

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Информационно-измерительная техника»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой,
д.т.н., профессор
_____ А.Л. Шестаков
_____ 2018 г.

**СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ
ПЧЕЛИНЫХ СЕМЕЙ С АКУСТИЧЕСКИМ ДАТЧИКОМ**

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ЮУрГУ–12.03.01.2018.262 ПЗ ВКР

Руководитель проекта, ст. пр.
_____ С. В. Пашнин
_____ 2018 г.

Автор проекта
студент группы КЭ-475
_____ Д.И. Тимергазин
_____ 2018 г.

Нормоконтролер, доцент
_____ А.А. Лысова
_____ 2018 г.

Челябинск 2018

АННОТАЦИЯ

Тимергазин Д.И. Система мониторинга для оценки состояния пчелиных семей с акустическим датчиком. – Челябинск: ЮУрГУ, КЭ-475, 2018, 66 с., 29 ил., библиогр. список – 28 наим., 5 прил.

В выпускной квалификационной работе предлагается техническое решение системы мониторинга для оценки состояния пчелиной семьи при помощи акустического датчика. Суть мониторинга заключается в анализе акустического шума пчел и на основе полученных данных производится индикация для оценки состояния пчелиной семьи.

Рассмотрены аналоги данного прибора, выявлены их достоинства и недостатки, выбран акустический датчик звука с предварительным усилителем, смоделирован корпус для установки в пчелиную семью и комплект конструкторской документации.

В работе было использовано следующее программное обеспечение: MS Office 2013, Компас – 3D, Mathcad V15, Arduino 1.8.6.

					12.03.01.2018.262 ПЗ ВКР			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Тимергазин Д.И.			Система мониторинга для оценки состояния пчелиных семей с акустическим датчиком	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Пашнин С.В.					5	66
Н. Контр.		Лысова А.А.				ЮУрГУ		
Утверд.		Лапин А.П.				Кафедра ИнИТ		

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 ПРИНЦИП РАБОТЫ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПЧЕЛИНЫХ СЕМЕЙ.....	10
1.1 Анализ задания.....	10
1.2 Обзор аналогов.....	12
1.3 Первичное техническое предложение на основе аналогов.....	20
1.4 Характеристики пчелиных семей.....	21
2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА.....	26
2.1 Преобразование Фурье	26
2.2 Прямое дискретное преобразование Фурье	28
2.3 Получение функций для гармоник.....	28
2.4 Частота дискретизаций АЦП в преобразование Фурье	31
2.5 Быстрое преобразование Фурье в Arduino	35
2.6 Построение математической модели для обработки поступающего сигнала	37
2.7 Исследование по математической модели погрешностей проектирования	38
3 ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПРОТОТИПА	40
3.1 Выбор акустического датчика	40
3.1.1 Классификация микрофонов.....	40
3.1.2. Устройство и принцип работы	40
3.1.3. Динамические микрофоны.....	41
3.1.4 Конденсаторные микрофоны.....	42
3.1.5 Электретные микрофоны	43
3.1.6 Выбор микрофона	44
3.2 Схема подключения выбранного микрофонного капсуля.....	45
3.2.1 Предварительный усилитель с питанием	45
Ошибка! Закладка не определена.	
3.3 Принципиальная электрическая схема с платой Arduino Uno.	46

3.4 Построение прототипа на основе платы Arduino Uno.....	48
4 КОНСТРУИРОВАНИЕ БЛОКА АКУСТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА	51
4.1 Разработка 3Д модели.....	51
4.2 Разработка конструкторской документаций	53
5 ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ	54
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	57
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	58
ПРИЛОЖЕНИЯ	61
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Листинг программы	61
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Блок акустического датчика, спецификация.....	63

Модульность проектируемой системы предоставит возможность формировать различные по комплектации варианты системы, а также возможность заменить модуль на более совершенный, удобный.

Цель: создание системы мониторинга для оценки состояния пчелиной семьи.

Задачи работы:

- обзор аналогов и патентов;
- математическая модель для спектрального анализа;
- техническое решение проектирование прототипа;
- конструирование системы;
- визуализация и интерпретация результатов.

1 ПРИНЦИП РАБОТЫ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПЧЕЛИНЫХ СЕМЕЙ

1.1 Анализ задания

Задание на проектирование системы мониторинга для оценки состояния пчелиных семей представлено в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Задание на проектирование системы мониторинга

Описание требования	Содержание требования
Автономность работы	Это средство измерения (оценки), способное выполнять измерение (оценку) без использования внешнего программного обеспечения. Время работы без замены элементов питания от 1- 4 месяцев
Безопасный режим работы для пчел	Реализация системы без ущерба для ориентаций пчел
Цикличность работы, режим сна	Реализация работы датчиков в ульях с переменным включением на определенный промежуток времени и выключением на более длительный (режим сна)
Питание	Решить вопрос питания устройства от 6В или иным способом, удобным для пользователя
Количество ульев не менее 5	Система мониторинга должна функционировать со множеством пчелосемей
Расположение датчиков с ульями и местом сбора и вывода информации не более 200 м	Требования для проводов, необходимое ограничение

Сформулированное техническое задание носит качественный и количественный характер. На этапе анализа технического задания можно сформулировать список вопросов, которые необходимо проработать в ВКР.

Список вопросов.

1. Список существующих аналогов.
2. Какие частоты и в каких количественных параметрах отражают состояние пчелосемьи.
3. Восприятие пчелами электромагнитных шумов от устройств, электросетей, Wi-Fi сетей.
4. Составление математической модели.
5. Необходимы ли предварительные усилители в акустических датчиках.
6. На каких подходящих платформах можно создать прототип.
7. 3д модель конструкции системы.
8. Реализация питания в акустических датчиках.
9. Посредством какого программного обеспечения обеспечить цикличность работы.
10. Следует ли выводить спектральную картину или лишь индикацию состояния.
11. Подготовка чертежей основных элементов прибора.

					ЮУрГУ – 120301.2018.262 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

1.2 Обзор аналогов.

Проведем патентный поиск. Для этой цели воспользовались сайтом <http://www.findpatent.ru/>. В результате было найдено 4 аналога, наиболее подходящие по своему функционалу.

Аналог № 1: акустический анализатор роевого состояния пчелосемей, патент Оренбуркина Ивана.

Анализатор содержит выносной микрофон 1, усилитель 2, полосовой фильтр 3, блок автоматической регулировки усиления 4. Выход полосового фильтра 3 подключен к двум частотным каналам: роевого состояния и рабочего состояния пчелосемьи. Канал роевого состояния содержит последовательно соединенные двухкаскадный последовательно-резонансный гираторный узкополосный усилитель 5, первый детектор(диод) 6, первый интегратор 7.

Канал рабочего состояния пчелосемьи содержит последовательно соединенные узкополосный фильтр 8, второй детектор 9, второй интегратор 10. Выходы первого и второго интеграторов соединены с блоком сравнения 11, выход которого через аналого-цифровой преобразователь 12 соединен с цифровым жидкокристаллическим индикатором 13[3].

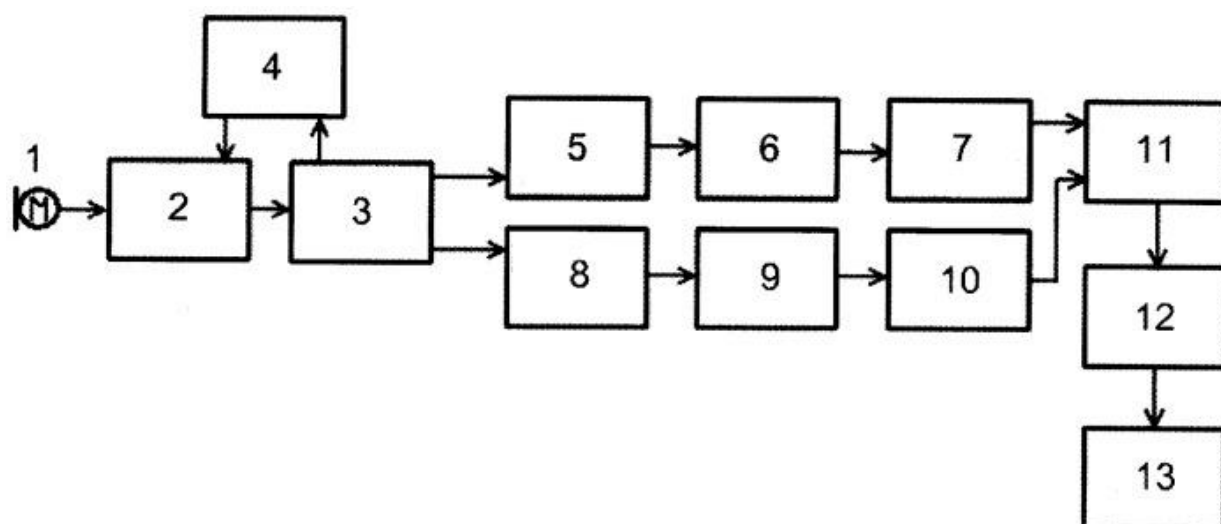


Рисунок 1 – Аналог 1, блок схема

Патент US7549907 (2009) (далее аналог №3) США. Это система анализа и записи акустического шума пчел для мониторинга здоровья пчелиной семьи (рисунки 3-5). Программное обеспечение и аппаратный комплекс для фильтрации и анализа акустического шума идентифицирует в воздухе токсичные вещества. Данные анализируются с помощью статистических процедур и устанавливают взаимосвязь акустического шума пчелиной семьей, и концентрации в воздухе внутри улья вредных веществ[4].

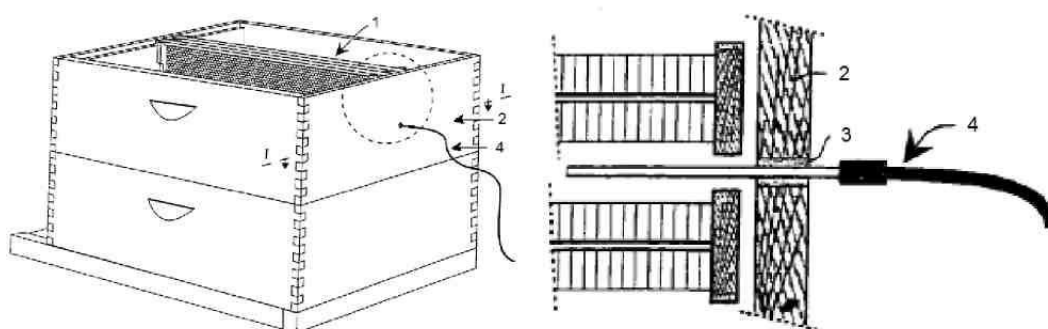


Рисунок 3 – Установка датчика в улье:

1- рамка; 2 - корпус улья; 3 - отверстие для микрофона; 4 - микрофон

Пчелы воспроизводят особый акустический шум при воздействии концентраций ядовитых веществ в воздухе, воздействии клещей.

