, что полученный коэффициент заполнения меньше 0.3, что говорит о правильности расчёта и выбора материалов.

### 3.5. Расчет системы управления

Система управления представляет собой ключ, который замыкается на землю при нажатии. Для избегания дребезга кнопки используется конденсатор. Пусть переходный процесс будет длиться 100мксек, тогда выберем конденсатор емкостью 100нФ и резистор номиналом 1000Ом. На рисунке 13 показана схемы управления микроконтроллером.

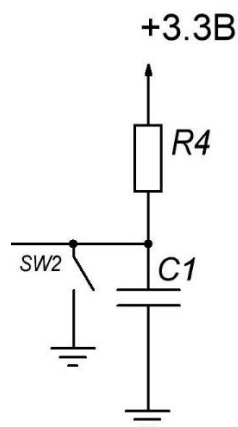
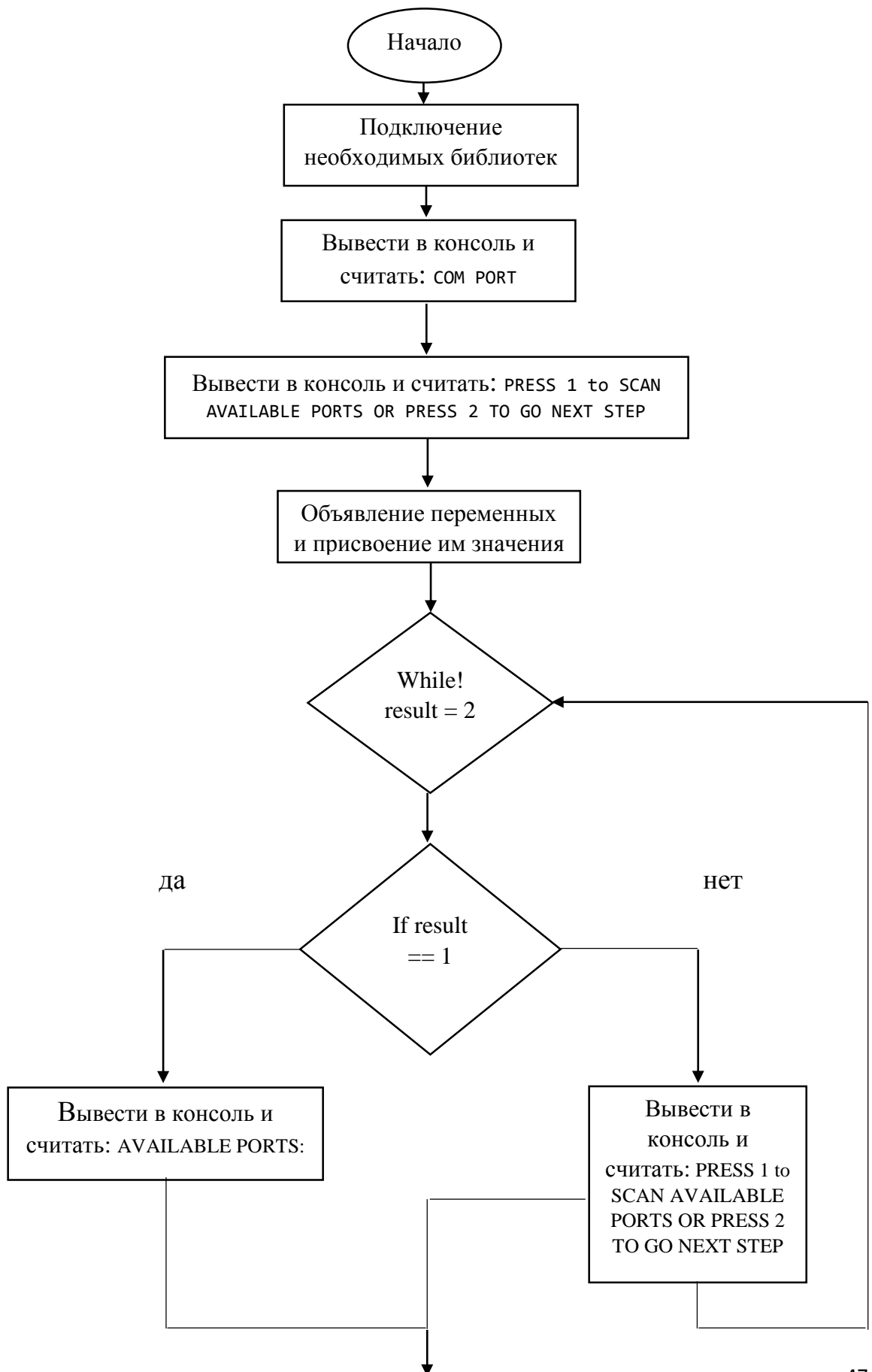
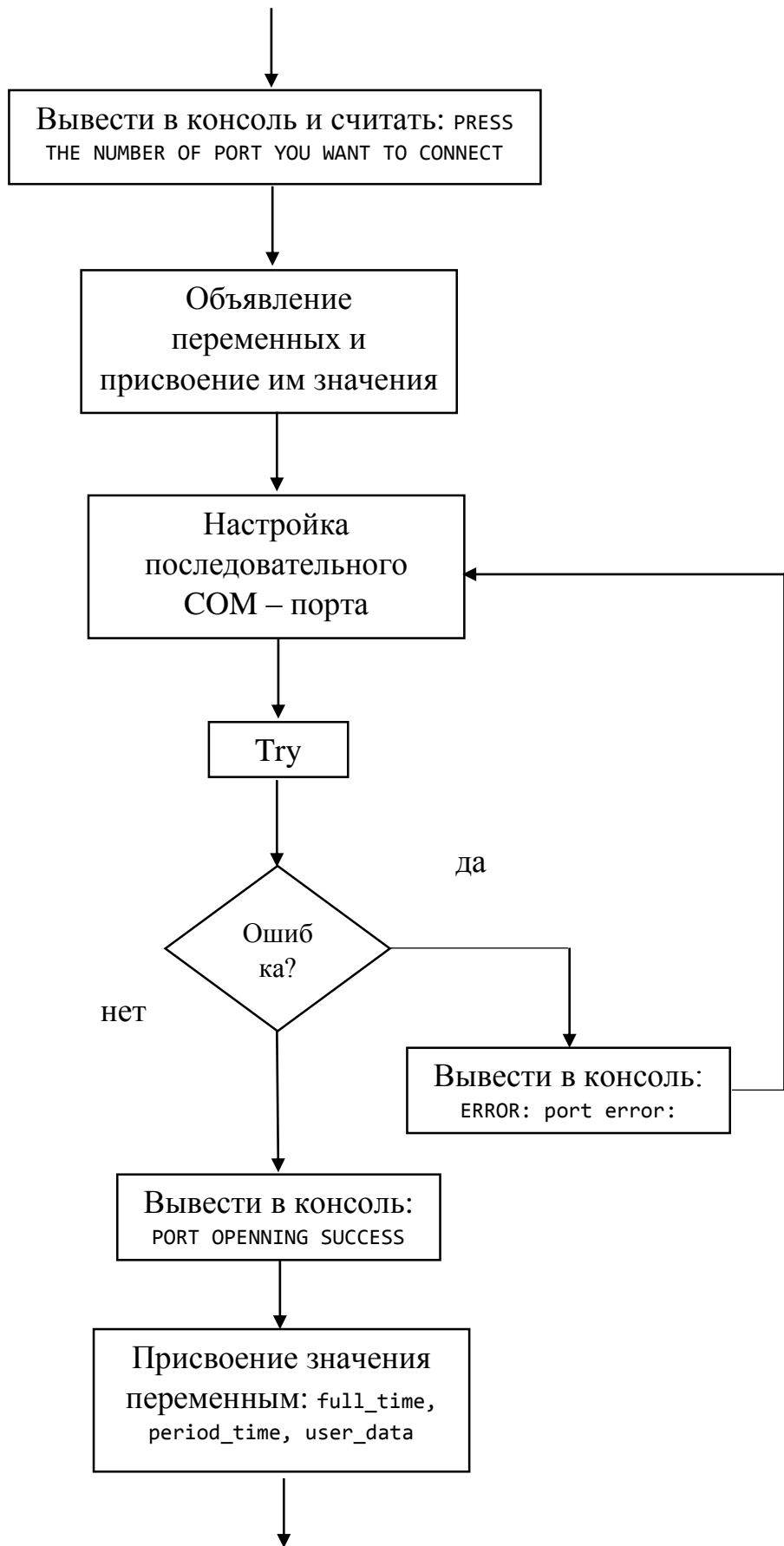


