

Всероссийский конкурс исследовательских и проектных работ
школьников «Высший пилотаж»

Устройство для дистанционного беспроводного мониторинга здоровья пчелиных семей
«Умный улей ПРО»
Проект
Направление «Технические и инженерные науки»

Автор: Левченко Алексей Михайлович,
учащийся 10 класса,
МАОУ СОШ №26 г. Тюмени
Руководители: Шулаев В.А, Копытов И.А.,
«РИО-Центр», г. Тюмень

2023 г.

Аннотация.

У пчеловодов существует проблема своевременного выявления отклонений в здоровье пчелиных семей, которое связано с их ручным трудом и частотой непосредственного обслуживания пасек. Решением этой проблемы может послужить использование беспроводного устройства для дистанционного мониторинга физических параметров пчелиных семей в реальном времени и круглый год.

В мире существуют коммерческие продукты и исследовательские проекты подобных устройств, но они имеют некоторые недостатки по сравнению с разработанным. Например, отслеживают не все физические параметры одновременно, по которым можно определять здоровье медоносных пчел, не имеют за собой автономности или работают только при наличии интернета, требуют абонентскую плату за использование sim-карт или имеют высокое энергопотребление. Также, по литературным сведениям, выявлено, что некоторые получаемые физические параметры имеют зависимость от природно-климатических условий. Поэтому при помощи данного устройства планируется провести серию научных исследований, в рамках сотрудничества с ТюмНЦ СО РАН, в том числе, по разработке технологии для дистанционной беспроводной диагностики заболеваний пчелиных семей с использованием нейронных сетей в природно-географических условиях юга Тюменской области.

Разработано устройство, которое легко встраивается в улей любого типа, работает автономно (от аккумулятора) от 1 года (имеет низкое энергопотребление) и собирает следующие физические параметры пчелиных семей: звук (частота и громкость), вес улья, углекислый газ, атмосферное давление, температура и влажность (в улье и окружающей среде). Также данная разработка за счет технологии LoRa (независимой бесплатной радиосвязи) отправляет данные на приемник на расстояние до 8 км (с возможностью ретрансляции передачи данных на неограниченные расстояния), через который они передаются в приложение на персональный компьютер.

Введение.

Использование электронных устройств в пчеловодстве позволяет контролировать пчелиные семьи по многим показателям и получать своевременную информацию для обеспечения здоровья медоносных пчел, тем самым способствуя сокращению ресурсов и времени у пчеловодов, затрачиваемых на выполнение задач без сокращения производства, а именно: оперативно предотвращать убытки в результате возникновения заболеваний (например, Варроа), роения, влиянии пестицидов на пчелиные семьи и т.д. [1]. Впервые сведения о мониторинге (превышающем 2 дня) семей медоносных пчел на постоянной основе и в ручном режиме, опубликованы в 1914 году, где предоставлены почасовые данные о температуре за

несколько дней, собранные из улья в 1907 году [1]. Начиная с 1990 года и по настоящее время при помощи компьютера постоянный мониторинг веса, температуры, влажности, газа, звука пчелиных семей, у разных исследователей были разными: одни наблюдали только вес и температуру улья, другие температуру и влажность, третьи газы и звук и т.д., при продолжительности исследований от 52 часов до 16 месяцев [1, 2], а использование интернета для передачи данных для дистанционного беспроводного мониторинга [2] и при этом высокое энергопотребление таких устройств вероятно для использования пчеловодами будет затруднительным. Также выявленная зависимость некоторых физических параметров медоносных пчел от природно-климатических условий (климата) [3] и отсутствие калибровки датчиков по заявляемым измерениям у исследователей-конкурентов являются актуальной задачей для проведения исследований и решения проблем в этом направлении.

Большое развитие и внедрение беспроводных технологий мониторинга наблюдаются в Европе, где данные о весе улья и его изменении, а также температуре окружающей среды и относительной влажности доступны для более чем 70 участков по всей Германии, и эти данные обновляются каждые 5 минут [4]. **Поэтому создание подобной системы на территории России при контроле государства позволит управлять здоровьем пчелиных семей и, соответственно, их продуктивностью.**

Актуальность.

На данный момент остро стоит вопрос о здоровье пчел. Они нередко подвергаются различным заболеваниям, например, клещ Варроа, распространенный по всему миру, вызывает высокую гибель у них. Пчеловоды (в особенности, работающие на крупных пасеках) не могут своевременно выявить отклонения в здоровье медоносных пчел, из-за того, что обслуживание пасек осуществляют вручную. Поэтому появляется необходимость в автоматизации процесса слежения за здоровьем пчелиных семей. В мире имеется достаточное количество исследовательских и коммерческих проектов и продуктов (устройств) соответственно, но практически у всех нет необходимого комплекса инструментов для осуществления автономного, беспроводного, бесплатного мониторинга за состоянием здоровья медоносных пчел на пасеках с использованием максимального количества физических параметров одновременно (звук (частота и громкость), углекислый газ, температура и влажность (в улье и окружающей среде), вес улья, атмосферное давление) с низким энергопотреблением. Также выявлено, что имеется зависимость некоторых из вышеперечисленных параметров от природно-климатических условий. Поэтому разработка устройства с учетом всех минусов у конкурентов является актуальной задачей проекта, а также научно-исследовательских работ в рамках сотрудничества с ТюмНЦ СО РАН.

Цель проекта.