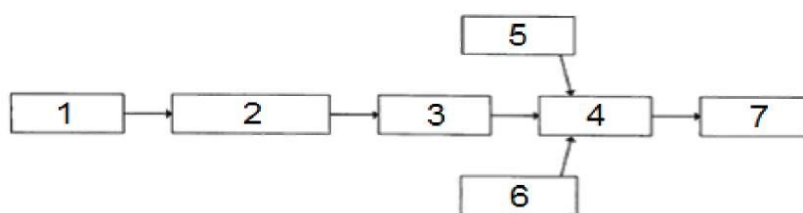


Рисунок 4 – Структурная схема аналога:

1 - микрофон; 2 - аудио-плеер;
3 - быстрое преобразование Фурье; 4 - статистическая дискриминация;
5 - статистический анализ; 6 - нейронные сети; 7 - классификация воздействий

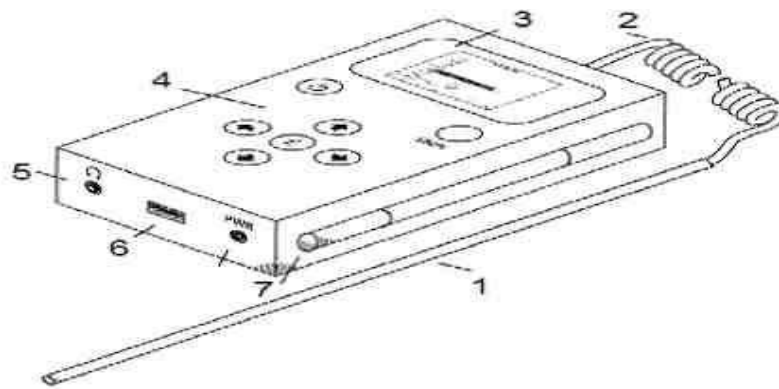


Рисунок 5 - Внешний вид аппаратно-программного комплекса:

- 1 - выносной микрофон; 2 - удлинитель; 3 - индикатор; 4 - кнопки управления;
 5 – порт для наушников; 6 - порт USB; 7 - внешний источник питания

Система обнаруживает инфицированность улья. Микрофон находится в улье и регистрирует звуки пчелиной семьей.

Эти звуки записываются и анализируются, дальше строится уникальный акустический портрет, этот портрет сравнивается с известной базой данных акустических портретов. Сравнивая акустические портреты (рисунок 6) можно определить заболевание пчелиной семьи, заражение клещами[5].

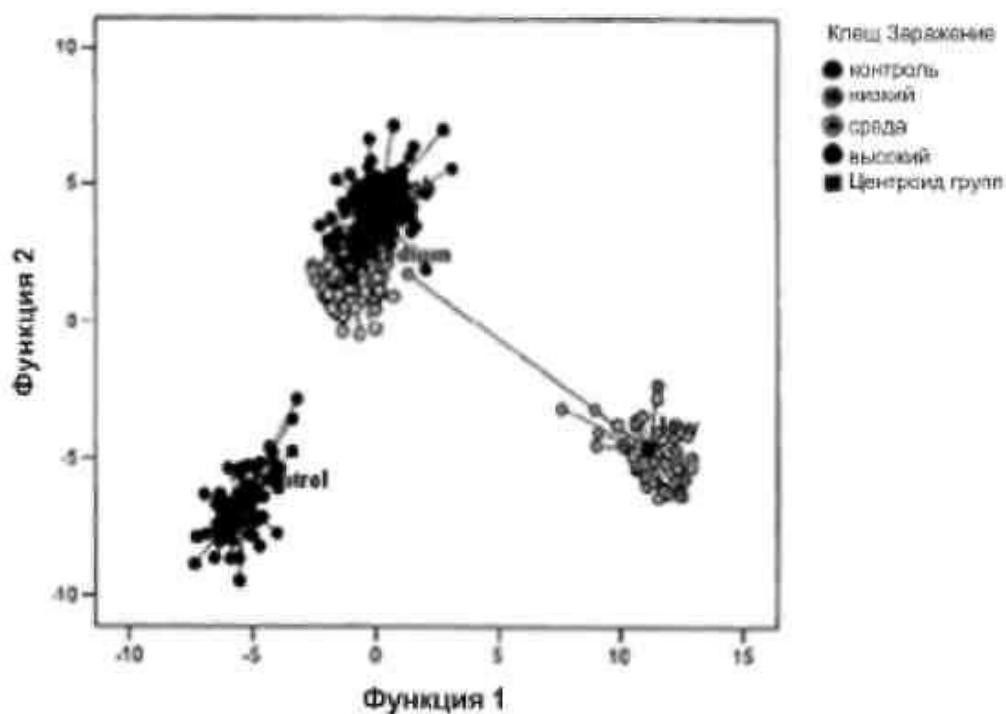


Рисунок 6 – Акустические портреты

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

К достоинствам можно отнести:

- использует современное программное обеспечение;
- просто в использовании;
- однозначная индикация состояния пчелиной семьи.

К недостаткам можно отнести:

- отсутствует мониторинг спектральной картины;
- отсутствует вариант работы с множеством пчелиных семей;
- фиксирует болезни пчел, а не состояние роя.

Устройство акустического контроля Дрейзина (рисунок 7):

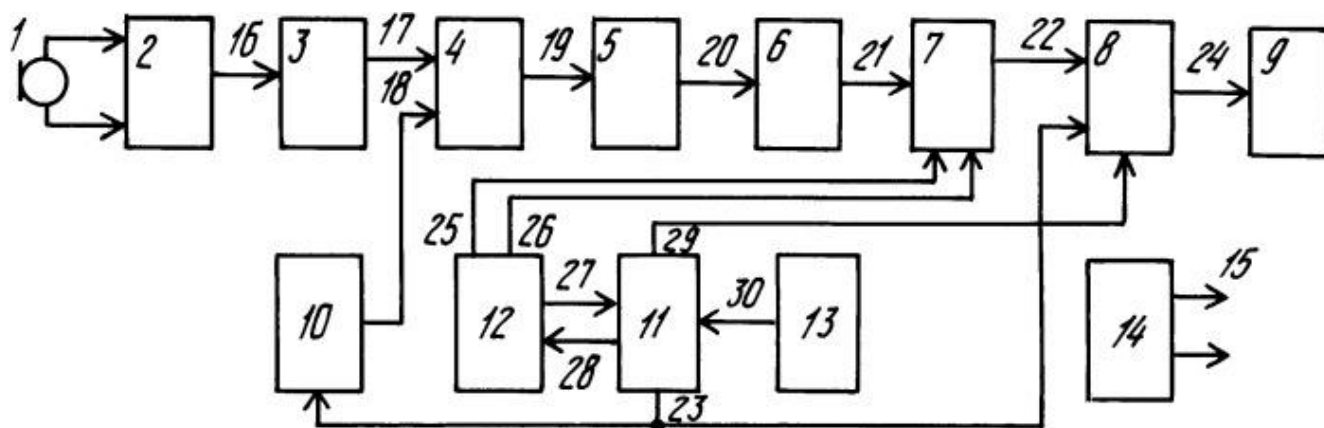


Рисунок 7 – Структурная схема устройства

Устройство для акустического контроля за состоянием пчелиной семьи содержит микрофон 1, предварительный низкочастотный усилитель 2, усилитель с автоматической регулировкой усиления (усилитель с АРУ) 3, смеситель 4, активный фильтр нижних частот 5, детектор среднев्यпрямленного значения 6, интегрирующий аналого-цифровой преобразователь (интегрирующий АЦП) 7, устройство управления матричным индикатором 8, матричный индикатор 9, перестраиваемый гетеродин 10, центральное устройство управления 11, таймер 12, пульт управления 13, источник питания 14, шины источника питания 15, входная шина усилителя 16, первая входная шина смесителя 17, вторая входная шина смесителя 18, входная шина фильтра 19, входная шина детектора 20,

входная шина АЦП 21, первая входная шина устройства управления матричным индикатором 22, шина управления частотой гетеродина и столбцами матричного индикатора 23, вход матричного индикатора 24, шина счетных импульсов 25, шина длительности 26, шина тактовых импульсов 27, шина запуска таймера 28, шина сброса 29, шина управления 30.

Данный аналог строит спектральную картину на матричном индикаторе, по этой информацией человек сам оценивает состояние пчелиной семьи сравнивая с обозначенными трафаретами, после происходит сброс спектральной картины и построение производится с начала.

К достоинствам можно отнести:

- отсутствует ручная настройка;
- автоматизировано;
- наличие спектральной картины, используются трафареты на спектральной картине;
- наиболее схоже с техническим предложением ВКР;
- есть индикаторы состояния.

К недостаткам можно отнести:

- нет световой, однозначной индикаций состояния пчелосемьи;
- избыточность модулей,
- отсутствует вариант работы с множеством пчелиных семей.

Результаты обзора аналогов.

Таким образом, исходя из рассмотренных выше достоинств, наиболее подходящим вариантом прототипа для реализаций данного проекта является первый аналог.

В нем достаточно быстро производится оценка состояния пчелосемьи, путем сравнения двух узких частотных полос и по их разнице определяется состояние пчелосемьи.

Также предлагается дополнить данную систему модулем для построения спектральной картины, описание работы которой есть в четвёртом аналоге.

Кроме того, целесообразно использовать идеи из второго и третьего аналога: следует изучить возможность добавления звукового оповещения при включений индикаций роевого состояния, применение быстрого преобразования Фурье в обработки сигнала.

1.3 Первичное техническое предложение на основе аналогов

Предлагается следующая блок схема (Рисунок 8).