Рисунок 13. Система управления микроконтроллером

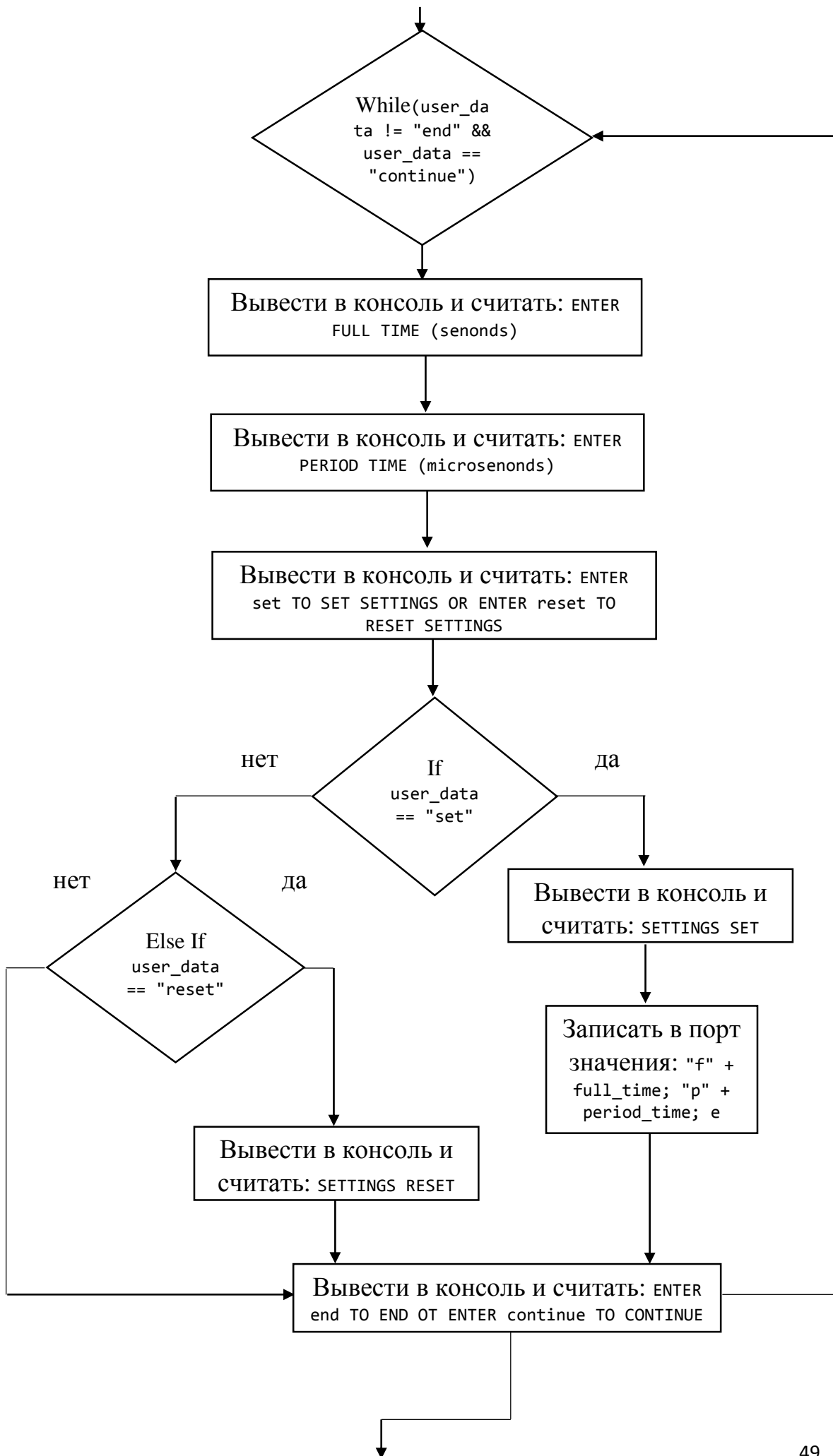
### 3.6. Алгоритмы работы программ

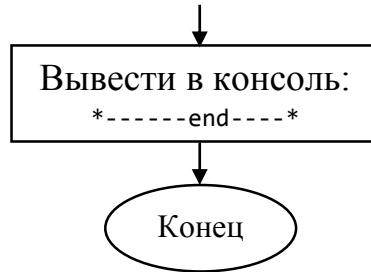
#### 3.6.1. Алгоритм программы для ПК











**Рисунок 14** – Алгоритм основной программы для компьютера

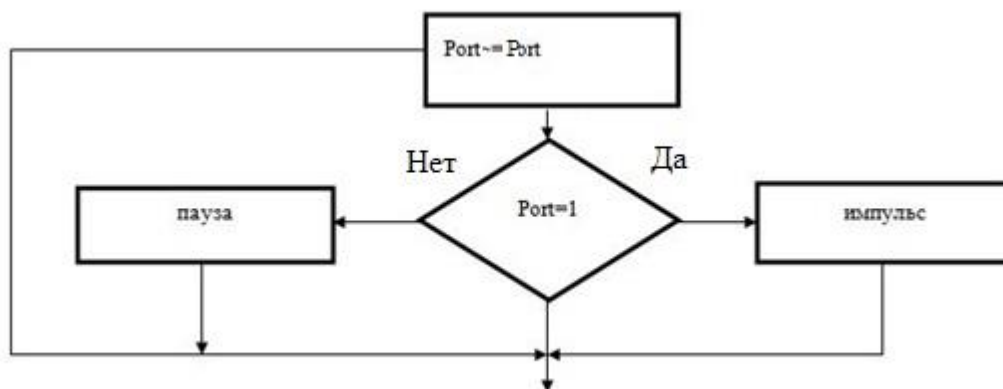
### 3.6.2. Алгоритм программы для микроконтроллера

Программа работы основана на прерываниях микроконтроллера. Формирование импульсов производится по получению информации из консоли компьютера, то есть запускаются прерывания, в которых в определенном порту генерируются прямоугольные импульсы с заданной частотой. На рисунке 15 изображен алгоритм основной программы, на рисунке 16 – алгоритмы подпрограммы.



**Рисунок 15** – Алгоритм основной программы

В программе прерывания по таймеру происходит инвертирование состояния порта, то есть на выходе генерируются прямоугольные импульсы. Таймер задает длительность импульса и паузы.



**Рисунок 16** – Алгоритм подпрограммы

Запускается таймер, отсчитывает длительность импульса или пауза, заходит в прерывание, и там выполняется: (переменная порт – инвертируется), сравнивает, если порт = 1, то создаёт импульс, а если нет – то паузу. В следующий раз, когда таймер заходит в прерывание, то снова инвертируется переменная и создается пауза.

## **4. ОЦЕНКА КОММЕРЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА И ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ПОЗИЦИИ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ.**

### **4.1. Потенциальные потребители результатов исследования**

Система для распыления инсулина с помощью ультразвука служит для личного использования людьми в целях лечения сахарного диабета, как альтернативный вариант инъекционным методам лечения.

Разрабатываемое изделие применяется в медицинских целях. Потребителями могут выступать люди, нуждающиеся в лечении инсулином, либо городские больницы, частные клиники и другие организации, проводящие лечение пациентов.

В данной работе были исследованы типы инсулина и выбран оптимальный для использования в системе, выбраны ее параметры и разработана принципиальная электрическая схема прибора.

Целью данного раздела является подтверждение описанных в выпускной квалификационной работе технических решений, обосновывающих экономическую необходимость и целесообразность выполнения научно-технического исследования.

В задачи раздела входит: определение потребителей результатов исследования, оценка конкурентоспособности, планирование научно-технического исследование с разработкой графика проведения исследования, расчет бюджета научно-технического исследования, оценка эффективности проведенного исследования.

### **4.2. Анализ конкурентных технических решений**

По результатам обзора литературы было установлено, что для распыления ультразвуком, наиболее подходящим является регулярный инсулин или короткого действия.

Для оценки конкурентоспособности используем инсулины Химулин – Б<sub>K1</sub>, а также Новолин – Б<sub>K2</sub>. Оценка производится по пяти бальной шкале, где 1

– очень плохо, 2 – плохо, 3 – удовлетворительно, 4 – хорошо, 5- отлично.

Проведем данный анализ с помощью оценочной карты, приведенной (табл. 4).

**Таблица 4** – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Показания к применению	0,05	5	5	0,25	0,25
2. Начало действия	0,2	4	5	0,8	1
3. Пик действия	0,2	5	5	1	1
4. Длительность действия	0,2	5	3	1	0,6
5. Состав	0,1	5	5	0,5	0,5
6. Смешиваемость с другими инсулинами	0,05	1	1	0,05	0,05
7. Хранение препарата	0,05	3	3	0,15	0,15
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	5	5	0,25	0,25
3. Цена	0,1	5	4	0,5	0,4
Итого	1	38	36	4,5	4,2

Для анализа конкурентных технических решений используем формулу:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \text{ где}$$

K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V<sub>i</sub> – вес показателя (в долях единицы);

B<sub>i</sub> – балл i-го показателя.

Рассчитав конкурентоспособность двух инсулинов, можно сказать, что конкурентоспособность системы К1 составляет 4,5, а К2- 4,2.

Таким образом система К1, более конкурентоспособна, чем система К2.