Разработка нового устройства для дистанционного беспроводного мониторинга здоровья пчелиных семей.

Задачи:

1. Изучить устройства конкурентов;
2. Изучить физические параметры необходимые для выявления отклонений в здоровье медоносных пчел;
3. Разработать устройство (подобрать компоненты для устройства и приемника, соединить их необходимым образом);
4. Разработать программное обеспечение для работы устройства (для передачи данных между устройством и приемником с учетом необходимости в экономии энергии для продолжительной автономной работы);
5. Разработать программный продукт для ПК (приложение для компьютера с таблицей данных и визуальным представлением последних полученных данных).

Анализ существующих решений

Был проведен анализ практически всех найденных подобных устройств в мире и составлена краткая таблица сравнения разработанного устройства с существующими аналогами (табл. 1).

Таблица 1 — Сравнение устройства с конкурентами.

	«Умный улей ПРО»	Конкуренты*
Одновременное получение следующих физических параметров пчелиных семей: <i>звук (частота и громкость), углекислый газ, температура и влажность (в улье и окружающей среде), вес улья, атмосферное давление</i> в реальном времени круглый год.	+	—
Калибровка значений, получаемых с датчиков**.	+	—
Невысокая цена устройства (себестоимость около 10 т.р.) (по сравнению с теми немногими устройствами, где цена указана) и отсутствие абонентской платы.	+	не указано***
Рациональное энергопотребление.	+	—***
Автономная работа от аккумулятора без подзарядки от 1 года (при передаче данных один раз в час).	+	не указано***

Работа в отсутствии интернета и любых других видов связи (своя связь).	+	—***
Простая встраиваемость в любой улей.	+	—***

*таблица с подробным сравнением устройств конкурентов (коммерческих и исследовательских проектов) с разработанным приведена в приложении А. Устройства похожие на уже найденные в эту таблицу не включены.

**планируется произвести калибровку устройства в Тюменском ЦСМ (центр стандартизации, метрологии и испытаний).

***так помечены обозначения, которые применимы для большинства устройств конкурентов.

Описание разработанного решения

Для разработки устройства беспроводного дистанционного мониторинга здоровья пчелиных семей производилось определение физических параметров для считывания данных, определение и выбор электронных компонентов, разработка схемы работы устройства, затем сборка устройства и разработка технических решений, в том числе связанных со снижением энергопотребления, разработка программы для ПК (таблица со всеми данными и последними полученными данными). А также определено решение по принципу установки устройства для всех типов пчелиных ульев.

1. Определение физических параметров. Для определения физических параметров, которые могут влиять на здоровье пчел производился анализ литературы и ассортимента рынка считывающих датчиков. В результате чего были определены следующие показатели:

1. **Вес улья.** Можно судить о количестве меда (производительность пчёл), а также их здоровье [5].
2. **Углекислый газ (CO₂).** Имеются взаимосвязи между заболеваемостью клещами Варроа — вредителями пчел [6, 7], а также этот параметр связан с метаболизмом пчел [5].
3. **Звук.** Мониторинг звука (частота и громкость) в улье можно использовать для анализа присутствия пчелиной матки (возможном роении) во время нормальной деятельности ульев [5];
4. **Температура и влажность в улье.** Отклонения этих параметров указывает на заболевания медоносных пчел [8].
5. **Температура и влажность в окружающей среде** необходима для исследовательских работ — изучения зависимостей (корреляции) показателей внутреннего состояния пчелиных семей в улье от состояния окружающей среды.
6. **Атмосферное давление.** Этот параметр является характеристикой окружающей среды (погоды), но сведений влияния на жизнедеятельность пчелиных семей атмосферного давления практически нет, поэтому имеется необходимость в проведении исследовательских работ — изучения зависимостей (корреляции) состояния здоровья пчелиных семей и их продуктивности от этого показателя.

2. Определение и выбор электронных компонентов. Производился подбор и анализ технических характеристик электронных компонентов для разрабатываемого устройства. В результате чего были выбраны и определены следующие компоненты:

Датчик веса. Для измерения веса были выбраны практически единственные найденные тензодатчики на 50 кг. (и вместе с ними специальная плата для осуществления их работы — НХ711) 4 таких датчика устанавливаются по краям подставки, на которую кладется улей, и

позволяют измерять массу до 200 кг (с точностью ± 0.025 кг), что точно не превышает вес любого улья.

Датчик углекислого газа. Выбран датчик, измеряющий концентрацию углекислого газа до 10000ppm (частей на миллион) – Sense Air S8. Такой подбор обусловлен тем, что в предыдущей версии устройства использовался датчик на 5000ppm, а показания в улье часто превышали это значение (далее выяснилось, что 10000ppm также иногда не хватает, поэтому в дальнейшем будет использоваться датчик на 100000 ppm или 10% концентрации CO₂, чего точно хватит, т.к. концентрация углекислого газа в улье обычно не выходит за пределы 5% [5]).

Датчик звука. Для определения частоты и громкости звука выбран микрофон без автоматического (с регулируемым) усиления звука MAX4466. Он является наиболее дешевым и имеет минимально необходимую обвязку (компоненты необходимые для работы).

Примечание: датчик на выходе выдает аналоговый сигнал, в котором ищутся максимальные скачки звуковой волны и принимаются за громкость звука. Далее для перевода этого значения в дБ используется корреляция по логарифмическому закону (предварительно построен график зависимости выходного значения от реальной громкости в дБ, измеряемой шумомером; составлена формула для перевода в дБ). Для измерения частоты звука используется специальная библиотека (программный компонент для упрощения кода).