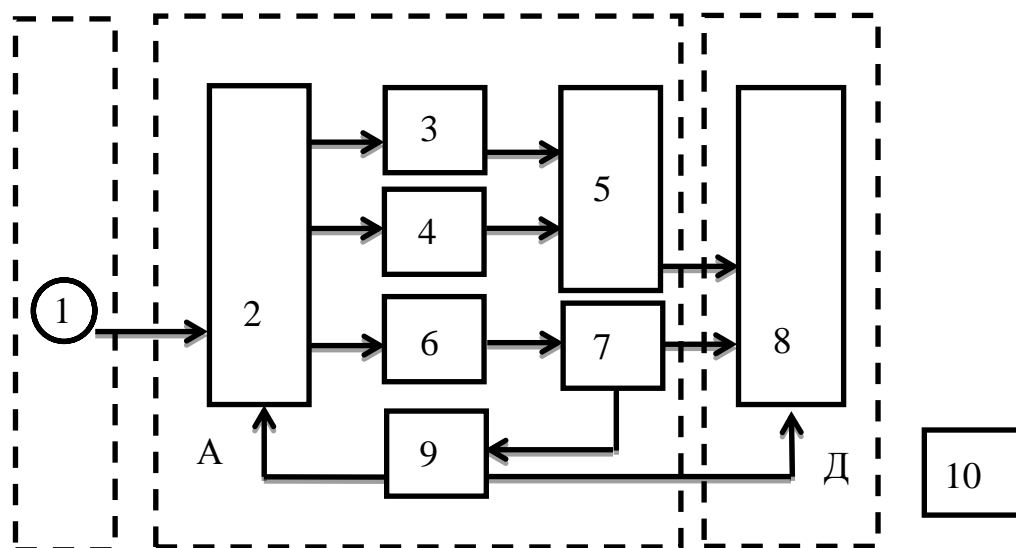


Рисунок 8 – Структурная схема предлагаемого прототипа

Сигналы с установленного в пчелиной семье микрофона 1 поступают в модуль 2, предназначенный для усиления сигнала. Этот сигнал поступает в модуль для обработки сигнала (А), предназначенный построить спектральную картину и включить определенный из светодиодов на устройстве вывода информации (Д). Блок 2 предназначен для полосного усиления требуемого интервала частот 200-300 Гц. 3,4,5 блоки работают аналогично работе аналога № 1, та или иная оценка состояния в виде цифр поступает на цифровой дисплей 8. 6 блок работает как в аналоге №4, нужен для построения спектральной картины на дисплее 8. 7 блок сообщает об окончании построения спектральной картины в таймер 9, который отправляет сигнал для смены микрофона в модуль 2 и одновременно на модуль Д для переключения на другой дисплей. Блок 10 питание устройства.

Таким образом, планируется циклическая работа системы мониторинга, одновременное отображение спектральных картин и индикаторов роения на нескольких дисплеях.

1.4 Характеристики пчелиных семей

1.4.1 Влияние электрических, магнитных полей от устройств на пчел

Установлено, что пчелы используют магнитное поле Земли в системе передачи информации. А.Л.Чижевский наблюдал в 1926 г. влияние на пчел электростатического поля, а позже Г.А.Кожевников (1932 г.) показал, что сильная ионизация воздуха оказывает определенное воздействие на половые органы трутней и маток.

А.Старк, Е.Берг (1988 г.) определили, что переменные электромагнитные поля различной частоты и напряженности могут оказывать вредное воздействие на пчел, вызывая их беспокойство и резкое изменение поведенческих реакций. Поэтому не рекомендуется размещать ульи вблизи высоковольтных линий электропередач.

Отмечена гибель маток в таких ульях (Е.Еськов, Н.Брагин, 1986 г.). Пчелы становятся агрессивными и нападают на людей (атмосферная электромагнитная радиация в диапазоне низких частот - около 10 кГц.). Другие исследования показывают уменьшение летной активности, увеличение склонности к роению и прополисной активности.

Недавно научными сотрудниками Федерального Технологического университета Швейцарии был опубликован неутешительный отчет о влиянии электромагнитных волн на жизнь и развитие пчелиных семей. В результате долгих наблюдений было выявлено, что цветовые спектры магнитных полей затрудняют пчелиную коммуникацию в пространстве. Дело в том, что за зрение у пчёл отвечают особые клетки – криптохромы, их диапазон включает синий и фиолетовый цвет, а магнитные поля отражаются именно в этой гамме. В исследовании принимали участие несколько пчелиных семей в течении одного сезона. Каждый день ульи подвергались 15 минутному облучению, в результате чего за три месяца пчелы перестали давать мёд, а матка сократила воспроизводство потомства вдвое.

						ЮУрГУ – 120301.2018.262 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			21

являются более биологически активными, чем поля с постоянными параметрами. Возможно, по этой причине пчелам труднее к ним адаптироваться. Можно, конечно, провести эксперименты с постоянными GSM сигналами, но они не имитируют реальные условия. Для имитации реальных условий мы использовали в наших экспериментах обычный телефон стандарта связи GSM[8].

В реальных условиях пчелиные семьи не подвергаются воздействию ближнего поля сотового телефона, аналогичному тому, которому подвергается пользователь телефона и пчелы в наших экспериментах. Это дает основание полагать, что импульсное радиочастотное излучение с частотой повторения импульсов 217 Гц, испускаемое телефонами стандарта GSM не может быть причиной коллапса пчел. Однако неоднозначность полученных результатов и, особенно, наличие кумуляции эффекта говорят о необходимости продолжения исследований, связанных с рассмотрением вопросов влияния ЭМИ дециметрового диапазона на развивающихся пчел, находящихся на разных стадиях онтогенеза, и на репродуктивную способность маток[26].

Авторы получили информацию, что при наличии сигнала с телефона, температура в семье немного повышается (Рисунок 9), а спектр издаваемых акустических шумов смещается в сторону возрастания на 30 Гц (Рисунок 10).

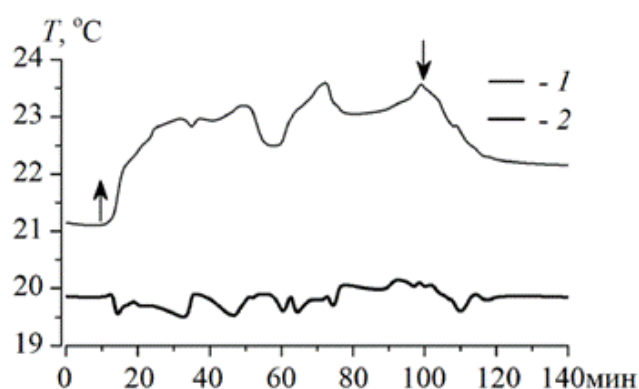
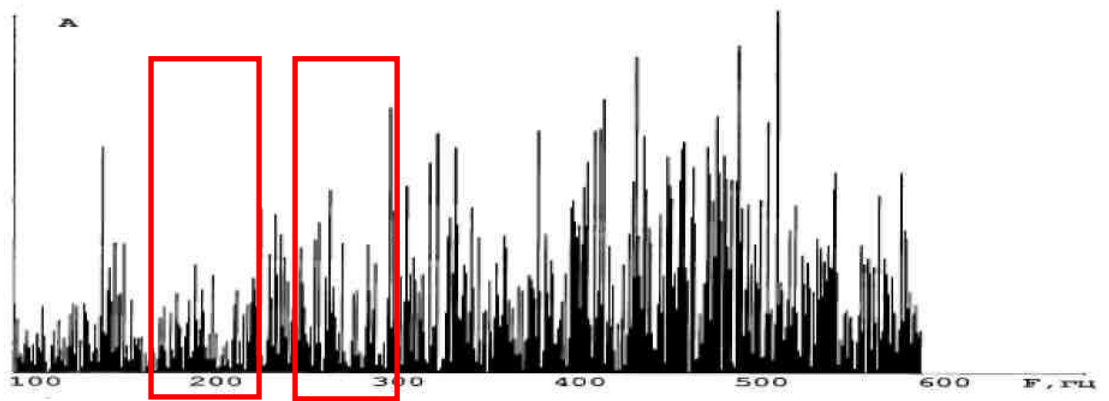
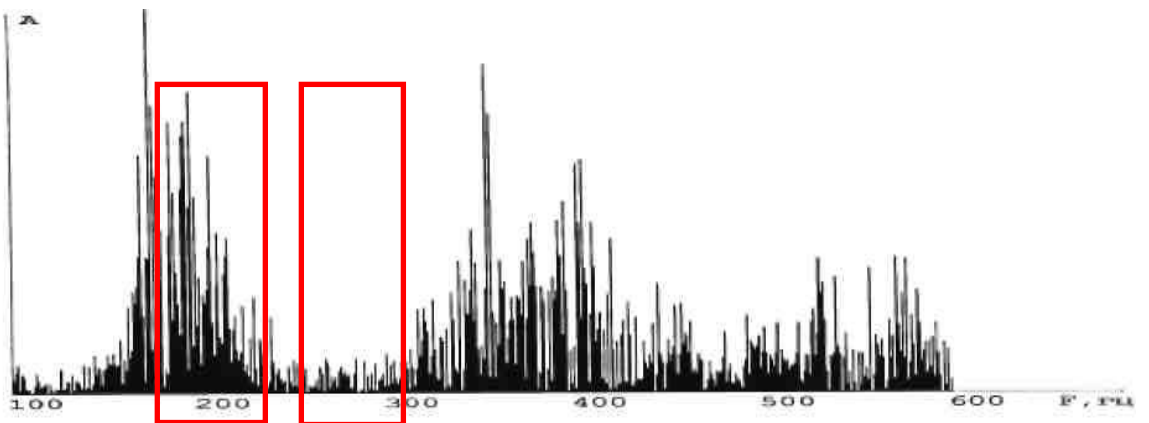


Рисунок 9 - Изменение температуры в скоплении пчел (250±6) после активации сотовых телефонов



а) семья в нормальном состоянии,



б) семья в роевом состоянии

Рисунок 11 - Амплитудные спектры шумов пчелиных семей

В этой главе был проведен анализ технического задания, обзор аналогов, было предложено первичное техническое предложение. В процессе работы выявлены информативные частотные диапазоны акустического шума пчелиных семей.

2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

Параметром, несущей в себе информацию для оценки состояния пчелиной семьи является частотная характеристика пчелиной семьи. Для получения спектра возможно применение преобразования Фурье, которое преобразует звуковой сигнал из временной области в частотную область.

2.1 Преобразование Фурье

Решение задачи преобразования звукового сигнала из временной области в частотную, решается путем использования преобразования Фурье. Преобразование Фурье – преобразование, сопоставляющее функции некой вещественной переменной другую функцию[12].

Промоделируем в MathCad, составим математическую модель (Рисунок 12).