### 4.3. Планирование научно- исследовательских работ

### 4.4. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

**Таблица 5** – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор темы проекта	1	Постановка цели и задач ВКР	Научный руководитель
	2	Составление предварительного плана	
Выбор направления исследования	3	Подбор и первоначальное ознакомление с литературой по теме ВКР	Инженер
	4	Изучение и выбор метода исследований в ВКР	Инженер
Теоретические исследования	5	Написание теоретической части ВКР	Инженер
	6	Выбор оптимального типа инсулина для системы	

	7	Разработка структурной и принципиальной электрической схемы прибора	
	8	Разработка алгоритмов программы	
	9	Написание кодов программ	
Оценка полученных результатов	10	Оформление итогового варианта ВКР	Научный руководитель, инженер
	11	Согласование и проверка работы с научным руководителем	

#### 4.5. Определение трудоемкости выполнения работ

Расчет трудоемкости работ составляет важную часть экономических расчетов, так как трудовые затраты зачастую определяют стоимость всей НИР и определяют сроки выполнения разработки.

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \text{ чел.-дн.},$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дни.;

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

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

#### 4.6. Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

**Диаграмма Ганта** – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k, \text{ кал.дн.},$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения одной работы в календарных днях;

$T_p$  – продолжительность одной работы в рабочих днях;

$k$  – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{T_{кз}}{T_{кз} - T_{вд} - T_{нд}},$$



где: количество календарных дней году (365).

количество выходных дней в году (104).

количество праздничных дней в году (14).

Данные приведены для пятидневной рабочей недели.

$$k = \frac{365}{365-104-14} = 1.48$$

Результаты представим в таблице 6.

По данным Таблицы 6 построим линейный график проведения НИР, на котором покажем последовательность проводимых работ и сроки выполнения этапов. Календарный план-график составляем по первому исполнению, так как оно занимает меньше времени и является оптимальным для выполнения дипломной работы.

**Таблица 6** – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{min}$ , чел - дни		$t_{max}$ , чел - дни		$t_{ожгi}$ , чел-дни					
	НР	И	НР	И	НР	И	НР	И	Н	И
Выбор темы, постановка цели и задач ВКР	3		5	-	3,8	-	4	-	6	-
Составление предварительного плана ВКР	4	-	6	-	4,8	-	2	-	4	-
Подбор и первоначальное ознакомление с литературой по теме ВКР	-	1	-	20	-		-	8	-	12
Изучение и выбор метода исследований в ВКР	-	1	-	21	-	1	-	14	-	21
Написание теоретической части ВКР	-	1	-	21	-	1	-	14	-	21

Выбор оптимального типа инсулина для системы	-	7	-	14	-	1	-	10	-	15	
Разработка принципиальной электрической схемы прибора	-	5	-	10	-	7	-	5	-	6	
Разработка алгоритма программы	-	2	-	3	-	2	-	3	-	3	
Написание кода программы	-	7	-	14	-	1	-	5	-	10	
Оформление итогового варианта ВКР	-	1	-	21	-	-	-	14	-	21	
Согласование и проверка работы с научным руководителем	2	2	4	4	3	3	2	2	2	2	
Итого								8	74	12	111

**Таблица 7 – Календарный план-график проведения НИР**

№ работ	Исполнители	Т <sub>кп</sub> , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ													
			февраль			март			апрель			май				
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Руководитель	6	■													
2	Руководитель	4		■												
3	студент	12			■	■										
4	студент	21				■	■	■								
5	студент	21					■	■	■							
6	студент	15							■	■	■					
7	студент	3										■				
8	студент	6											■			
9	студент	10												■		
10	студент	21													■	■
11	Руководитель студент	2														■

■ - студент  
■ - руководитель

#### 4.7. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В

процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

#### **4.8. Расчет материальных затрат НТИ**

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам и приведена в таблице 8.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

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

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.

Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

**Таблица 8 – Материальные затраты**

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы (З <sub>м</sub> ), руб.
Ручка	шт.	3	30	105
Тетрадь	шт.	4	40	190
Упаковка бумаги (А4)	шт.	1	175	205
Отладочная плата STM32F3 discovery	шт.	1	1900	2150
Кабель USB2.0 1.8м	шт.	1	300	330
CP2102 - преобразователь USB-UART	шт.	1	160	200
Кабель соединительный USB A - USB A 2м	шт.	1	250	280
Итого:				3460

#### **4.9. Основная заработная плата исполнителей темы**

Заработная плата основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Ззп=Зосн+Здоп ,$$

где Зосн – основная заработная плата; Здоп – дополнительная заработная плата (12-20 % от Зосн).

Основная заработная плата (Зосн) руководителя (инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Зосн=Тр \cdot Здн ,$$

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:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m * M}{F_d},$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 рабочих дня  $M = 11,2$  месяца для пятидневной рабочей недели.  $F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

**Таблица 9 – Баланс рабочего времени**

<b>Показатели рабочего времени</b>	<b>Руководитель</b>	<b>Инженер</b>
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней: - выходные - праздничные	118	118
Потери рабочего времени: - отпуск - невыходы по болезни	50	93
Действительный годовой фонд рабочего времени ( $F_d$ )	197	154

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p$$

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

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

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания);

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

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 10.

**Таблица 10 – Расчет основной заработной платы**

Исполнители	Разряд	$k_T$	$Z_{тс}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	КН	–	23100	0,3	0,5	1,3	45045	2378	8	19024
Инженер	–	1	17000	0,3	0,5	1,3	39780	2686	74	198764
Итого $Z_{осн}$										217788

Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор (см. «Положение об оплате труда», приведенное на интернет-странице Планово-финансового отдела ТПУ).

2) стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

3) иные выплаты; районный коэффициент.

#### **4.10. 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.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:  $Z_{доп} = k_{доп} * Z_{осн}$

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

Тогда для руководителя это составляет:

$$Z_{доп} = 0,12 * 19,024 = 2,283 \text{ тыс. руб.},$$

Для инженера:

$$З_{доп} = 0,12 * 198,764 = 23,852 \text{ тыс.руб.},$$

#### 4.11. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

**Таблица 11** – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	19024	2283
Инженер	198764	23852
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	$k_{внеб} = 0,30$	
Итого		
Руководитель проекта	6392,2	
Инженер	66784,8	

#### 4.12. Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$З_{накл} = (\sum \text{статей}) \cdot k_{нр},$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$З_{накл} = 320,556 * 0,16 = 51,289 \text{ тыс. руб.}$$

#### **4.13. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта**

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) 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 по трём вариантам исполнения одинаков и приведен в таблице 12.

**Таблица 12 – Расчет бюджета затрат НИИ**

Наименование статьи	Сумма, руб.	Доля затрат, %
1. Материальные затраты НИИ	3456	0,9
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	217788	58,6
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	26135	7
4. Отчисления во внебюджетные фонды	73177	19,7
5. Накладные расходы	51289	13,8
6. Бюджет затрат НИИ	371845	100

#### **4.14. Определение эффективности исследования**

Эффективность данной разработки заключается в том, что аналогов данной разработки очень мало, и они не используются для распыления инсулина. Такой прибор может помочь людям проводить лечение без применения инъекционных средств доставки инсулина.

Таким образом, поставленная цель достигнута, решены поставленные задачи. Определены потенциальные потребители результатов исследования, а также проведен анализ конкурентных технических решений. Кроме того, был сформирован перечень этапов и произведено распределение исполнителей. Также был разработан график проведения научного исследования. Рассчитан бюджет на проведение исследования.



## **5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

### **Введение.**

Системы с ультразвуковыми распылителями заменили во многих индустриях и исследовательских приложениях обычные распылители, ингаляторы и др., а также сделали возможными многие распылительные процессы, в том числе в медицине (усовершенствование процессов распыления медицинских препаратов).

Озабоченность проблемами окружающей среды, недопустимыми количествами промышленных отходов, а также побочными эффектами применения различных медицинских препаратов для пациентов заставила производителей использовать системы с ультразвуковой распылительной головкой, как технологию, которая более точна, контролируема, экологически чистая и безвредная для пациентов.

В данной выпускной квалификационной работе будет рассмотрена разработка системы управления для подобного устройства на основе микроконтроллера STM32F3, которое будет генерировать прямоугольные импульсы, с возможностью регулирования длительности периода и длительности всего процесса генерации в компьютерной программе. Связь данного устройства с компьютером – осуществляется через последовательный COM – порт, через преобразователь USB-to-UART. Полученные импульсы в дальнейшем будут приходить на пьезоэлектрический преобразователь, тем самым создавая ультразвуковые волны, в результате чего будет происходить распыление жидкости через ультразвуковую распылительную головку, в данном случае – инсулина.

### **5.1. Производственная безопасность**

Производственная безопасность представляет собой систему организационных мероприятий и технических средств, уменьшающих вероятность воздействия на персонал опасных производственных факторов, вредных воздействий технологических процессов, энергии, средств, предметов, условий и режимов труда до приемлемого уровня. Необходимо

выявить вредные и опасные производственные факторы, которые могут возникать при разработке устройства. Выбор факторов производится с использованием ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Все факторы приведены в таблице 13.