Датчик атмосферного давления. Выбран наиболее дешёвый и популярный датчик BMP280 со следующим диапазоном измерений 300...1100 ($\pm 0,01$) гПа.

Датчик температуры и влажности. Для измерения температуры и влажности как внутри, так и снаружи улья выбран датчик АНТ10, имеющий небольшую цену и хорошую точность измерений: диапазон температуры — -40 ... +85 ($\pm 0,3$) °С, влажности — 0...100 (± 2) %.

Радиомодуль LoRa E32 433MHz был выбран из-за большой дальности действия (до 8 км) и относительно небольшой стоимости.

В качестве **микроконтроллера** используется АТМЕГА2560. Ранние версии устройства работали на АТМЕГА328, но в процессе добавления датчиков возникла нехватка оперативной памяти, поэтому и был выбран более мощный микроконтроллер.

Источником питания устройства являются два литий-полимерных аккумулятора, соединенные параллельно, на 6000мАч каждый. Такой выбор связан с тем, что температура в улье находится в пределах 0—40°С, а рекомендуемая температура эксплуатации литий-полимерного аккумулятора составляет -20 ... +40°С.

Определено (согласно документации), что датчик углекислого газа и радиомодуль требуют питание от 5В постоянного тока, поэтому для них был выбран **повышающий преобразователь напряжения** МТ3608, который является наиболее дешевым и эффективным.

Для питания микроконтроллера и датчиков выбран **понижающий преобразователь напряжения** MCP1700-3002E/TO. Его выходное напряжение — 3В. Такой выбор сделан из-за того, что высокий логический сигнал (1) микроконтроллер подает с напряжением равным напряжению питания, а максимальное напряжение литий-полимерного аккумулятора — 4,2В, но не все компоненты схемы толерантны к такому логическому сигналу (могут выйти из строя), поэтому было необходимо понижение напряжения. Также данный регулятор напряжения способствует стабилизации питания микроконтроллера и датчиков (в особенности микрофона (датчика звука), т.к. при изменении напряжения его питания меняется и выдаваемый им аналоговый сигнал). Выходное напряжение в 3В также выбрано по причине того, что именно это напряжение принимается за порог разряда аккумулятора, соответственно напряжение питания на протяжении всего времени работы устройства меняться не будет.

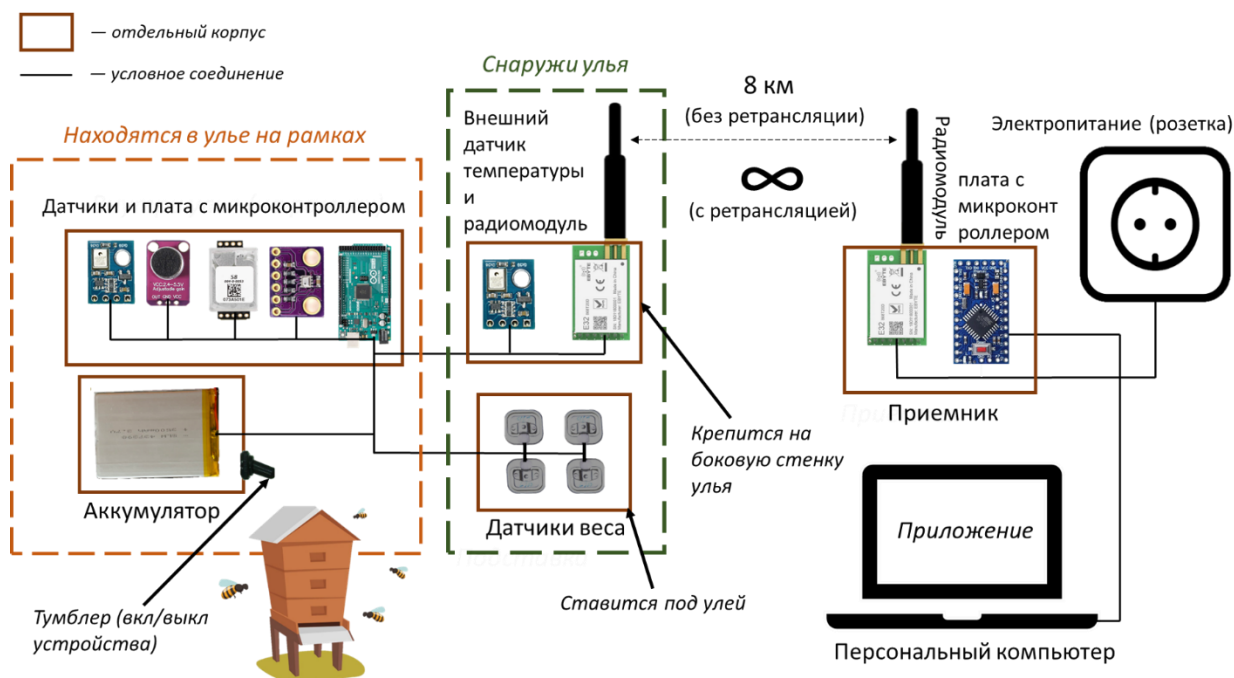
Также важнейшим критерием выбора данного преобразователя напряжения было то, что его потребление (ток покоя) очень мало (4мкА), что позволяет ему постоянно работать [9].