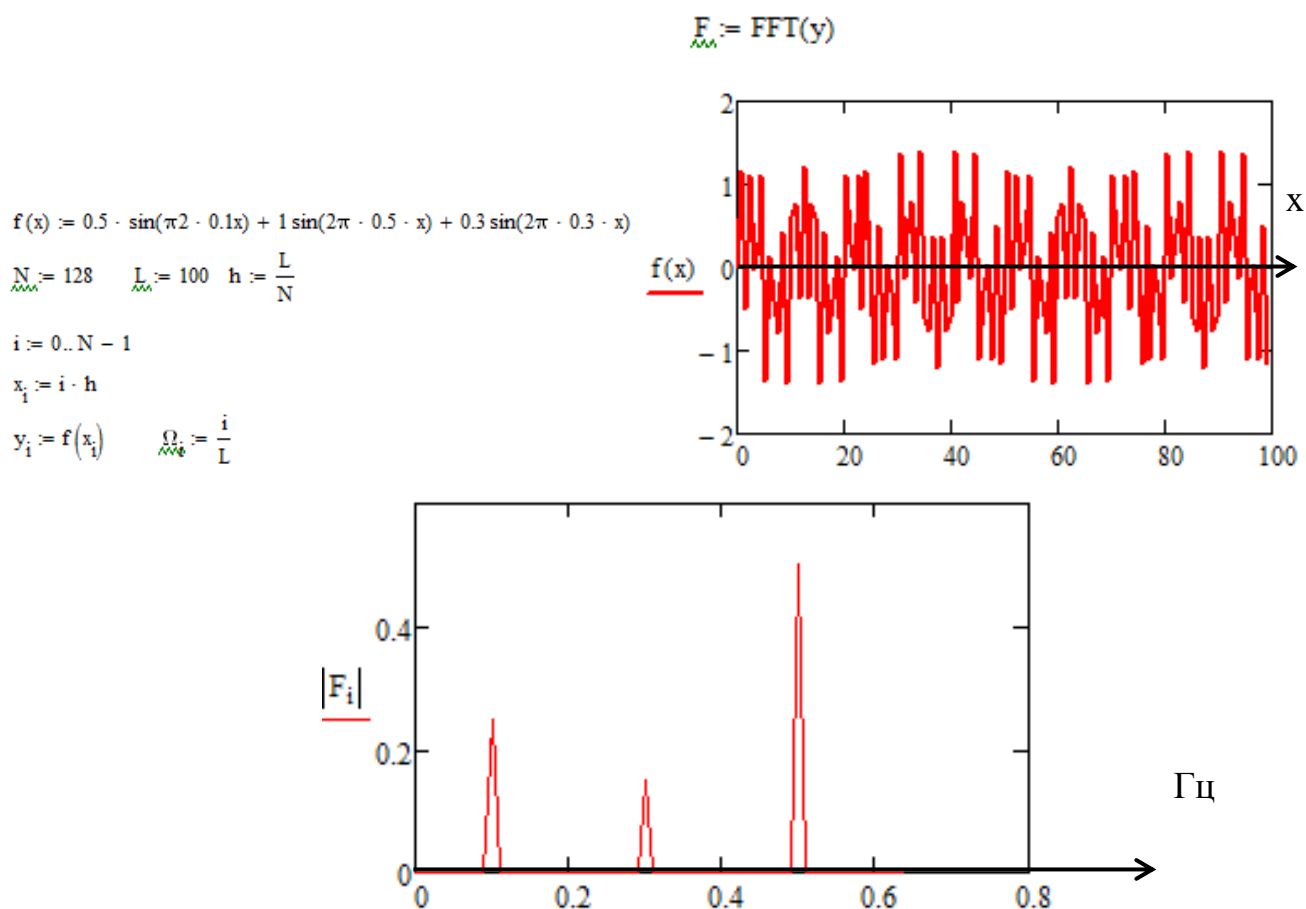


Рисунок 12 – Преобразование Фурье

2.2 Прямое дискретное преобразование Фурье

Рассмотрим ситуацию. Пусть у нас есть звуковое колебание в виде функции $x = f(t)$. Пусть это колебание записано в виде графика для отрезка времени $[0, T]$. Для обработки компьютером необходимо выполнить дискретизацию. Отрезок разделяется на $N-1$ равных частей, пусть границы $t_n = nT/N$. Тогда сохраняются N значений функции на границах частей: $x_n = f(t_n) = \{ x_0, x_1, x_2, \dots, x_N \}$ (рисунок 13).

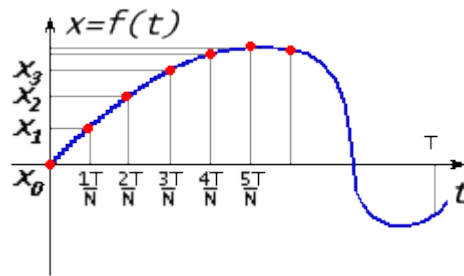


Рисунок 13 – Дискретизация сигнала

После прямого дискретного преобразования Фурье были получены N значений для $X_k(1)$:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{j2\pi kn}{N}}; \quad (1)$$

2.3 Получение функций для гармоник

Выполним обратное преобразование Фурье:

$$X_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{\frac{j2\pi kn}{N}}; \quad (2)$$

Разложим каждое комплексное X_k на мнимую и действительную составляющие $X_k = \text{Re}k + j \text{Im}k$; разложим экспоненту по формуле Эйлера на

$$X = A \cos\left(\frac{2\pi t}{T} + \varphi\right) = A \cos(\omega t + \varphi) \quad (7)$$

Преобразуем (7) по формуле косинуса суммы:

$$X = A \cos(\varphi) \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) - F \sin(\varphi) \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \quad (8)$$

$$\text{Re} = A \cos \varphi, \text{Im} = A \sin \varphi$$

По величинам Re и Im можно однозначно восстановить амплитуду и фазу исходной гармоники (9):

$$\varphi = \arctg\left(\frac{\text{Im}}{\text{Re}}\right) \text{ и } A = \sqrt{\text{Re}^2 + \text{Im}^2} \quad (9)$$

$$X = A \cos\left(\frac{2\pi t}{T} + \varphi\right) \quad (10)$$

Выполним такое же преобразование для слагаемых суммы (5), преобразуем их из вида (6) в вид (10). Получим(11):

$$f(t) = \sum_{k=0}^{N-1} [A \cos\left(\frac{2\pi t}{T} + \varphi\right)] = \sum_{k=0}^{N-1} G_k(t) \quad (11)$$

Далее будем функцию(12) называть k-й гармоникой.

$$G_k(t) = A \cos\left(\frac{2\pi t}{T} + \varphi\right) \quad (12)$$

Для вычисления Ak и φk надо использовать формулу (9). Теперь выпишем в одном месте все формулы, которые связывают амплитуду, фазу, частоту и период каждой из гармоник с коэффициентами Xk:

$$X_k = \text{Re}_k + j \text{Im}_k$$

$$X_k = NA_k e^{j\varphi}$$

$$A_k = \frac{1}{N} \sqrt{Re^2 + Im^2}$$

$$\varphi = \text{arctg}(X_k)$$

Функция $\text{arctg}(X_k)$ - это аргумент комплексного числа[13].

2.4 Частота дискретизаций АЦП в преобразование Фурье

После развития цифровой техники изменились способы хранения данных измерений. Сигналы оцифровываются и хранятся в виде набора чисел (отсчетов)[14]. Схема измерения и оцифровки сигнала выглядит следующим образом (Рисунок 14).

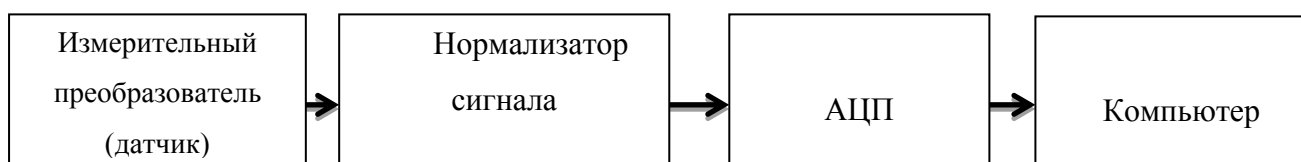


Рисунок 14 - Схема измерительного канала

Сигнал с датчика поступает на АЦП в течение периода времени T . Полученные за время T отсчеты сигнала (выборка) передаются в компьютер и сохраняются в памяти. Иллюстрация (Рисунок 31).



Рисунок 15 – Иллюстрация оцифрованного сигнала (N отсчетов полученных за время T)

Для облегчения расчетов сегодня существуют специальные программы, позволившие реализовать новые аналитические методы (Рисунок 16).

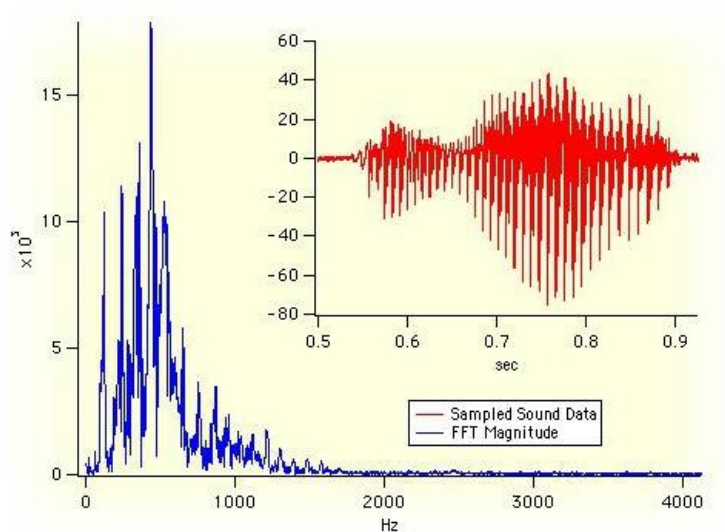


Рисунок 16 – Быстрое преобразование Фурье в программе

Выбор ширины частотных полос зависит от желаемой детальности диагностики. Более широкие частотные полосы, на которые разделяется информационный диапазон, имеют более устойчивые средние интенсивности, а также меньше размерность, что упрощает диапазоны информационных признаков. Но при широких диапазонах теряется информация о тонких структурах спектра, что уменьшает возможность диагностирования.

Действительно, периодические составляющие, присутствуют в сигнале сложной формы, должны отображаться на спектре в виде узких пиков, которые при широких полосах усреднения будут сглаживаться и могут стать незаметными, что приведет к потере информации. Так же потеряется информация при низком частотном разрешении БПФ, определяемым недостаточным числом отсчетов при анализе.

В самом деле, при несовпадении частот этих периодических составляющих с частотами гармоник БПФ эти пики будут «размазываться» по ближайшим к ним гармоникам БПФ и при низком частотном разрешении могут стать неразличимыми. Но, с другой стороны, хотя все записи сигналов обучающей

выборки должны производиться при одних и тех же условиях реально они могут варьироваться в широких пределах, а вместе с ними будут смещаться по шкале частот и некоторые периодические составляющие шума. Чтобы эти составляющие оставались в той же частотной полосе, нужно выбирать ширину каждой частотной полосы не менее 10 % от средней частоты этой полосы.

Тогда следует, что частотное разрешение ДПФ должно быть не ниже абсолютной ширины самой низкочастотной полосы, а ширина всех частотных полос должна быть одинаковой не по абсолютным значениям, а по относительным[15].

2.5 Быстрое преобразование Фурье в Arduino

Для анализа аудио-сигнала в Arduino используется метод FFT (быстрого преобразования Фурье), который раскладывает сигнал на частоты и затем при помощи контроллера отображает на матрице. Быстродействия контроллера Arduino вполне хватает для вычислений FFT, поэтому каких-либо проблем с отображением нет.

Описание работы библиотеки Arduino FFT. Библиотека FFT – программное воплощение стандартного алгоритма FFT, который может оперировать только действительными числами. Функционал библиотеки способен выдавать от 16 до 256 выходных отсчетов разрешением от 8 до 16 бит минимальной скоростью обновления, равной примерно 7 миллисекунд. Кроме того, выдача результата может быть в четырех разных форматах: линейном (16 и 8 бит), логарифмическом (8 бит) и октавном (8 бит).