**Таблица 13** – Опасные и вредные факторы при выполнении работ при разработке медицинских устройств и проведения экспериментов

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные Документы	
	Вредные	Опасные	Вредные факторы	Опасные факторы
Разработка устройства: 1) Разработка структурной схемы 2) Разработка принципиальной схемы 3) Программирование микроконтроллера 4) Написание программы для компьютера 5) Проведение эксперимента	Повышенный уровень ультразвука	Повышенный уровень статического электричества	ГОСТ 12.1.001-89	ГОСТ 12.1.019 - 79 (с изм. №1) ССБТ
	Повышенный уровень электромагнитных излучений	Электрический ток;	СанПиН 2.2.4-548-96	
	Отклонение параметров микроклимата в помещении		СанПиН 2.2.2/2.4 1340-03	
	Недостаточная освещенность рабочей зоны	СП 52.13330.2016		
		ГОСТ 12.1.004-91		
ГОСТ 12.0.003-2015		ГОСТ 12.1.019-79		
		ГОСТ 12.1.030-81		

## 5.2. Отклонение параметров микроклимата в помещении

Микроклимат производственных помещений - это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека. Согласно ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ показателями, характеризующими микроклимат являются: температура воздуха, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха, интенсивность теплового излучения.

Указанные параметры – каждый в отдельности и в совокупности – оказывают значительное влияние на работоспособность человека, его самочувствие и здоровье. При определенных их значениях человек испытывает состояние теплового комфорта, что способствует повышению производительности труда, предупреждению простудных заболеваний. И, наоборот, неблагоприятные значения микроклиматических показателей могут стать причиной снижения производственных показателей в работе, привести к таким заболеваниям работающих как различные формы простуды, радикулит, хронический бронхит, тонзиллит и др.

Рабочая зона ограничивается высотой 2,2 м над уровнем пола, где находится рабочее место. СанПиН 2.2.4.548-96. Все категории работ разграничиваются на основе интенсивности энергозатрат организма в Вт. Работа инженера – разработчика относится к категории Ib (работа с интенсивности от 140 до 174 Вт). Оптимальные и допустимые параметры микроклимата на рабочем месте согласно СанПиН 2.2.4.548-96 приведены для категории Ib в таблице 14.

**Таблица 14** – Оптимальные показатели микроклимата

Период года	Температура, град. С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	21-23	40-60	0,1
Теплый	22-24	40-60	0,1

**Таблица 15** – Допустимые показатели микроклимата

Период года	Температура, град. С		Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин
Холодный	19 – 20,9	23,1 – 24	15 – 75	0,1	0,2
Теплый	20 – 21,9	24,1 – 28	15 – 75	0,1	0,3

Рекомендациями по поддержанию благоприятного микроклимата могут быть следующие: включение дополнительных обогревательных приборов в

холодное время года, организация хорошей проветриваемости помещения, установка увлажнителей воздуха при низкой влажности и т.п.

### **5.3. Повышенный уровень ультразвука**

При работе с приборами работающими в ультразвуковом диапазоне, возникает опасность функциональных изменений в центральной нервной системе человека, а также развития болезни органов и разрушения костных тканей человека.

Ультразвуковые волны низкой частоты, которые способны генерировать шум и ультразвук, могут вызвать у работника нарушения работы слухового и вестибулярного аппарата, сердечно-сосудистой системы, а также утомление и головные боли. Степень выраженности изменений в организме человека зависит от интенсивности и длительности воздействия ультразвука и усиливается при наличии в спектре излучения.

По сравнению с высокочастотным шумом ультразвук значительно слабее влияет на слуховую функцию, но вызывает более выраженные отклонения от нормы вестибулярной функции, болевой чувствительности и терморегуляции.

Меры безопасности при воздействии с ультразвуком:

- Для защиты от неблагоприятного воздействия воздушного ультразвука следует применять противошумы;
- Для защиты рук от возможного неблагоприятного воздействия контактного ультразвука в твердой или жидкой средах необходимо применять две пары перчаток - резиновые (наружные) и хлопчатобумажные (внутренние) или только хлопчатобумажные;
- Для исключения контакта с источниками ультразвука необходимо применять дистанционное управление оборудованием;

### **5.4. Недостаточная освещенность рабочей зоны**

Одним из важнейших элементов условий труда является освещение. Правильно выполненная система освещения играет существенную роль в снижении производственного травматизма, уменьшая потенциальную

опасность многих производственных факторов, создает нормальные условия работы, повышает общую работоспособность. Резкие тени, утомляя глаза, нарушают их работоспособность и могут явиться непосредственными причинами несчастных случаев на производстве. Причиной несчастных случаев может явиться также ослепление работающих слишком ярким источником света, когда перед глазами работающих расположены ничем не защищенные яркие лампы.

В помещении и на рабочем месте присутствует два вида освещения: естественное и искусственное. Естественное боковое и искусственное рабочее, а также комбинированное, которое состоит из местного освещения рабочих мест и общего освещения помещения. Данные виды освещения освещению нормируется СП 52.13330.2011.

Для данного типа работ, относящихся к 3 разряду – высокая точность работ, минимальная освещенность в лаборатории должна составлять 300-500 лк. Значение показателя ослепленности (Р) не более 20, а коэффициента пульсации (Кп) не более 15 %.

Причиной недостаточной освещенности рабочего места может быть и неудовлетворительный уход за светильником, загрязненность ламп, отсутствие абажура или рефлектора, и захламление рабочего пространства и окон. Также наличие большого количества предметов на рабочем месте приводит к появлению резких теней, неравномерность распределения поверхностей с различной яркостью в поле зрения, что также приводит к снижению производительности труда и быстрой утомляемости.

На рабочих местах, где трудовая деятельность ведется в условиях недостаточного естественного освещения, необходимо проводить мероприятия, направленные на уменьшение уровня вредности условий труда. В их число входят следующие:

- анализ степени загрязненности стекол, их очистка и дальнейшие контрольные измерения коэффициента естественной освещенности;

- в случае обусловленности недостатка естественного освещения затенением зелеными насаждениями снос деревьев;
- при наличии в помещении зон с недостаточным и достаточным уровнем естественного освещения изменение размещения рабочих мест с их переносом в зону с достаточным уровнем естественного освещения;
- косметический ремонт помещения с применением светлых отделочных материалов.

### **5.5. Повышенный уровень электромагнитных излучений**

Электромагнитные поля, характеризующиеся напряженностями электрических и магнитных полей, наиболее вредны для организма человека. Основным источником этих проблем, связанных с охраной здоровья людей, использующих в своей работе автоматизированные информационные системы на основе персональных компьютеров, являются дисплеи (мониторы), они представляют собой источники наиболее вредных излучений, неблагоприятно влияющих на здоровье человека.

Так как большинство работ проводится с использованием ПК, то в качестве вредного фактора, следует рассмотреть, электромагнитное излучение. При работе, компьютер образует вокруг себя электромагнитное поле, а при нагревании платы и корпуса монитора, испускает в воздух вредные вещества. Всё это делает воздух очень сухим, слабо ионизированным, со специфическим запахом и тяжёлым для дыхания.

Естественно, что такой воздух не может быть полезен для организма и может привести к заболеваниям аллергического характера, болезням органов дыхания и другим расстройствам.

Человеческий организм всегда реагирует на электромагнитное поле. Однако, для того чтобы это реакция переросла в патологию и привела к заболеванию необходим совпадение ряда условия в том числе достаточно высокий уровень поля и продолжительность облучения. Поэтому, при неисправной техники с малыми уровнями поля или кратковременными, ЭМП (электромагнитное поле) не оказывает влияния на здоровье. Потенциальная

опасности может грозить лишь людям с повышенной чувствительностью к электромагнитному полю и аллергикам, также зачастую обладающим повышенной чувствительностью к электромагнитным полям.

Предельно допустимые значения излучений от ЭВМ в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 приведены в таблице 16.

**Таблица 16 – Допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ**

Наименование параметров		ВДУ 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	25 нТл
Электростатический потенциал видеомонитора	экрана	500 В

На расстоянии 5-15 см от экрана и корпуса монитора уровни напряженности могут достигать 150 В/м по электрической составляющей, что значительно превышает допустимые значения. Все дисплеи должны проходить испытания на соответствие требованиям безопасности, например, международным стандартам MRP2, TCO99. Для уменьшения влияния электромагнитного поля можно использовать мониторы у которых понижен уровень излучения (МРК-2, TCO-92, TCO-99).

В качестве защитных мер от электромагнитного излучения используются:

- ограничение по времени нахождения персонала на рабочем месте;
- регулярные перерывы между рабочим временем и прогулки на свежем воздухе;
- рациональное размещение оборудования.