Для определения **заряда аккумулятора в процентах** выбрана микросхема MAX17043, из-за хорошей точности (благодаря механизму подсчета кулонов, температурной компенсации и др.) и сверхмалого потребления в режиме сна (около 1мкА [10]).

В приемнике используется тот же радиомодуль, но микроконтроллер ATMEGA328 (наиболее дешевая и компактная плата — Arduino Pro Mini).

3. Разработка схемы работы устройства. Для выполнения цели и задач настоящего проекта разработана следующая компоновка и схема работы устройства (Рис 1).

Рисунок 1 — Компоновка и схема работы устройства



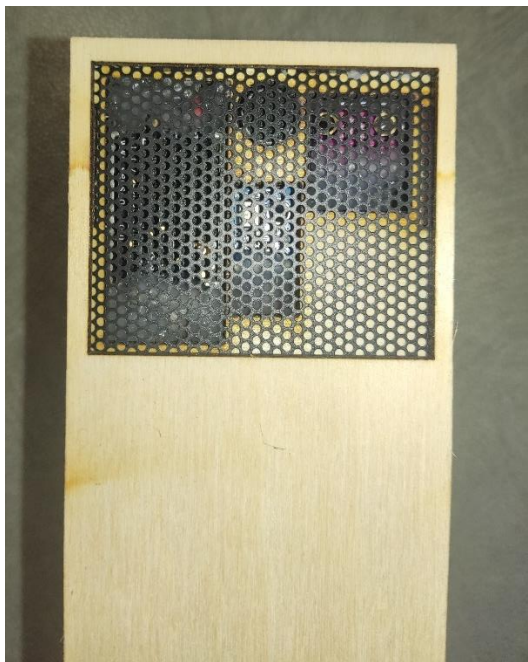
После включения устройства микроконтроллер собирает данные с датчиков и отправляет их с помощью радиомодуля на приемник на расстояние до 8 км. Но такая дистанция не является предельной, т.к. возможна установка ретрансляторов сигнала по пути его следования и, соответственно, передача данных в таком случае может производиться на любое расстояние.

Приемник получает данные и, обрабатывая их, отправляет по USB-проводу в приложение на ПК, которое отображает последние полученные данные и автоматически загружает эти данные в таблицу (для накопления информации).

Ссылка на видео работы устройства дана в приложении Б.

4. Сборка устройства и технические решения. Изготовлен корпус со считывающими датчиками (см. рис. 1 «датчики и плата с микроконтроллером»), которые расположены внизу в небольшом углублении, закрытом пластиковой сеткой для невозможности доступа пчел (рис. 2).

Рисунок 2 — Корпус со считывающими датчиками



Также изготовлен корпус с внешним датчиком температуры и влажности и радиомодулем, где внешний датчик температуры и влажности (см. рис. 1 «внешний датчик температуры и радиомодуль») расположен внизу в углублении данного блока для невозможности доступа осадков (дождь, снег) (рис. 3).

Рисунок 3 — Корпус с внешним датчиком температуры и влажности и радиомодулем



Все электронные компоненты, которые обмениваются данными с микроконтроллером, подключаются к нему стандартным образом. Экономия энергии осуществляется за счет того, что почти все время датчики и радиомодуль (в случае датчика углекислого газа и радиомодуля — их преобразователи напряжения) отключены от линии питания с помощью так называемого ключа на полевом транзисторе (разрыв по минусу питания), поэтому их потребление равно нулю (это проверено, утечки тока через линии данных исключены). Модуль определения заряда аккумулятора не отключается от линии питания, т.к. это противоречит его корректной работе (его потребление тока очень мало — около 3мкА). В качестве платы с микроконтроллером для удобства используется Arduino Mega с предварительно выпаянными всеми компонентами (например, регуляторами напряжения), кроме самого микроконтроллера, резисторов и конденсаторов (нет лишнего потребления). Таким образом, потребление тока схемой сведено к

минимуму и 99% процентов времени составляет приблизительно **30 мкА** (около 20 из них — потребление микроконтроллера в режиме глубокого сна).

Среднее потребление при считывании показаний с датчиков и передаче данных на протяжении 20 секунд — 214мА. Тогда среднее потребление устройства при передаче данных **один раз в час** равно: $214\text{мА} * 20\text{с}/3600\text{с} + 25\text{мкА} \approx 1,19\text{мА}$. Емкость аккумулятора — 12000мАч, отсюда время работы устройства: $12000\text{мАч} / 1,19\text{мА} \approx 10084 \text{ ч} \approx \mathbf{420 \text{ дней}}$.

Технические характеристики устройства:

- Устройство включает в себя 3 деревянных герметичных корпуса: аккумулятор (150/74/24 мм), микроконтроллер с датчиками (168/62/52 мм), внешний корпус (радиомодуль, внешний датчик температуры и влажности) (127/50/40 мм); а также подставку под улей (с расположенными на ней по углам датчиками веса) (700/470 мм, высота ножек подставки — 50 мм) (см. рис. 1).
- Время автономной работы от одного заряда **при передаче данных один раз в час** (аккумулятор емкостью 12000 мАч) — **более 1 года**.
- Температурный режим работы устройства.

Допустимая температура **окружающей среды**: $-40^{\circ}\text{C} \dots +50^{\circ}\text{C}$;

Допустимая температура **в улье**: $0^{\circ}\text{C} \dots +50^{\circ}\text{C}$ (для здоровой пчелиной семьи нормальная температура в улье находится в пределах $0^{\circ}\text{C} \dots +40^{\circ}\text{C}$).