Поскольку исходные данные для алгоритма имеют 16-битный формат (т.е. являются числом с фиксированной точкой), на низких частотах порог шума будет -72 дБ, а на высоких он будет -76 дБ. Если вы будете использовать встроенный АЦП, то его порог шума рассчитывается по тому же принципу, что и порог шума для БПФ, что дает ОСШ (отношение сигнал/шум) где-то между 9 и 10 битами (-55 дБ)[16].

интерполяция, в результате которой для разных участков будут рассчитаны разные линии. К примеру, для линейного 8-битного формата будет достаточно 3-4 линейных секций, причем без потери разрешения.

Таким образом, библиотека вычисляет входное значение для одной из этих линейных секций, затем извлекает квадратный корень, и это занимает примерно 12 тактовых циклов. Это гораздо меньше тех 150 циклов, которые требуются в стандартной библиотеке для извлечения квадратного корня.

Точность зависит от разрешения выходных данных. Если это 8-битное значение, то точность будет максимальной. Если это 9-битное значение, то один младший бит, возможно, будет неправильным. Если это 10-битное значение, то два младших бита, возможно, будут неправильными и т.д. То есть самый худший сценарий – это 16-битное значение с точностью +/- 0,5% [17].

2.6 Построение математической модели для обработки сигнала

Функциональная схема преобразуемого сигнала (Рисунке 17)

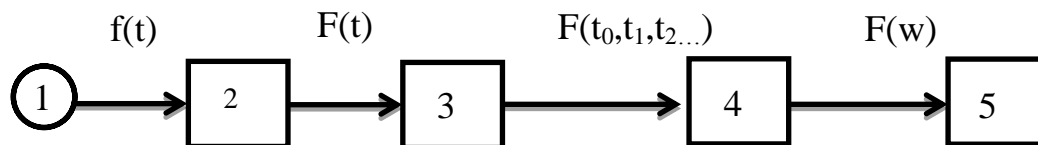


Рисунок 17 – Функциональная схема преобразуемого сигнала

Здесь 1 – микрофон, погрешность вносимая микрофоном, 2 – предусилитель, погрешность вносимая микрофоном, 3 – АЦП, или в случае с применением Arduino UNO Дискретное преобразование, 4 – алгоритм быстрого преобразования Фурье, погрешность от БПФ, 5 – вывод оценки о состоянии пчелиной семьи.

$F(t_0, t_1, t_2 \dots)$ дискретизация $F(t)$ с шагом дискретизаций $T=0.8$ мс.

$$F(w) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{t=0}^{N-1} (F(t_0, t_1, t_2 \dots) * e^{-xw} dt)$$

2.7 Исследование по математической модели погрешностей проектирования

Из-за несовершенства средств измерения возникает инструментальная погрешность. Оценивание инструментальной погрешности производится по метрологическим характеристикам. В себе инструментальная погрешность несет в себе систематическую и случайную составляющие [18].

Для акустического датчика с предусилителем и платформой Arduino uno можно выделить несколько метрологических характеристик, которые создают основной вклад в погрешность измерений.

Погрешность определения чувствительности микрофона (ЕСМ30С) с предусилителем равна 4.5%.

Изменения параметров внешних условий во время измерений (такие как температура, давление, влажность, напряженность магнитного поля) приводит к появлению следующих систематических погрешностей. Наличие магнитного поля изменяет чувствительность микрофона. Но поскольку измерения максимального и минимального давления производятся одним и тем же микрофоном, погрешность на наличие магнитного поля не учитывается.

Для конденсаторных микрофонов влияние температуры оценивается не более в диапазоне температур от минус 10 до плюс 50. Погрешности от изменения температуры не более дБ (1.5%).

Погрешность, вносимая алгоритмом вычисления БПФ Arduino равна (+/- 0,5%).

Тогда суммарная погрешность $\delta = \sqrt{4.47^2 + 1.5^2 + 0.5^2} = 4.5\%$.

В ГОСТ Р 53576-2009 (МЭК 60268-4:2004) Микрофоны. Методы измерения электроакустических параметров [19] формула используемая в том случае, если какая-либо из этих погрешностей задана границами возможных значений θ , то среднеквадратическую погрешность σ рассчитывают по формуле (15).

$$\sigma = \frac{\theta}{K}$$

где K - коэффициент, определяемый законом распределения. При неизвестном законе распределения принимают $K = \sqrt{3}$, что соответствует равновероятному закону распределения.

Границы возможных значений чувствительность равны 70 дБ и 64 дБ, в этом случае среднеквадратическую погрешность для микрофона $\sigma = 3.47$ дБ или 0.13 мВ/Па.

Вывод: общая погрешность выходных частотных и амплитудных значений не превышает 4,5 %. Среднеквадратическая погрешность для микрофона $\sigma = 3.47$ дБ.

					ЮУрГУ – 120301.2018.262 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

3 ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПРОТОТИПА(не пойдет проектирование(выбор элементов для прототипа)

Для технического решения прототипа нужно спроектировать систему, для этого необходимо подобрать элементы установки.

3.1 Выбор акустического датчика

3.1.1 Классификация микрофонов

Микрофон – устройство, преобразующее изменения звукового давления в электрический ток[20].

Принцип работы и предназначение – существует множество различных принципов работы микрофонов и из них вытекающие области применения. Все они имеют преимущества и недостатки, которые мы можем использовать в свою пользу, если будем с ними знакомы. Ниже мы рассмотрим самые распространённые в аудио индустрии техники, опуская самые экзотические.

Чувствительность (mV/Pa) – характеризует способность (эффективность) микрофона преобразовывать изменения звукового давления в электрический ток. Другими словами, дает нам понять какое напряжение будет на выходе микрофона при определенном звуковом давлении. Таким образом, чем выше чувствительность, тем более сильный сигнал будет на выходе при том же звуковом давлении.

3.1.2. Устройство и принцип работы

Под устройством и принципом работы понимают совокупность процессов и логические взаимосвязи ведущие в итоге к желаемому результату, в данном случае переменный ток, форма волны которого аналогична форме акустической волны.

Абсолютное большинство микрофонов, применяемых сегодня в аудио индустрии относятся к одной из двух, получивших наиболее широкое распространение, технологий - динамические и конденсаторные[20].

					ЮУрГУ – 120301.2018.262 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

3.1.3. Динамические микрофоны

Принцип работы динамического микрофона основан на физическом законе, который гласит – движение проводника в магнитном поле создает электрический ток. Это явление называется индукцией. Устройство (Рисунок 18).

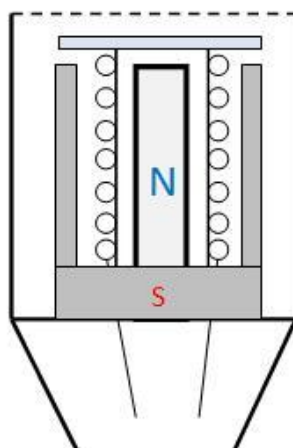


Рисунок 18 – Устройство динамического микрофона

Проводник, к которому прикреплена мембрана, помещен в постоянное магнитное поле. Изменения давления воздуха, как следствие распространения звуковой волны, заставляют мембрану двигаться в соответствии с амплитудой, фазой и частотой этой самой звуковой волны. Мембрана, в свою очередь, передает это движение проводнику. Движение проводника в постоянном магнитном поле создает электрический сигнал, который в точности описывает звуковую волну, создавшую это движение.

Для облегчения механизма, а значит повышения подвижности, проводник изготавливают из тонкой проволоки, которая обмотана вокруг пластикового пустотелого стержня. Это увеличивает количество проводимого материала в магнитном поле, что, в свою очередь, увеличивает индукцию и чувствительность микрофона[20].

У данной конструкции есть свои преимущества и недостатки.

Преимущества:

- надежность;
- способность работать с высокими звуковыми давлениями;
- простая конструкция и относительно низкая цена.

Недостатки:

- пониженная чувствительность к высоким частотам (спад АЧХ);
- относительно медленная реакция на резкие перепады в уровне звукового давления импульсы.

Вышеперечисленные характерные аспекты могут быть как достоинствами, так и недостатками. Главное о них знать, а как их применить в свою пользу дело уже за пользователем.

3.1.4 Конденсаторные микрофоны

Принцип работы конденсаторного микрофона основан на свойстве конденсатора изменять электрическую емкость в зависимости от расстояния между его пластинами. Устройство (Рисунок 19).

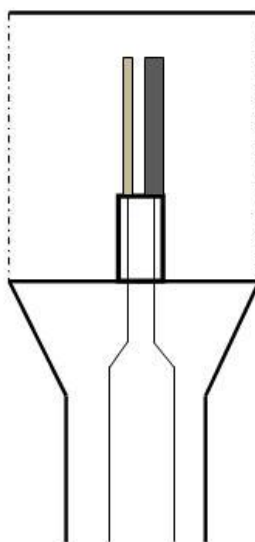


Рисунок 19 – Устройство конденсаторного микрофона

В конденсаторном микрофоне одна из пластин подвижна и является мембраной. Она выполнена из тончайшего материала, с целью сделать ее как можно более легкой. Как правило, используется пластиковая пленка, на которую наносится тонкий слой золота или никеля. Вторая же пластина неподвижна. Звуковое давление, воздействуя на мембрану, заставляет ее двигаться в направлении второй пластины, что сокращает расстояние между ними и, как следствие, вызывает изменение емкости конденсатора. Электрический ток, возникающий вследствие этого, и есть сигнал, описывающий звуковую волну. Для создания электрического поля между двумя пластинами, необходимого для работы конденсатора, могут использоваться два способа: внешний источник (батарея или фантомное питание) или же покрытие одной из пластин поляризованным материалом (такие микрофоны называют электретными). Источник питания необходим так же для обеспечения работы предусилителя, установленного практически во всех конденсаторных микрофонах по причине очень слабого сигнала – амплитуда движения диафрагмы очень ограничена, что выражается в очень незначительных изменениях в напряжении, поэтому уровень сигнала требуется увеличить, прежде чем передавать его по кабелям.

Преимущества:

- более чувствительны, особенно в области высоких частот;
- способны более быстро реагировать на резкие изменения в характеристике волн.

Недостатки:

- требуют дополнительного источника питания;
- более требовательны в обращении.

3.1.5 Электретные микрофоны

Электрётный микрофóн — микрофон с принципом действия, сходным с микрофонами конденсаторного типа, использующий в качестве неподвижной обкладки конденсатора и источника постоянного напряжения пластину

						ЮУрГУ – 120301.2018.262 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			43

из электрета. Используется способность этих материалов сохранять поверхностный заряд в течение длительного времени.