### **5.6. Повышенный уровень статического электричества**

Суть электризации заключается в том, что нейтральные тела, не проявляющие в нормальном состоянии электрических свойств, при определенных условиях способны накапливать электрические заряды.

Опасность возникновения статического электричества проявляется в возможности образования электрической искры и вредном воздействии его на организм человека, причем не только при непосредственном контакте с зарядом, но и за счет действия электрического поля, возникающем при заряженном поле.

Для обеспечения защиты от статического электричества ГОСТ 12.4.124-83 приписывает следующее:

- Заземление устройств;
- Использование нейтрализаторов;
- Увлажнение воздуха;
- Использование антиэлектростатических веществ;
- Экранирование.

### **5.7. Поражение электрическим током**

При разработке устройства присутствует опасность поражения электрическим током.

Причинами воздействия тока на человека являются: случайные проникновения или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям; появление напряжения на металлических частях оборудования в результате повреждения изоляции; короткое замыкание и др.

Устанавливает предельно допустимые уровни (ПДУ) напряжений и токов ГОСТ 12.1.038 – 82. Мероприятия по защите от поражения электрическим током – защитное заземление. Принцип действия защитного заземления: человек должен стоять внутри контура заземления и при попадании фазного напряжения на заземленный корпус прибора, под фазным напряжением окажется как корпус прибора, так и участок земли, на которой стоит человек. При прикосновении человека с прибором между его рукой и ногами не будет возникать разницы потенциалов, и ток через человека не потечет.

Мероприятия, проводимые для устранения факторов поражения электрическим током:



а) все лица, приступающие к работе с электрооборудованием, проходят инструктаж на рабочем месте, допуск к самостоятельной работе разрешается лишь после проверки знаний техники безопасности;

б) осуществляется постоянный контроль качества и исправности защитных приспособлений и заземлении;

в) эксплуатация электроустановок предусматривает введение необходимой технической документации; обеспечивается недоступность к токоведущим частям, находящимся под напряжением; корпуса приборов и электроустановок заземляются;

### **5.8. Экологическая безопасность**

Экологическая безопасность – это допустимый уровень негативного воздействия, со стороны природных и антропогенных факторов экологической опасности на окружающую среду и человека.

Сама система управления ультразвуковым распылителем инсулина не производит никаких выбросов в атмосферу или же отходы, а также сбросы в гидросферу.

Негативное воздействие на литосферу характеризуется утилизацией твердых бытовых отходов (бумага, использованные части компьютера, например, батарея питания).

Решения по обеспечению экологической безопасности:

Вывоз и утилизация частей компьютера на специальных полигонах токсичных отходов.

### **5.9. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайная ситуация – обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, стихийного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, согласно ГОСТ Р 22.0.07-95.

При создании прибора может возникнуть чрезвычайная ситуация пожарного характера.

Пожаром называется неконтролируемое горение вне специального очага, наносящего материальный ущерб. Согласно ГОСТ 12.1.033 – 81 понятие пожарная безопасность означает состояние объекта, при котором с установленной вероятностью исключается возможность возникновения и развития пожара и воздействия на людей опасных факторов пожара, а также обеспечивается защита материальных ценностей.

Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла. Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно-технические мероприятия.

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера. Так как разработка устройства включает в себя работу с электрооборудованием то перечислим причины возникновения электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Для устранения причин возникновения пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия:

- а) использование только исправного оборудования;
- б) проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- в) назначение ответственного за пожарную безопасность помещений;
- г) издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности
- д) отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
- е) курение в строго отведенном месте;
- ж) содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства

пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной, порошковый, закачиваемый огнетушитель ОП-3. В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

#### **5.10. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.**

Перед началом работы с ультразвуковыми распылителями в зависимости от технического и научного уровня и характера работ каждый работник должен пройти специальное обучение и сдать соответствующий экзамен по технике безопасности при работе с источниками ультразвука. К работе с УЗ распылителями допускаются только лица, достигшие 18 лет, которые прошли специальное медицинское обследование состояния здоровья и были признаны пригодными по результатам обследования к указанной работе.

Главными элементами рабочего места инженера являются письменный стол и кресло. Основным рабочим положением является положение сидя. Рабочее место для выполнения работ в положении сидя организуется в соответствии с ГОСТ 12.2.032-78.

Рабочая поза сидя вызывает минимальное утомление инженера. Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще, расположено в зоне легкой досягаемости рабочего пространства.

При проектировании письменного стола следует учитывать следующее:

- высота стола должна быть выбрана с учетом возможности сидеть свободно, в удобной позе, при необходимости опираясь на подлокотники;

- нижняя часть стола должна быть сконструирована так, чтобы инженер мог удобно сидеть, не был вынужден поджимать ноги;

- поверхность стола должна обладать свойствами, исключающими появление бликов в поле зрения инженера;

- конструкция стола должна предусматривать наличие выдвижных ящиков (не менее 3 для хранения документации, листингов, канцелярских принадлежностей, личных вещей).

- параметры рабочего места выбираются в соответствии с антропометрическими характеристиками. При использовании этих данных в расчетах следует исходить из максимальных антропометрических характеристик.

Так как разработка устройства ведётся с помощью персонального компьютера, поэтому необходимо руководствоваться СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, в котором изложены общие требования к организации рабочих мест пользователей ПЭВМ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведя анализ ультразвуковой колебательной системы, ингаляторов и распылительных головок, сравнив их характеристики, можно сделать вывод, что все данные приборы работают на пьезоэлектрических элементах, т.е. собственный прибор также будет выполнен с использованием пьезоэлектрического элемента, и лучше всего из перечисленных устройств подойдет технология «ультразвуковой распылительной головки».

При проектировке аппарата важно будет обратить внимание на диапазон частоты, потребляемую мощность, а также размер капель распыления и на сам инсулин, который будет проходить процесс атомизации.

По итогу данной работы, можно говорить о следующем:

1. Для получения должно эффекта от регулярного или ингаляционного инсулина, нужно атомизировать его до размеров пор слизистой оболочки подъязычной и щечной полости рта или меньше. Размер, которых составляет в среднем (52 и 23 Å соответственно 5,2 и 2,3 нм).
2. Чтобы достигнуть нужных значений диаметра, распыляемых капель инсулина, необходим высокий уровень частоты (2– 3 MHz или больше).
3. При данных условиях уровень подводимой мощности не должен быть слишком велик, т.к. при высоком уровне будет ярко-выражен процесс ультразвуковой кавитации (хаотичный разброс капель при атомизации, что является паразитным параметром), т.е. порядка 7-10 Вт.
4. Необходим качественный пьезоэлектрический преобразователь, способный генерировать колебания соответствующей частоты.
5. Наконечник ультразвуковой распылительной головки должен давать распыление конической формы, диаметром 2-5 см.
6. Сам прибор должен свободно помещаться в руку и иметь в длине не более 20 см, в ширине (не считая наконечника) 3-5 см.
7. Необходимо обеспечить отсек для аккумулятора, и выбрать сам аккумулятор.

8. Конструкция должна быть изготовлена из металла (возможна облегченная версия из пластика).
9. Используемый инсулин: регулярный инсулин, Хумулин R, Новолин R.  
Что он делает: это инсулин короткого действия, идентичный инсулину, вырабатываемому в человеческом организме. Он начинает работать приблизительно через 30 минут после еды, и имеет пик действия, возникающий позже, чем у инсулина быстрого действия. Когда его принимать: за 30-60 минут до еды, чтобы контролировать пик уровня сахара в крови, возникающий после приема пищи. Как он действует\*: начало действия через 30-60 минут, пик действия 2-5,5 часов, продолжительность действия: 4-8 часов.
10. Для проведения первой экспериментальной части вместо инсулина можно использовать препарат: ПЭГ – 200,300,400, т.к. он имеет очень схожую структуру и реакцию на внешнее воздействие.
11. Исходя из имеющихся научных данных, выявлены основные параметры для будущего устройства.
12. Изучены различные виды инсулина и выбран более подходящий.
13. Рассчитаны размеры пор слизистой оболочки полости рта в подъязычной и щечной областях, которые составили 52 и 23 Å соответственно.
14. Исследованы существующие схемы ультразвуковых распылителей, распылительных головок, ультразвуковых ингаляторов, колебательных систем.
15. Разработана структурная схема системы управления ультразвукового распылителя инсулина.
16. Разработана принципиальная схема системы управления ультразвукового распылителя инсулина. Выполнен расчет и выбор элементов схемы.
17. Получены алгоритмы и коды программ для работы микроконтроллера, организована связь с персональным компьютером.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. Averkiev A. A., Grigorjev G. Y., Goryachev B. V. The optical radiation transfer in layered atmosphere // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. - 2016 - Vol. 10035, Article number 100350F. - p. 1-7
2. Аверкиев А.А., Арышева Г. В. // Инновации в неразрушающем контроле (SibTest 2017): сборник тезисов IV международной конференции, Новосибирск, 27-30 июня 2017 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); под ред. А. В. Юрченко. — Томск: Изд-во ТПУ, 2017. — [С. 108].
3. Аверкиев А. А., Горячев Б. В. Влияние оптических параметров облачной атмосферы на радиационное взаимодействие [Электронный ресурс] // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: материалы XXIII Международного симпозиума, Иркутск, 3-7 Июля 2017. - Томск: ИОА СО РАН, 2017 - С. 71-74
4. Аверкиев А. А., Григорьев Г. Ю., Горячев Б. В. Определение радиационных потоков в слоистой атмосфере с отражением на границах [Электронный ресурс] // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: материалы XXIII Международного симпозиума, Иркутск, 3-7 Июля 2017. - Томск: ИОА СО РАН, 2017 - С. 67-70 –
5. Аверкиев А. А., Григорьев Г. Ю., Горячев Б. В. Влияние подстилающей поверхности на радиационный баланс слоистой атмосферы // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: материалы XXII Международного симпозиума, Томск, 30 Июня-3 Июля 2016. - Томск: ИОА СО РАН, 2016 - С. 127-130
6. Аверкиев А. А., Григорьев Г. Ю., Горячев Б. В. Перенос оптического излучения в слоистой атмосфере // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: материалы XXII Международного симпозиума, Томск, 30 Июня-3 Июля 2016. - Томск: ИОА СО РАН, 2016 - С. 123-126
7. Аверкиев А. А., Григорьев Г. Ю., Горячев Б. В. Влияние подстилающей поверхности на величину поглотительной способности стратифицированной атмосферы // Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: материалы XXI Международного симпозиума, Томск, 22-26 Июня 2015. - Томск: ИОА СО РАН, 2015 - С. 65-68