Программа для устройства написана на языке C++ в среде программирования Arduino IDE.

Алгоритм работы программы для устройства:

1. Включить датчики с помощью логического сигнала 1 на транзистор.
2. Опросить датчики.
3. Выключить датчики логическим сигналом 0 на транзистор.
4. Перевести датчики веса (а точнее модуль, который производит расчет веса — HX711) в режим сна.
5. Получить данные о напряжении и заряде аккумулятора от соответствующего модуля.
6. Сформировать пакет данных, приписав в конце уникальное число согласно алгоритму CRC16, который может гарантировать отсутствие повреждения пакета данных при его передаче по радиосвязи.
7. Включить радиомодуль логическим сигналом 1 на его транзисторный ключ.
8. Отправить данные по радиосвязи.
9. Дождаться ответа от приемника об успешном получении данных, иначе после таймаута отправить данные еще раз (так может повторяться заданное в программе количество раз).
10. Выключить радиомодуль логическим сигналом 0 на его транзисторный ключ.

11. Переключить микроконтроллер в режим глубокого сна на заданное время.

Описание приемника:

Питается от блока питания (подключен к розетке) на 9-12В через понижающий преобразователь напряжения. С компьютером связан через USB.

Технические характеристики приемника:

- Корпус (87/87/37 мм) состоит из пластика.
- Средняя мощность — 0,17Вт.

Программа для приемника также написана на языке C++ в среде программирования Arduino IDE.

Алгоритм работы программы для приёмника:

1. Принять данные по радиосвязи.
2. Подсчитать уникальное число пакета согласно алгоритму CRC16.
3. Сравнить его с полученным от устройства уникальным числом, которое находится в конце полученного пакета.
4. Если числа совпали – передать данные на компьютер, иначе запросить повторную отправку данных (заданное в программе количество раз).

Описание приложения на компьютер:

Написано на языке C# в среде разработки Visual Studio.

Алгоритм работы приложения для ПК:

1. Получить данные от приёмника.
2. Загрузить их (добавив дату и время получения, а также цикл записи) во вкладку с таблицей и в раздел с визуальным представлением последних полученных данных (в реальном времени).

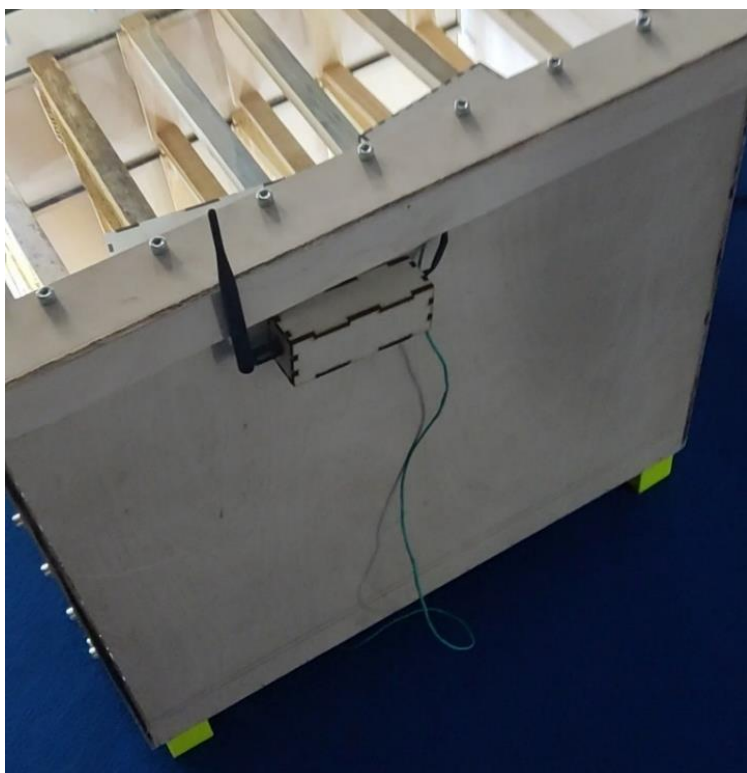
5. Принцип установки устройства в пчелиный улей. Корпус с датчиками и микроконтроллером, а также с аккумулятором необходимо положить на рамки внутри улья (рис. 4) — оранжевая пунктирная линия на рис. 1.

Рисунок 4 — Корпус с датчиками и микроконтроллером и аккумулятором на рамках внутри улья



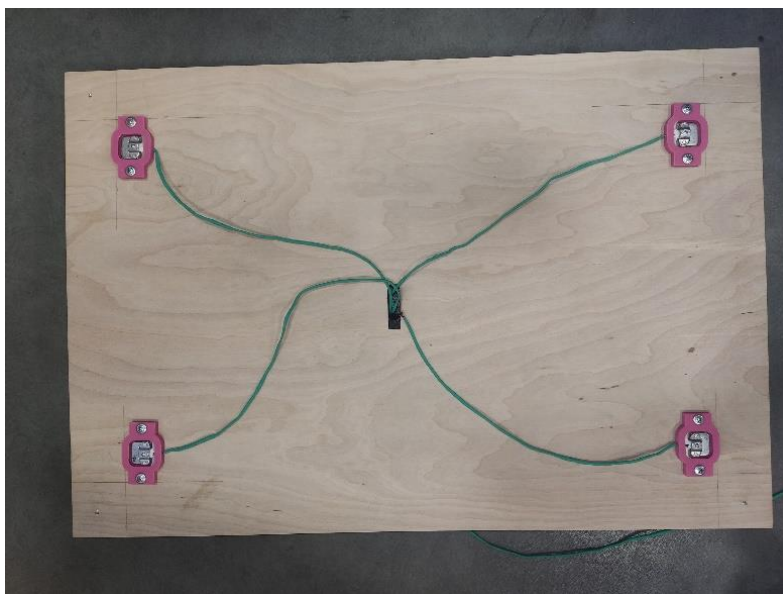
Корпус с внешним датчиком температуры и радиомодулем закрепляется (с помощью саморезов) на одной из боковых стенок улья (рис. 5) — зеленая пунктирная линия (оранжевая рамка сверху) на рис. 1.