В отличие от конденсаторных микрофонов не нуждаются в источнике питания.

3.1.6 Выбор микрофона

В работе будем использовать конденсаторные или электретные микрофоны, поскольку они достаточно малы, чтобы размещать в улье.

Требования к микрофону:

- 1) малые габаритные размеры, диаметр не больше высоты летка (10мм);
- 2) диапазон частот от 100 Гц.

Сравнительные характеристики различных широко употребляемых микрофонов представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики микрофонов

Серия	Диапазон частот, Гц	Чувствительность, мВ/Па	Уровень шума, дБ	Напряжение питания, В	Размеры, мм
МКЭ-3	50-15000	4-20	30	4,5	15x21
МКЭ-332	50-12500	3-48	30	2-9	10,4x6,6
МКЭ-389-1	300-4000	6-12	33	2-6	8x7
МКЭ-84-1	300-3400	6-20	30	1,3-4,5	22,5x6,5
ЕСМ-30С	50...13000	-67±3dB(2.5 мВ/Па)	40	1.5...10	10 x16
MP45DT02TR	50...4000	-23 dB(0.8 мВ/Па)	61	1.64...3.6	4.72 x 3.76
МДМ-7	200-4000	1,0 мВ			29x22
ЕСМ-60А	50...13000	-56±3dB(1мВ/Па)	40	1.5...10	10x7
НМО1003А	50...16000	60(2.2 мВ/Па)	58	3	10x7

Из микрофонов серий МКЭ подходит МКЭ-389-1.

Из микрофонов ЕСМ подходит ЕСМ-30С, поскольку первый стоит 130 рублей, а второй 38 рублей, выберем ЕСМ-30С, 4.5 В, 10 мм, диапазон частот 50-10000 гц.

3.2 Подключения выбранного микрофонного капсюля

Подключение микрофонного капсюля будет осуществляться по следующей схеме (рисунок 20) [21].

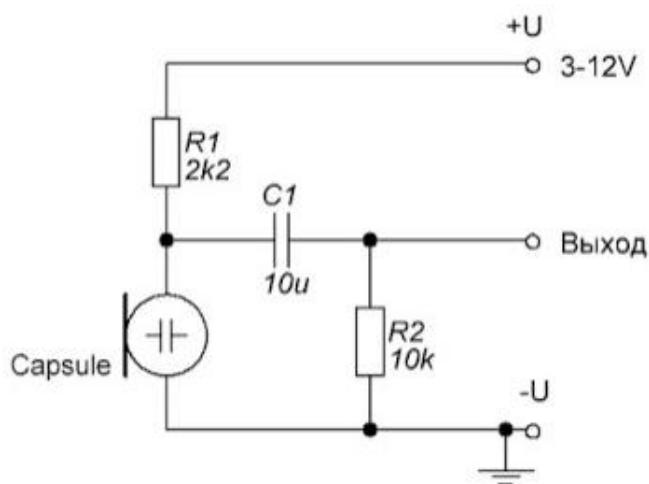


Рисунок 20 – Схема подключения микрофонного капсюля

Предварительный усилитель с питанием

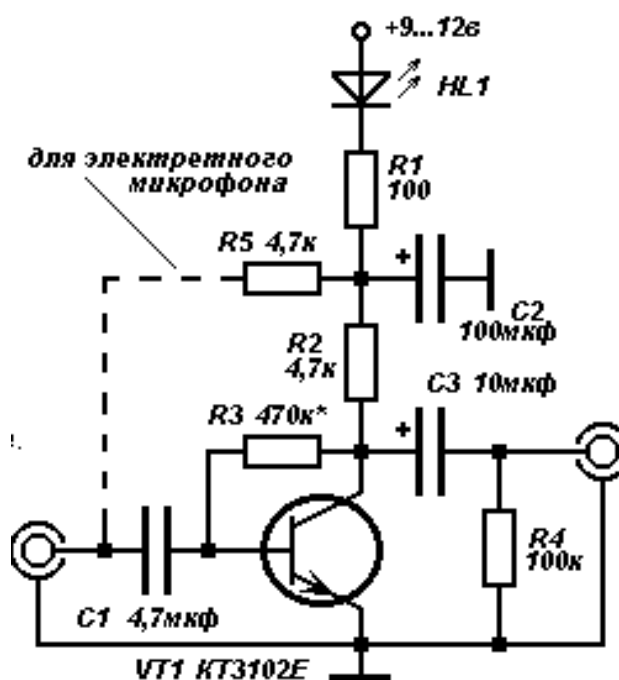


Рисунок 21 – Схема предварительного усиления с питанием 9-12 В

Данный усилитель может работать как с динамическим, так и с электретным микрофоном. Резистором R5 обеспечивается напряжение смещения. Коэффициент усиления приблизительно равен 70. При использования высококачественного динамического микрофона Конденсатор C1 увеличить до 10 мкФ. Ток через светодиод HL1 мал, меньше 1 мА, если индексация включения не нужна, то можно заменить любым диодом. Питание от батареи постоянного напряжения.

Список элементов:

- биполярный транзистор КТ3102;
- электролитические конденсаторы C1 - 4.7, C2- 100, C3- 10 мкФ;
- резисторы R1 – 100 Ом, R2, R5 – 4.7 Ом, R3 - 470 кОм;
- светодиод HL1.

3.3 Принципиальная электрическая схема с платой Arduino Uno

В электрической схеме используется: плата Arduino Uno, Led матрица, 4 резистора 220 Ом, 2 светодиода зеленого и красного цвета, конденсатор 100мкФ, микрофон ЕСМ30С, пьезоизлучатель в качестве сирены (Рисунок 23).

					ЮУрГУ – 120301.2018.262 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

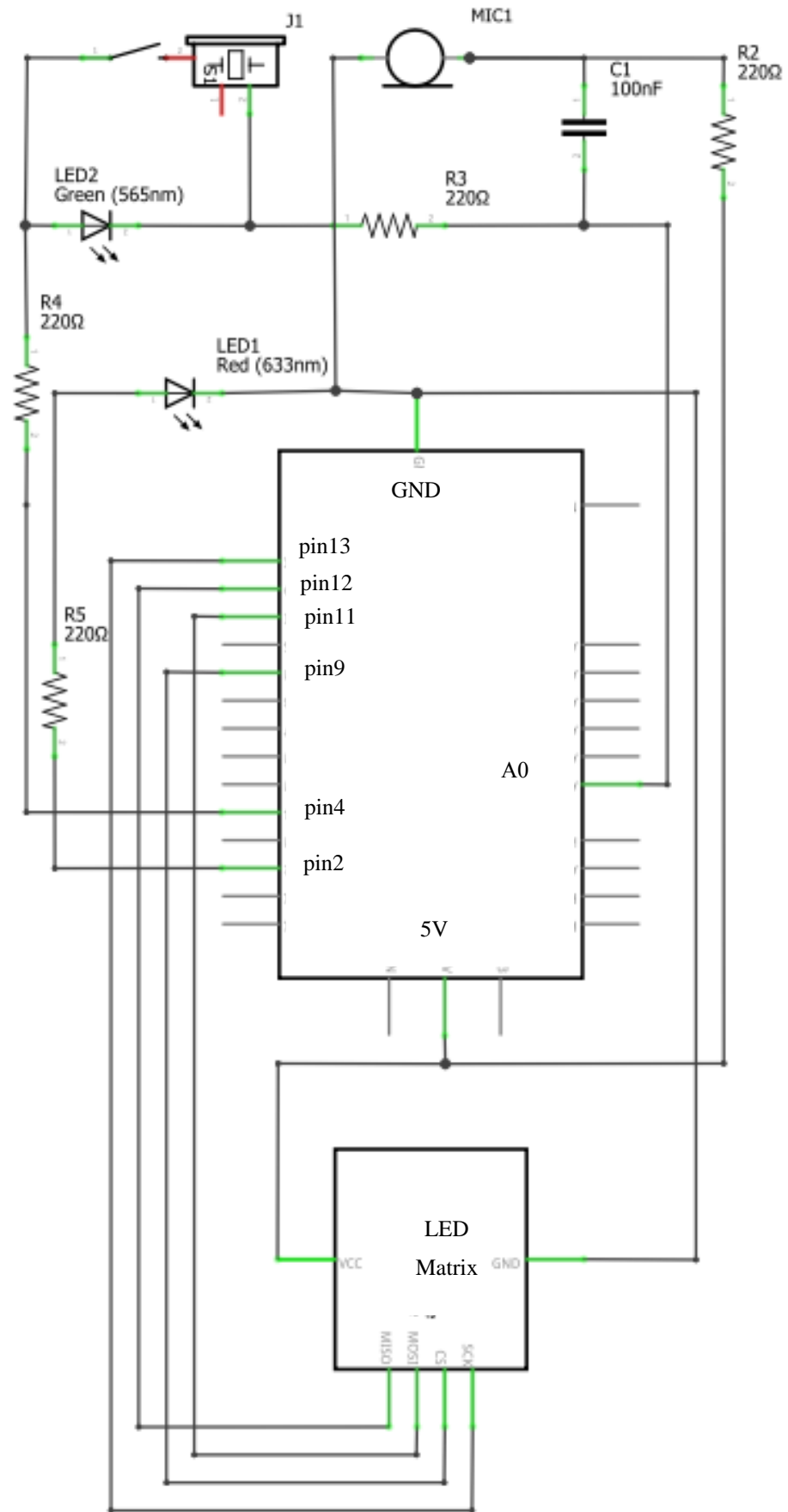


Рисунок 22 – Электрическая схема

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

3.4 Построение прототипа на основе платы Arduino Uno

Для работы платформы необходим программный код. Для построения кода программы были использованы информационные ресурсы [22-26]. Блок-схема алгоритма программы на рисунке 23, листинг программы приведен в приложении А.