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Microspray Company [Electronic resource]. Режим доступа: <https://microspray.com/basics-of-ultrasonic-atomization/>
2. Spraying Systems Co. [Electronic resource]. Режим доступа: <http://www.accujet.com/about.html>
3. Noanix Corporation [Electronic resource]. Режим доступа: [http://www.noanix.com/eng/products/products.php?pnum=24&class1\\_num=4&class2\\_num=8&class0\\_num=&ckattempt=2](http://www.noanix.com/eng/products/products.php?pnum=24&class1_num=4&class2_num=8&class0_num=&ckattempt=2)
4. Ultrasonic Systems, Inc. (USI). [Electronic resource]. Режим доступа: <http://www.ultraspray.com/technology>
5. Nadetech Innovdtions. [Electronic resource]. Режим доступа: <http://www.nadetech.com/index.php/en/technologies>
6. Ultrasound Company [Electronic resource]. - Sono-Tek Corporation. - Режим доступа: <http://www.sono-tek.com/>.
7. American Diabetes Association [Electronic resource]. Режим доступа: <http://www.diabetes.org/living-with-diabetes/treatment-and-care/medication/insulin/insulin-basics.html?referrer=https://www.google.ru/>
8. Хмелев В.Н. Применение ультразвуковых колебаний высокой интенсивности в промышленности [Текст] / В.Н.Хмелев, Р.В.Барсуков, А.Н.Сливин, С.Н.Цыганок, А.В.Шалунов. - Барнаул: АлтГТУ, 2010. - 196 с.
9. Патент США №7712680 - прототип.
10. Nadetech Innovdtions. [Electronic resource]. Режим доступа: <http://www.nadetech.com/index.php/en/technologies>
11. Veuillez F, Kalia YN, Jacques Y, Deshusses J, Buri P. Factors and strategies for improving buccal absorption of peptides. Eur J Pharm Biopharm 2001;51:93–109.
12. Ultrasound Company [Electronic resource]. - Sono-Tek Corporation. - Режим доступа: [http://www.boelnordic.com/wpcontent/uploads/2016/03/sonotek\\_coating.pdf](http://www.boelnordic.com/wpcontent/uploads/2016/03/sonotek_coating.pdf)



13. Donovan MD, Flynn GL, Amidon GL. Absorption of polyethylene glycols 600 through 2000: the molecular weight dependence of gastrointestinal and nasal absorption. *Pharm Res* 1990; 7:863–868.
14. Law S, Wertz PW, Swartzendruber DC, Squier CA. Regional variation in content, composition and organization of porcine epithelial barrier lipids revealed by thin-layer chromatography and transmission electron microscopy. *Arch Oral Biol* 1995; 40:1085–091.
15. Bernstein G. Delivery of insulin to the buccal mucosa utilizing the RapidMist system. *Expert Opin Drug Deliv* 2008; 5:1047–055.
16. Starokadoms'kyi PL. Mechanism of the buccal permeability of insulin. *Fiziol Zh* 2006; 52:90–97.
17. Pozzilli P, Manfrini S, Costanza F, Coppolino G, Cavallo MG, Fioriti E, et al. Biokinetics of buccal spray insulin in patients with type 1 diabetes. *Metabolism* 2005; 54:930–934.
18. Hosny EA, Elkheshen SA, Saleh SI. Buccoadhesive tablets for insulin delivery: in-vitro and in-vivo studies. *Boll Chim Farm* 2002; 141:207–210.
19. Nicolazzo JA, Reed BL, Finnin BC. Assessment of the effects of sodium dodecyl sulfate on the buccal permeability of caffeine and estradiol. *J Pharm Sci* 2004; 93:431–440.
20. Nicolazzo JA, Reed BL, Finnin BC. The effect of various in vitro conditions on the permeability characteristics of the buccal mucosa. *J Pharm Sci* 2003; 92:2399–410.
21. Kim M. Absorption of polyethylene glycol oligomers (330–1122 Da) is greater in the jejunum than in the ileum of rats. *J Nutr* 1996; 126:2172–178.
22. Tsai JC, Hung PL, Sheu HM. Molecular weight dependence of polyethylene glycol penetration across acetone-disrupted permeability barrier. *Arch Dermatol Res* 2001; 293:302–307.
23. Seki T, Kanbayashi H, Chono S, Tabata Y, Morimo K. Effects of a sperminated gelatin on the nasal absorption of insulin. *Int J Pharm* 2007; 338:213–218.

24. Squier CA, Cox P, Wertz PW. Lipid content and water permeability of skin and oral mucosa. *J Invest Dermatol* 1991; 96:123–126.
25. van Eyk AD, van der Bijl P. Comparative permeability of various chemical markers through human vaginal and buccal mucosa as well as porcine buccal and mouth floor mucosa. *Arch Oral Biol* 2004; 49:387–392.
26. Kurosaki Y, Kimura T. Regional variation in oral mucosal drug permeability. *Crit Rev Ther Drug Carrier Syst* 2000; 17:467–508.
27. «Современная электроника». [Electronic resource]. Режим доступа: <https://www.soel.ru/upload/clouds/1/iblock/191/191aa60865342a6b7e8cdf4780532570/200906032.pdf>
28. «ЕЛАМЕД». [Electronic resource]. Режим доступа: <https://elamed.com/dlya-lechebnykh-uchrezhdeniy/produktsiya-2/meditsinskaya-ultrazvukovaya-moyka-uzo-3-01-medel>
29. Ферритовые кольцевые сердечники [Электронный ресурс] / Завод «Магнетон». URL: <http://www.magneton.ru/cat.php?id=134> , свободный. – Яз. рус. Дата обращения: 27.03.2018 г.
30. Расчет электромагнитных элементов источников вторичного электропитания/ А. Н. Горский, Ю. С. Русин, Н. Р. Иванов, Л. А. Сергеева. — Москва: Радио и связь, 1988. — 174 с.
31. Аверкиев А.А., Арышева Г. В. // Инновации в неразрушающем контроле (SibTest 2017): сборник тезисов IV международной конференции, Новосибирск, 27-30 июня 2017 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); под ред. А. В. Юрченко. — Томск: Изд-во ТПУ, 2017. — [С. 108].

## Приложение А. Описание микроконтроллера STM32F3

Микроконтроллер STM32F303VCT6:

ядро ARM Cortex-M4, рабочая частота до 72 МГц;

поддержка DSP инструкций с плавающей точкой;

модуль защиты памяти;

256 КБайт Flash-память, 48 КБайт ОЗУ;

12-канальный DMA контроллер;

до 13 таймеров с расширенным функционалом;

часы реального времени с календарем и будильником;

четыре АЦП с конфигурируемым разрешением 12/10/8/6 бит;

два 12-битных ЦАП;

7 аналоговых компараторов;

4 программируемых операционных усилителя;

поддержка сенсорного интерфейса;

коммуникационные интерфейсы: CAN, I2C, USART/UART, I2S, USB 2.0;

до 87 линий ввода/вывода общего назначения.