Рисунок 5 — Корпус с внешним датчиком температуры и радиомодулем снаружи улья



Площадка (подставка) с закрепленными на ней датчиками веса (рис. 6) ставится под улей.

Рисунок 6 — Подставка с закрепленными на ней датчиками веса



После этого нужно включить устройство, переместив тумблер (который встроен в корпус аккумулятора) в состояние «ON».

Приемник данных (рис. 7 и см. справа на рис. 1) включается в розетку с помощью блока питания на 9-12В и подключается к компьютеру по USB-проводу.

Рисунок 7 — Приемник данных



Затем необходимо открыть приложение и подключиться к приемнику: нажать на «обновить порты», выбрать COM-порт, к которому он подключен, и нажать «подключиться».

Анализ полученных результатов

В результате работы устройства считываются следующие физические параметры пчелиных семей: температура и влажность (внутри и снаружи улья), звук (частота и громкость), углекислый газ, масса улья и атмосферное давление с интервалом 1 раз в час, которые по беспроводной связи поступают и отображаются в приложении на ПК в реальном времени (рис. 8) и сохраняются в виде таблицы (рис. 9).

Рисунок 8 — Вкладка с данными в реальном времени

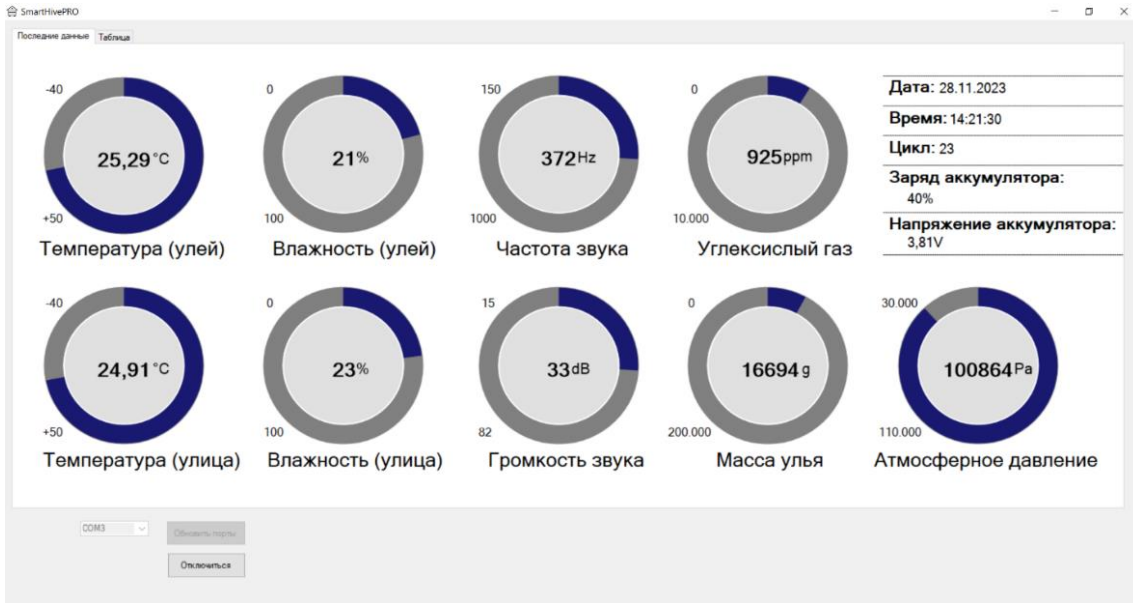


Рисунок 9 — Вкладка с таблицей со всеми полученными данными

Цикл	Дата	Время	Температура (улей), °C	Влажность (улей), %	Температура (улица), °C	Влажность (улица), %	Углекислый газ, ppm	Масса, g	Громкость звука, db	Частота звука, Hz	Атмосферное давление, Pa	Напряжение аккумулятора, V	Заряд аккумулятора, %
1	28.11.2023	14:18:53	25,05	22	24,69	23	1084	16716	26	304	100867	3,82	40
2	28.11.2023	14:19:00	25,06	22	24,71	23	1072	16713	23	208	100867	3,82	40
3	28.11.2023	14:19:07	25,07	22	24,72	23	1060	16708	29	530	100867	3,82	40
4	28.11.2023	14:19:14	25,09	21	24,73	23	1048	16709	26	182	100864	3,82	40
5	28.11.2023	14:19:21	25,08	21	24,74	23	1051	16704	36	294	100865	3,80	40
6	28.11.2023	14:19:28	25,10	21	24,76	23	1039	16706	27	255	100872	3,82	40
7	28.11.2023	14:19:36	25,08	21	24,75	23	1026	16696	27	315	100866	3,82	40
8	28.11.2023	14:19:43	25,12	21	24,77	23	1004	16699	31	280	100869	3,82	40
9	28.11.2023	14:19:50	25,12	21	24,80	23	984	16702	40	446	100866	3,82	40
10	28.11.2023	14:19:57	25,13	21	24,79	23	976	16700	43	499	100865	3,82	40
11	28.11.2023	14:20:04	25,13	21	24,79	23	962	16703	36	324	100865	3,82	40
12	28.11.2023	14:20:11	25,16	21	24,80	23	949	16700	39	448	100864	3,82	40
13	28.11.2023	14:20:19	25,17	21	24,80	23	939	16701	38	554	100864	3,82	40
14	28.11.2023	14:20:26	25,18	21	24,82	23	947	16701	41	529	100867	3,82	40
15	28.11.2023	14:20:33	25,19	21	24,84	23	941	16705	40	416	100868	3,82	40
16	28.11.2023	14:20:40	25,19	21	24,84	23	932	16700	35	411	100869	3,82	40
17	28.11.2023	14:20:47	25,21	21	24,86	23	928	16698	29	427	100870	3,82	40
18	28.11.2023	14:20:55	25,24	21	24,86	23	922	16695	36	523	100867	3,82	40
19	28.11.2023	14:21:02	25,24	21	24,88	23	938	16695	31	361	100870	3,79	40
20	28.11.2023	14:21:09	25,25	21	24,89	23	934	16695	34	455	100864	3,82	40
21	28.11.2023	14:21:16	25,26	21	24,90	23	930	16698	30	514	100868	3,82	40
22	28.11.2023	14:21:23	25,28	21	24,89	23	927	16693	34	404	100866	3,81	40
23	28.11.2023	14:21:30	25,29	21	24,91	23	925	16694	33	372	100864	3,81	40

Примечания:

1. Кроме вышеперечисленных данных, в приложении фиксируются параметры о напряжении и заряде аккумулятора устройства в улье, дате и времени приема данных, цикле записи данных.
2. В середине каждого кружка (рис. 8) показано непосредственно полученное значение параметра и его единицы измерения. Слева от кружка сверху находится минимальное значение параметра, которое может быть измерено, внизу — максимальное. Кружки заполняются синим цветом по мере значения полученного параметра от минимальной границы (окружность полностью серого цвета) до максимальной (окружность полностью синего цвета). Такой «кружок» имеет название Circular Progress Bar («круговой индикатор выполнения»).