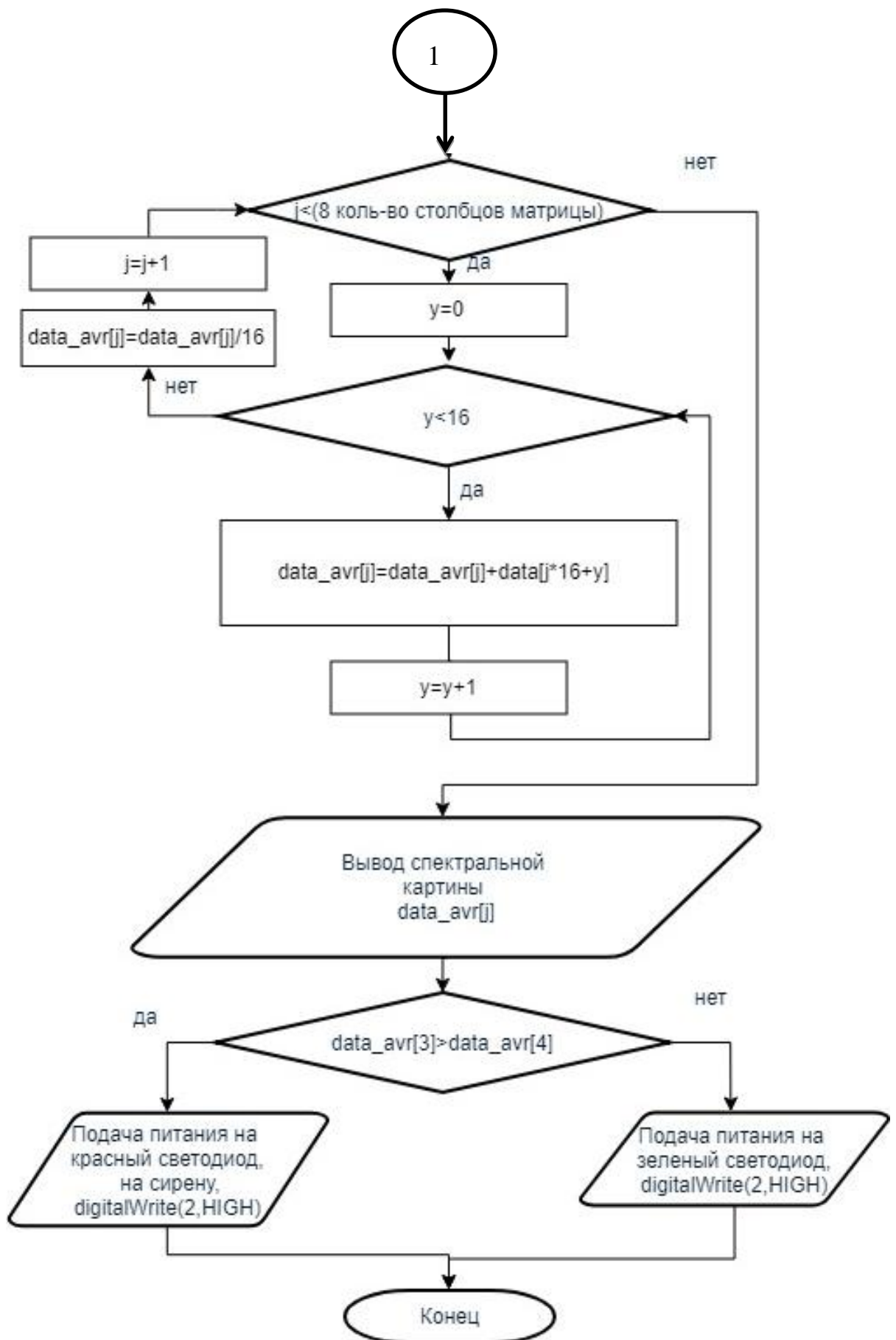


Рисунок 23 – Блок-схема алгоритма программы

Прототип на базе Arduino UNO предоставлен ниже на рисунке 24. Результат оценки выводится в виде спектральной картины на LED матрице и включение зеленого или красного светодиода, что и является оценкой состояния пчелиной семьи.

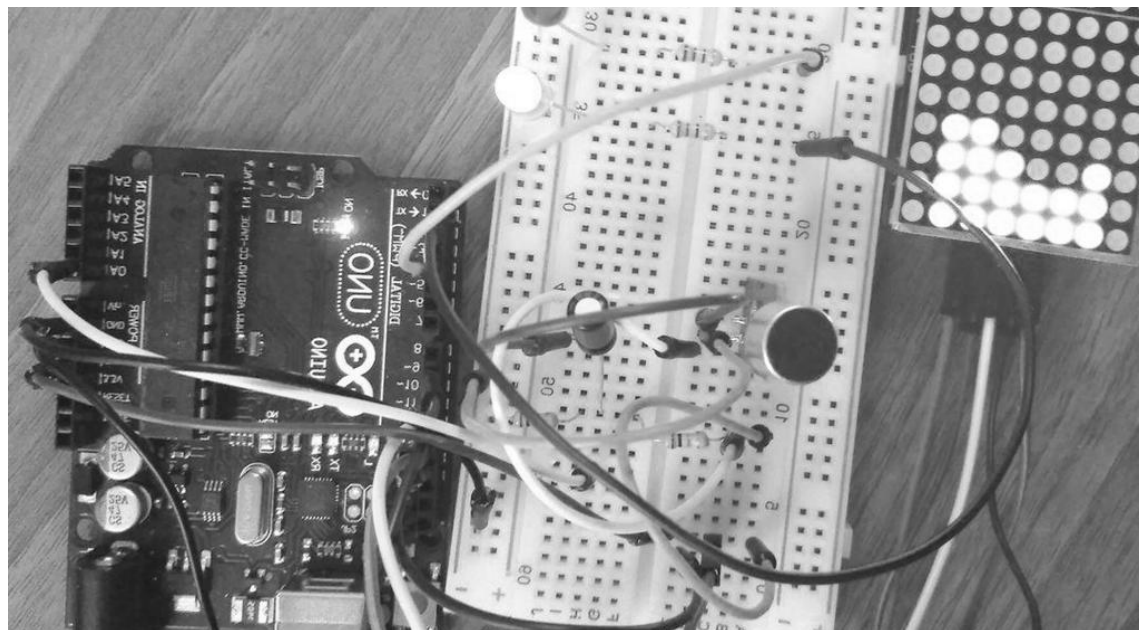


Рисунок 24 – Макет измерительной системы

Вывод: был подобран акустический датчик ECM-30C с параметрами: частотный диапазон 50...13000 Гц, чувствительность -67дБ, напряжение питания 1.5...10 В, габаритные размеры 10x16 мм. Было подобрано электрическое соединение для микрофона и предварительное усиление. Был создан программный код для работы Arduino UNO. Собран прототип акустической системы на базе Arduino UNO.

4 КОНСТРУИРОВАНИЕ БЛОКА АКУСТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА

4.1 Разработка 3 – D модели

Создадим 3 – D модель корпуса с акустическим датчиком, питанием, выключателем, разъемом для аудио сигнала, корпус присоединяется с помощью 2 шурупов к улью (Рисунок 25).(блок акустического датчика).

Зеленый – электретный капсюльный микрофон, красный – разъем SMD 3.5 мм Jack MP3, желтый – переключатель, для включения цепи питания, сверху вниз: крышка, 4 батареи AA по 1.5 В, KLS5-809-B (FC1-5113), батарейный отсек 4хAA, ниже корпус для датчика, также внутри присутствует резисторы, конденсаторы для электрической схемы.

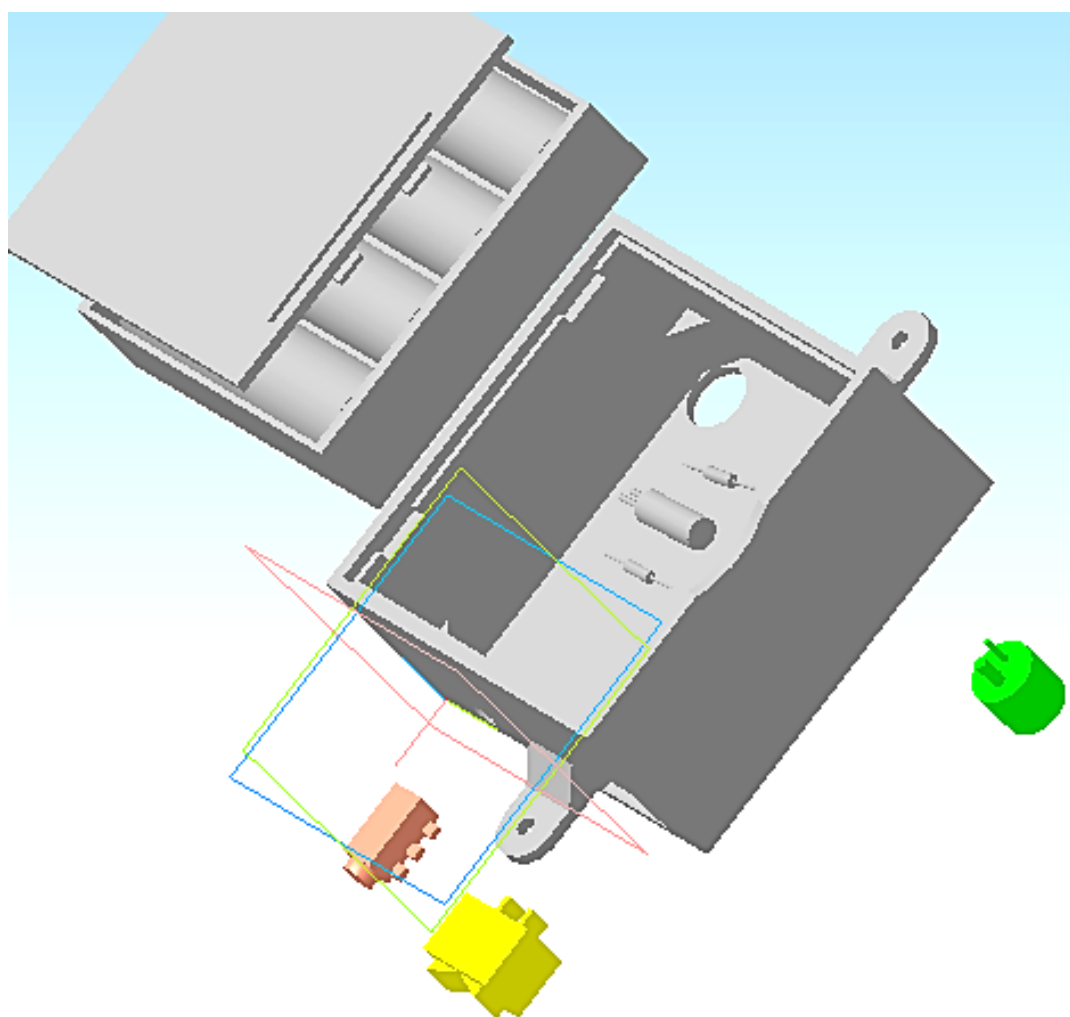


Рисунок 25 – 3 – D модель

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Акустический датчик, с предварительным усилением, необходимо расположить около улья, есть 3 варианта расположения: в летке (1), в специально просверленном отверстии сбоку или сверху под крышей улья. Специально просверливание отверстия, требует дополнительных усилий. Если ставить корпус датчика сверху в улье, то он будет мешать пчеловоду при осмотре пчел. Наиболее удобным является расположить датчик сбоку от летка.

Расположить датчик(2) в улье(3) предлагается следующим образом: капсульный микрофон частично находится в летке улья, соединение посредством двух шурупов (4) (Рисунки 26,27).