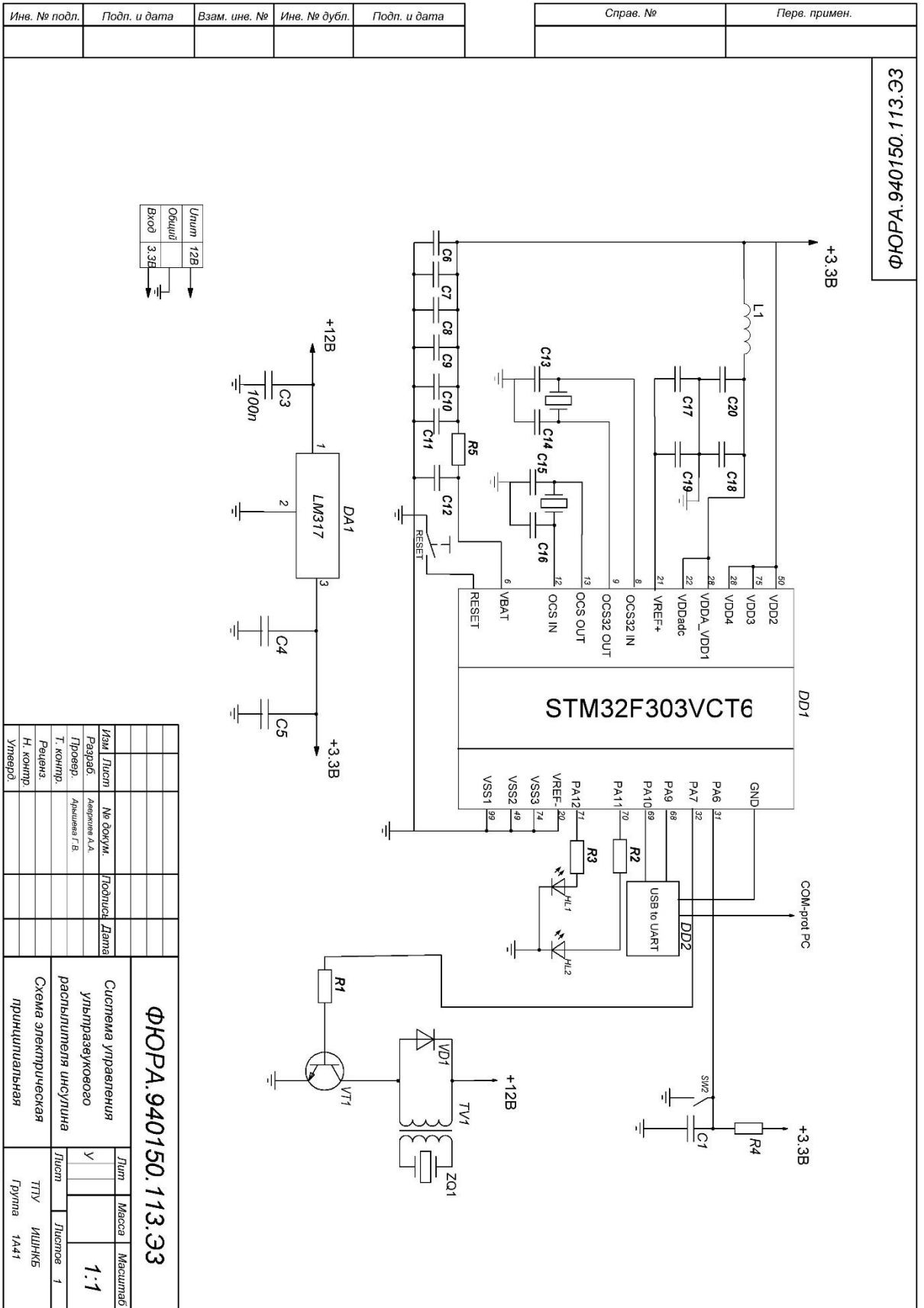
## Приложение Б. Максимально допустимые параметры КТ920А

Максимально допустимые параметры. Гарантируются при температуре перехода  $T_{\text{п}} = -45 \dots +150^{\circ}\text{C}$ .

$I_{\text{к max}}$ — постоянный ток коллектора, А:		$U_{\text{кэВ max}}$ — постоянное напряжение коллектор — эмиттер ( $R_{\text{б}} \leq 100 \text{ Ом}$ ), В . . . . .	36
КТ920А . . . . .	0,5	$P_{\text{к max}}^{1)}$ — рассеиваемая мощность коллектора ( $T_{\text{к}} \leq 50^{\circ}\text{C}$ ), Вт:	
КТ920Б . . . . .	1	КТ920А . . . . .	5
КТ920В, КТ920Г . . . . .	3	КТ920Б . . . . .	10
$I_{\text{б max}}$ — постоянный ток базы, А:		КТ920В, КТ920Г . . . . .	25
КТ920А . . . . .	0,25	$T_{\text{п max}}$ — температура перехода, $^{\circ}\text{C}$ . . . . .	150
КТ920Б . . . . .	0,5	$R_{\text{т, п-к}}$ — тепловое сопротивление переход — корпус, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ :	
КТ920В, КТ920Г . . . . .	1,5	КТ920А . . . . .	20
$I_{\text{к, и max}}$ — импульсный ток коллектора, А:		КТ920Б . . . . .	10
КТ920А . . . . .	1	КТ920В, КТ920Г . . . . .	4
КТ920Б . . . . .	2	$f_{\text{min}}$ — минимально допустимая рабочая частота, МГц . . . . .	30
КТ920В, КТ920Г . . . . .	7	Допустимая температура окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$ . . . . .	$-45 \dots +85$
$I_{\text{б, и max}}$ — импульсный ток базы, А:			
КТ920А . . . . .	0,5		
КТ920Б . . . . .	1		
КТ920В, КТ920Г . . . . .	3,5		
$U_{\text{эВ max}}$ — постоянное напряжение эмиттер — база, В . . . . .	4		
$U_{\text{кб max}}$ — постоянное напряжение коллектор — база, В . . . . .	36		

Для динамического режима. При  $T_{\text{к}} = 50 \dots 85^{\circ}\text{C}$   $P_{\text{к max}} [\text{Вт}] = (150 - T_{\text{к}}) / R_{\text{т, п-к}}$

# Приложение В. Принципиальная схема устройства



**Приложение Г. Перечень элементов**

<i>Поз. Обознач.</i>	<i>Наименование</i>	<i>Кол-во</i>	<i>Примечание</i>
	<u>Конденсатор</u>		
<i>C1</i>	<i>K50-6-25B-1000(-20..+80%)</i>	<i>1</i>	
	<u>Резисторы</u>		
<i>R1</i>	<i>C2-33-2 -300Ом ± 5%</i>	<i>1</i>	
<i>R2,R3</i>	<i>C2-33-2- 200Ом ± 5%</i>	<i>2</i>	
<i>R4</i>	<i>C2-33-2 – 1000 Ом ± 5%</i>	<i>1</i>	
	<u>Диод</u>		
<i>VD1</i>	<i>КД202</i>	<i>1</i>	
	<u>Отладочная плата</u>		
<i>DD1</i>	<i>STM32F3discovery</i>	<i>1</i>	
	<u>Трансформатор</u>		
<i>TV1</i>	<i>Трансформатор</i>	<i>1</i>	<i>2000НМ1 К45×28×8</i>
	<u>Транзистор</u>		
<i>VT1</i>	<i>КТ920А</i>	<i>1</i>	
	<u>Преобразователь USB-to-UART</u>		
<i>DD2</i>	<i>CP2102</i>	<i>1</i>	
			<b>ФЮРА.940150.113.ПЭ</b>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подп.</i>
<i>Разработ.</i>		<i>Аверкиев А.А.</i>	
<i>Проверил</i>		<i>Арышева Г.В.</i>	
<i>Т. Контр.</i>			
<i>Н. Контр.</i>			
<i>Утв.</i>			
		<b>Система управления ультразвуковым распылителем инсулина</b>	
		<i>Лит.</i>	<i>Масса</i>
		<i>У</i>	
			<i>Масшт.</i>
			<b>1:1</b>
		<i>Лист 1</i>	<i>Листов 1</i>
			<b>ТПУ ИШНКБ Группа 1А41</b>

## Приложение Д. Код программы для PC (Visual Studio)

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.IO.Ports;

namespace AntonComPortcSharp
{
    class Program
    {
        static void Main(string[] args)
        {
            Console.WriteLine("COM PORT SETTINGS");
            Console.WriteLine("PRESS 1 to SCAN AVAILABLE PORTS OR PRESS 2 TO GO NEXT
STEP");
            SerialPort port = new SerialPort();
            string[] available_ports = null;
            string result = null;
            while (result != "2")
            {
                result = Console.ReadLine();
                if (result == "1")
                {
                    Console.WriteLine("AVAILABLE PORTS: ");
                    int i = 0;
                    available_ports = SerialPort.GetPortNames();
                    foreach (string res in available_ports)
                    {
                        Console.WriteLine(i.ToString() + "." + res);
                        i++;
                    }
                    i = 0;
                    break;
                }
                else
                {
                    Console.WriteLine("PRESS 1 to SCAN AVAILABLE PORTS OR PRESS 2 TO GO
NEXT STEP");
                }
            }
            Console.WriteLine(" ");
            Console.WriteLine("PRESS THE NUMBER OF PORT YOU WANT TO CONNECT");
            string user_choice = Console.ReadLine();
            int int_user_choice = int.Parse(user_choice);

            try
            {
                // настройки порта
                port.PortName = available_ports[int_user_choice];
                port.BaudRate = 14400;
                port.DataBits = 8;
                port.Parity = System.IO.Ports.Parity.None;
                port.StopBits = System.IO.Ports.StopBits.One;
                port.ReadTimeout = 1000;
                port.WriteTimeout = 1000;
                port.Open();
            }
            catch (Exception e)
            {
                Console.WriteLine("ERROR: port error:" + e.ToString());
                return;
            }
        }
    }
}
```