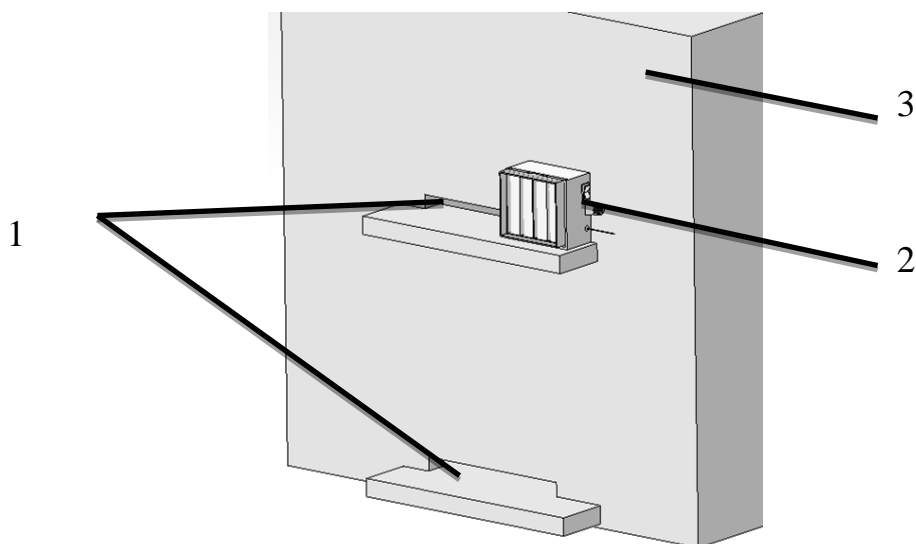


Рисунок 26 – Расположение датчика относительно улья

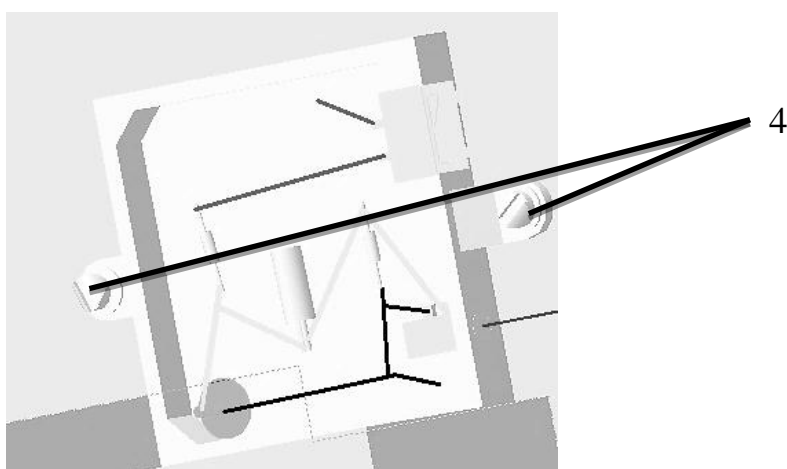


Рисунок 27 – Соединение корпуса с ульем, в разрезе, без отображения питания

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

4.2 Разработка конструкторской документаций

Спецификация, сборочный чертеж, чертежи корпуса и крышки приведены в приложениях Б.

Вывод: в данной главе была создана 3 – D модель блока акустического датчика, подобраны элементы питания, подсоединения, включения. Сконструированы корпус и крышка для блока акустического датчика. Также была создана конструкторская документация.

					ЮУрГУ – 120301.2018.262 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

Здесь i – условные обозначение частоты, $X_k(i)$ значение амплитуды при частоте i , столбцы LED-матрицы обозначены усредненной суммой с 1 по 16 $X_k(i)$, с 17 по 32 $X_k(i)$ и так далее.

Видно, что усредненные значения 2 столбца ниже усредненных значений 4 столбца, что и обозначает обычное состояние пчелиной семьи, поскольку в диапазонах 2 столбца находится частота 225 Гц, а в диапазонах 4 столбца 275 Гц.

Поскольку с имитатора пчелиного шума подается шум на частоте 275 Гц, а $X_k(i)$ достигает максимального значения при $i=37$, то значение $i=37$ соответствует 275 Гц.

По табличным значениям была построена гистограмма (Рисунок 30), отображающая амплитуду усредненного значения для LED - матрицы

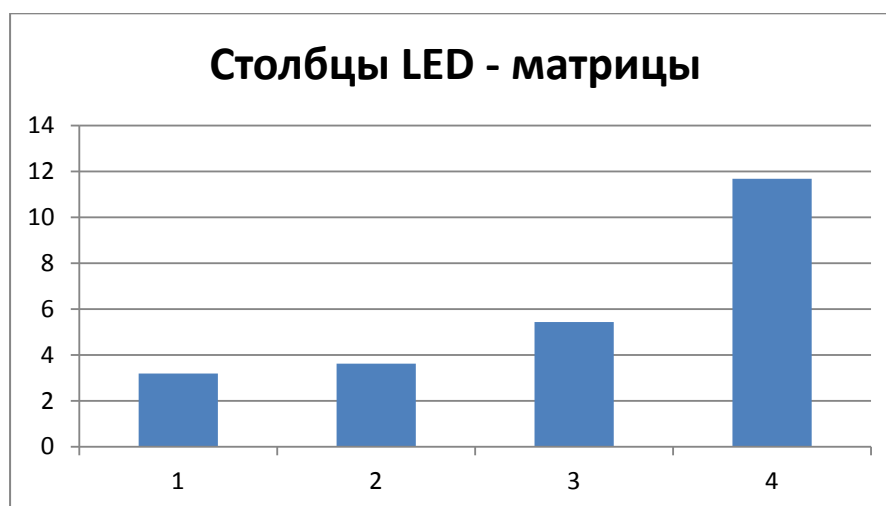


Рисунок 3 – Гистограмма значений LED - матрицы

Вывод: в результате проделанной работы был собран прототип акустической системы на базе Arduino UNO, по которому были произведены испытания по определению частотного спектра акустического шума создаваемый имитатором. Результаты работы прототипа были визуализированы на макете, также интерпретированы результаты выходных данных с помощью монитора порта Arduino UNO, результаты сведены в таблицу и приведена гистограмма для выходных значений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе разработки системы мониторинга для оценки состояния пчелиной семьи был проведен анализ технического задания, обзор аналогов, найдены необходимые для данной работы характеристики пчелиных семей, составлена математическая модель, проведен расчет погрешностей для выбранного акустического датчика и метода измерения, общая погрешность выходных частотных и амплитудных значений не превышает 4,5 %. Также был подобран акустический датчик ЕСМ-30С с параметрами: частотный диапазон 50...13000 Гц, чувствительность -67дБ, напряжение питания 1.5...10 В, габаритные размеры 10x16 мм. Был создан программный код для работы Arduino UNO. Собран прототип акустической системы на базе Arduino UNO, по которому были произведены испытания по определению частотного спектра акустического шума создаваемый имитатором.

					ЮУрГУ – 120301.2018.262 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пчеловодство мировая статистика. – <https://cyberleninka.ru/article/n/pchelovodstvo-rossii-sostoyanie-i-mesto-v-mire>.
2. Кривцов, Н.И., Пчеловодство в России/ Кривцов, Н.И., Лебедев В.И - 2010.- выпуск № 3.- С. 3-5.
3. Пат. 240784 Российская Федерация, МПК7 А 01 К 47. Акустический анализатор роевого состояния пчелосемей / И.П. Оренбуркин. –2008.
4. Пат. 7549907 США, МПК⁷ А 01 К 47/Honey bee acoustic recording and analysis system for monitoring hive health / Jerry J. Bromenshenk, Colin B. Henderson, Robert A. Seccomb, Steven D. Rice, Robert T. Etter. – опубл. 27. 09.2007, – Бюл. № 60/756.
5. Мохсен, Ш. А. Автоматизированная система диагностики пчелиных семей на основе анализа форм спектров акустических сигналов: дис. канд. тех. наук/ Ш.А. Мохсен. – Курск., 2015.- 169с.
6. Еськов Е.К. Акустический контроль состояния пчелиных семей / Еськов Е.К.// Пчеловодство, 1972, №1, стр.26-2.
7. Тобоев В.А., Кириллов А.В., Евсеев А.С. Экспериментальное исследование эффектов воздействия ЭМИ сотовых телефонов на жизнедеятельность пчелиных семей// Естественные и математические науки в современном мире: сб. ст. по матер. XXXIX междунар. науч.-практ. конф.- Новосибирск, 2009. -Вып. № 2(37).
8. Лебедев В.И. Причины гибели семей пчел в период осени 2002 и зимы 2002/ В.И. –2003 гг. // Пчеловодство. 2003. № 5. С. 34–35.
9. Рыбочкин А.Ф. Распознавание состояний пчелиных семей по их акустическому шуму / А.Ф. Рыбочкин, С.В. Савельев // Сборник научных статей. Вычислительная техника и информационные технологии. Тула.,2009 – С. 38-43.
10. Еськов Е.К. Акустическая сигнализация общественных насекомых/ Е.К Еськов. – М.: Наука, 1979. – 209 с.

						ЮУрГУ – 120301.2018.262 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			58

27. ГОСТ 25346-89. Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений. – М.: Изд-во стандартов, 1989.-27с.

28. Захаров И. С., Рыбочкин А. Ф., Праведникова С. В. Применение образов спектров для анализа сигнала // “Телекоммуникации” - 2009. – Вып. № 7.

					ЮУрГУ – 120301.2018.262 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А.

Листинг программы

```
#include <SPI.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Max72xxPanel.h>
#include <fix_fft.h>
const int analogInPin = A0;// Аудиовход
int sensorValue = 0;
char im[256], data[256];// массив для входящего аудиосигнала
char data_avgs[8];
int i=0,val;
int pinCS = 9;// пин лед матрицы
int numberOfHorizontalDisplays = 4;// по-горизонтали 4 матриц
int numberOfVerticalDisplays = 1;// по-вертикали 1 матриц
Max72xxPanel matrix = Max72xxPanel(pinCS, numberOfVerticalDisplays,
numberOfHorizontalDisplays);//размер соединенных матриц
void setup()
{
  pinMode(2, OUTPUT);
  pinMode(4, OUTPUT);
  matrix.setIntensity(7); // яркость от 0 до 15
  Serial.begin(9600);// частота для монитора порта
}
void loop()
{
  for (i=0; i < 256; i++)// Считываем значение с аналогового входа в массив
  {
    val = analogRead(analogInPin);
    data[i] = val;
    im[i] = 0;
    delay(0.1);// увеличение длительности записи сигнала
  };
  fix_fft(data,im,7,0);// Преобразование Фурье, теперь у нас data перешла из
временной области в частотную
  //FFT(массив(действ знач), массив (мнимых знач), количество ВПТ(чем
меньше, тем лучше, пишут точнее, допустимые значения 7,8,9, рекомендуется
7),прямое преобразование-0, обратное 1)
  for (i=0; i< 128;i++){
    data[i] = abs(data[i]); // Считаем и делаем значения положительными, модуль
```