```

}
Console.WriteLine("PORT OPENNING SUCCESS");
string full_time = null;
string period_time = null;
string user_data = "continue";
while (user_data != "end" && user_data == "continue")
{
    Console.WriteLine(" ");
    Console.WriteLine("ENTER FULL TIME (senonds)");
    full_time = Console.ReadLine();
    Console.WriteLine(" ");
    Console.WriteLine("ENTER PERIOD TIME (microsenonds)");
    period_time = Console.ReadLine();
    Console.WriteLine(" ");
    Console.WriteLine("ENTER set TO SET SETTINGS OR ENTER reset TO RESET
SETTINGS ");
    user_data = Console.ReadLine();
    if (user_data == "set")
    {
        Console.WriteLine(" ");
        Console.WriteLine("SETTINGS SET");
        port.Write("f" + full_time);
        port.Write("p" + period_time);
        port.Write("e");
    }
    else if (user_data == "reset")
    {
        Console.WriteLine(" ");
        Console.WriteLine("SETTINGS RESET");
    }
    Console.WriteLine(" ");
    Console.WriteLine("ENTER end TO END OT ENTER continue TO CONTINUE");
    user_data = Console.ReadLine();
}
port.Close();
Console.WriteLine("*-----end----*");
Console.ReadLine();
}
}
}

```



## Приложение Е. Код программы для микроконтроллера (Eclipse)

```
#include "stm32f30x_rcc.h"
#include "stm32f30x_gpio.h"
#include "stm32f30x_usart.h"
#include "uart.h"
#include "stdlib.h"

extern uint32_t timer_counter;
extern void set_timer_period(uint32_t period_mks);
void InitFullUart ()
{
    RCC_AHBPeriphClockCmd(RCC_AHBPeriph_GPIOA,ENABLE);
    RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_USART1, ENABLE);

    GPIO_PinAFConfig(GPIOA,GPIO_PinSource9,GPIO_AF_7);
    GPIO_PinAFConfig(GPIOA,GPIO_PinSource10,GPIO_AF_7);

    GPIO_InitTypeDef gpio;
    gpio.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF;
    gpio.GPIO_Pin = GPIO_Pin_9;
    gpio.GPIO_Speed = GPIO_Speed_50MHz;
    gpio.GPIO_PuPd = GPIO_PuPd_UP;
    gpio.GPIO_OType = GPIO_OType_PP;
    GPIO_Init(GPIOA,&gpio);

    gpio.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF;
    gpio.GPIO_Pin = GPIO_Pin_10;
    gpio.GPIO_Speed = GPIO_Speed_50MHz;
    gpio.GPIO_PuPd = GPIO_PuPd_UP;
    gpio.GPIO_OType = GPIO_OType_PP;
    GPIO_Init(GPIOA,&gpio);

    USART_InitTypeDef uart;

    USART_StructInit(&uart);
    uart.USART_BaudRate = 14400;
    uart.USART_HardwareFlowControl = USART_HardwareFlowControl_None;
```

```

    uart.USART_Mode = USART_Mode_Rx | USART_Mode_Tx;
    uart.USART_Parity = USART_Parity_No;
    uart.USART_StopBits = USART_StopBits_1;
    uart.USART_WordLength = USART_WordLength_8b;

    USART_Init(USART1,&uart);

    NVIC_EnableIRQ(USART1_IRQn);
    USART_Cmd(USART1, ENABLE);

    USART_ITConfig(USART1,USART_IT_RXNE,ENABLE);
}

void SendDataUart(uint8_t *data, uint32_t size_bytes)
{
    uint32_t i = 0;
    uint16_t data_to_send;
    while (i < size_bytes){
        if (USART_GetFlagStatus(USART1,USART_FLAG_TC) == SET){
            USART_ClearFlag(USART1,USART_FLAG_TC);
            data_to_send = (uint16_t)data[i];
            USART_SendData(USART1, (uint16_t)data_to_send);
            i++;
        }
    }
}

void SendDataUartInt(uint8_t *data, uint32_t size_bytes)
{
    char tmp[2];
    uint32_t j = 0;
    uint32_t i = 0;
    while (i < size_bytes){
        itoa(data[i],tmp,16);
        while(j < 2){
            if (USART_GetFlagStatus(USART1,USART_FLAG_TC) == SET){
                USART_ClearFlag(USART1,USART_FLAG_TC);

```

```

        USART_SendData(USART1, tmp[j]);
        j++;
    }
}
j = 0;
i++;
}
}

```

```

char received_data[100];
void USART1_IRQHandler()
{
    static int counter = 0;
    int temp;
    int full_time;
    int period_time;
    if (USART_GetITStatus(USART1, USART_IT_RXNE) != RESET)
    {
        USART_ClearITPendingBit(USART1, USART_IT_RXNE);
        received_data[counter] = USART_ReceiveData(USART1);
        if (received_data[counter] == 'e'){
            char * data = received_data;
            char f_time [50] = {0};
            char p_time [50] = {0};
            //char *p_time = (char*) malloc(50);
            //char *f_time = (char*) malloc(50);
            int f_time_counter = 0;
            int p_time_counter = 0;

            data++;
            while(*data != 'p'){
                f_time[f_time_counter++] = *data++;
            }
            f_time_counter = 0;
            data++;
            while(*data != 'e'){
                p_time[p_time_counter++] = *data++;
            }
            p_time_counter = 0;

```

```

        //установить период
        set_timer_period((atoi(p_time)) * 2);
        //установить общее время
        timer_counter = (atoi(f_time) * 1000);

        counter = 0;
    }
    counter++;
}
} }
}

```

*Функция для настройки портов и таймеров.*

```

#include "stm32f30x.h"
#include "stm32f3_discovery.h"
#include "uart.h"
#include "stdlib.h"

extern char received_data[10];
extern uint32_t SystemCoreClock;
uint32_t timer_counter = 0;
static void timer_init(void)
{
    RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1Periph_TIM2, ENABLE);
    TIM_TimeBaseInitTypeDef timer;
    TIM_TimeBaseStructInit(&timer);
    timer.TIM_Prescaler = 72; //1mksec
    timer.TIM_Period = 2000000;
    TIM_TimeBaseInit(TIM2, &timer);

    TIM_ITConfig(TIM2, TIM_IT_Update, ENABLE);
    TIM_Cmd(TIM2, DISABLE);
    NVIC_EnableIRQ(TIM2_IRQn);
}

```

```

static void gpio_init(void)
{
    RCC_AHBPeriphClockCmd(RCC_AHBPeriph_GPIOE, ENABLE);
    GPIO_InitTypeDef gpio;
    gpio.GPIO_Mode = GPIO_Mode_OUT;
    gpio.GPIO_Pin = GPIO_Pin_9 | GPIO_Pin_8 | GPIO_Pin_10 | GPIO_Pin_15 | GPIO_Pin_11 |
GPIO_Pin_14 | GPIO_Pin_12 | GPIO_Pin_13;
    GPIO_Init(GPIOE, &gpio);
}

void set_timer_period(uint32_t period_mks)
{
    TIM_Cmd(TIM2, DISABLE);
    TIM2->ARR = period_mks;
    TIM_Cmd(TIM2, ENABLE);
}

int main(void)
{
    gpio_init();
    RCC_ClocksTypeDef RCC_Clocks;
    RCC_GetClocksFreq(&RCC_Clocks);
    if (SysTick_Config(RCC_Clocks.HCLK_Frequency / 1000)) //1msec
        while(1);

    InitFullUart();
    timer_init();
    while(1){
        if (timer_counter == 1){
            TIM_Cmd(TIM2, DISABLE);
            GPIO_ResetBits(GPIOE, GPIO_Pin_8);
        }
    }
}

void SysTick_Handler(void)

```

```
{
    if (timer_counter > 1)
        timer_counter--;
}

void TIM2_IRQHandler()
{
    TIM_ClearITPendingBit(TIM2, TIM_IT_Update);
    if (GPIO_ReadInputDataBit(GPIOE, GPIO_Pin_8) == 1)
    {
        GPIO_ResetBits(GPIOE, GPIO_Pin_8);
    }
    else
    {
        GPIO_SetBits(GPIOE, GPIO_Pin_8);
    }
}
```