Выводы

С учетом недостатков научно-исследовательских и коммерческих проектов конкурентов разработано устройство для дистанционного беспроводного мониторинга физических параметров (здоровья) пчелиных семей: температуры и влажности (внутри и снаружи улья), звука (частоты и громкости), веса улья, углекислого газа и атмосферного давления; с максимально низким энергопотреблением, в реальном времени круглый год. Также для работы системы разработан приемник и алгоритмы передачи данных. Написано интуитивно понятное приложение для ПК с визуальным представлением последних полученных данных, а также таблицей со всеми накопленными данными. Это устройство в рамках сотрудничества с ТюмНЦ СО РАН будет использоваться в дальнейшем при проведении научно-исследовательской работы **для выявления болезней медоносных пчел с использованием нейросети** в природно-климатических условиях юга Тюменской области, что позволит влиять на продуктивность пчелиных семей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ:

1. Meikle, W. G., & Holst, N. Application of continuous monitoring of honeybee colonies. *Apidologie*. 2014. Vol.46(1). P.10–22. doi:10.1007/s13592-014-0298-x
2. Kulyukin V., Tkachenko A., Price K. Meikle W. Weiss M. Integration of Scales and Cameras in Nondisruptive Electronic Beehive Monitoring: On the Within-Day Relationship of Hive Weight and Traffic in Honeybee (*Apis mellifera*) Colonies in Langstroth Hives in Tucson, Arizona, USA *Sensors*. 2022. Vol.22(13). p.4824. <https://doi.org/10.3390/s22134824>
3. Flores, J. M., Gil-Lebrero, S., Gámiz, V., Rodríguez, M. I., Ortiz, M. A., & Quiles, F. J. Effect of the climate change on honey bee colonies in a temperate Mediterranean zone assessed through remote hive weight monitoring system in conjunction with exhaustive colonies assessment. *Science of The Total Environment*. 2019. Vol.653. P.1111–1119. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.11.004
4. – URL: <https://www.bienenkunde.rlp.de/> (дата обращения: 30.11.2023)
5. Cecchi, S., Spinsante, S., Terenzi, A., & Orcioni, S. A Smart Sensor-Based Measurement System for Advanced Bee Hive Monitoring. *Sensors*. 2020. Vol.20(9). P.2726. doi:10.3390/s20092726
6. Ohashi, M., Okada, R., Kimura, T., & Ikeno, H.. Observation system for the control of the hive environment by the honeybee (*Apis mellifera*). *Behavior Research Methods*. 2009. Vol.41(3). P.782–786. doi:10.3758/brm.41.3.782
7. Bahreini, R., & Currie, R. W. The Potential of Bee-Generated Carbon Dioxide for Control of Varroa Mite (*Mesostigmata: Varroidae*) in Indoor Overwintering Honey bee (*Hymenoptera: Apidae*) Colonies. *Journal of Economic Entomology*. 2015. Vol.108(5). P.2153–2167. doi:10.1093/jee/tov202
8. Hou, C. S., Li, B. B., Deng, S., & Diao, Q. Y. Effects of Varroa destructor on temperature and humidity conditions and expression of energy metabolism genes in infested honeybee colonies. *Genetics and Molecular Research*. 2016. Vol.15(3). doi:10.4238/gmr.15038997
9. – URL: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MCP1700-Low-Quiescent-Current-LDO-20001826E.pdf> (дата обращения: 30.11.2023)
10. – URL: <https://www.alldatasheetru.com/datasheet-pdf/pdf/456541/MAXIM/MAX17043.html> (дата обращения: 30.11.2023)
11. Gil-Lebrero, S., Quiles-Latorre, F., Ortiz-López, M., Sánchez-Ruiz, V., Gámiz-López, V., & Luna-Rodríguez, J. Honey Bee Colonies Remote Monitoring System. *Sensors*. 2017. Vol.17(12). doi:10.3390/s17010055
12. Ntawuzumunsi, E., Kumaran, S., & Sibomana, L. Self-Powered Smart Beehive Monitoring and Control System (SBMaCS). *Sensors*. 2021. Vol.21(10). P.3522. doi:10.3390/s21103522
13. Kulyukin V.A., Mukherjee S., Burkatovskaya Yu.B. CLASSIFICATION OF AUDIO SAMPLES BY CONVOLUTIONAL NETWORKS IN AUDIOBEEHIVE MONITORING ВЕСТНИК

ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА Управление, вычислительная техника и информатика. 2018. №45. С. 68-75. DOI: 10.17223/19988605/45/8

14. – URL: <https://yulei.by/about> (дата обращения: 30.11.2023)

15. – URL: <https://zoom.cnews.ru/publication/item/56122> (дата обращения: 30.11.2023)

16. – URL: <https://mcx.gov.ru/upload/medialibrary/ff1/5%20-%20BumbTech%20%D0%9F%D1%87%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D1%8B%D0%B9%20%D0%B4%D0%BE%D0%BC.pdf> (дата обращения: 30.11.2023)

17. – URL: <https://rg.ru/2021/05/06/reg-sibfo/v-novosibirske-razrabotali-umnyj-ulej.html?ysclid=llnc5asl5k199923194> (дата обращения: 30.11.2023)

18. – URL: <https://www.beewise.ag/> (дата обращения: 30.11.2023)

19. – URL: <https://inbeehome.online/> (дата обращения: 30.11.2023)

20. – URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/3/1407> (дата обращения: 30.11.2023)

21. – URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/7/3588> (дата обращения: 30.11.2023)

22. – URL: <https://www.i-bee.net/ru/> (дата обращения: 30.11.2023)

Приложения

Приложение А.

Подробная таблица сравнения разработанного устройства с конкурентами.

№	Название (на русском) и ссылка на источник	Плюсы конкурентов	Минусы конкурентов
1	Система удаленного мониторинга медоносных пчелиных семей [11].	<ol style="list-style-type: none">1. Хранение данных на карте памяти, при потере связи их отправка.2. Есть датчики других газов.	<ol style="list-style-type: none">1. Нет датчиков углекислого газа, звука, давления.2. Автономность только на 75 часов (при отключении питания от сети).3. Нет калибровки датчиков.
2	Автономная интеллектуальная система мониторинга и управления ульем (SBMaCS) [12].	<ol style="list-style-type: none">1. Генерация энергии из вибрации и электромагнитных волн окружающей среды.2. Есть датчик газов (неизвестно об его точности).3. Есть вентилятор (проветривание улья).	<ol style="list-style-type: none">1. Работает только при наличии мобильной связи (абонентская плата за sim-карту).2. Плохое энергосбережение (12В аккумулятор с понижающим напряжением модулем, lcd дисплей, датчики всегда включены).3. Нет датчиков углекислого газа, звука, давления, внешней температуры-влажности.4. Нет информации об автономности.5. Нет калибровки датчиков.

3	Влияние изменения климата на семьи медоносных пчел в умеренной средиземноморской зоне оценивается с помощью системы дистанционного мониторинга веса улья в сочетании с исчерпывающей оценкой семей [3].	1. Есть исследование производительности пчел по весу улья.	1. Автономно (на некоторое время) только на время отключения питания от сети. 2. Только датчик веса. 3. Нет калибровки датчиков.
4	Интеграция весов и камер в непрерывный электронный мониторинг ульев: о внутрисуточной зависимости веса улья и трафика медоносных пчел (<i>Apis mellifera</i>) Колонии в ульях Лангстрота в Тусоне, Аризона, США [2].	1. Измерение трафика пчел с помощью камеры.	1. Сбор данных только летом. 2. Измерение только трафика (по камере) и веса, нет других датчиков. 3. Сохранение данных на usb-накопитель без отправки куда-либо. 4. Нет калибровки датчиков.
5	Классификация аудиообразцов по сверточному методу сети в аудиобильном мониторинге [13].	1. Есть камера. 2. Более продвинутый анализ звука (суть исследования). 3. Есть солнечная батарея. 4. Использование записи файлов звука и их анализ с помощью нейросетей.	1. Регистрируются только температура, звук и видео. 2. Нет информации об автономности. 3. Данные записываются на SD-карту (никуда не передаются). 4. Нет калибровки датчиков.
6	«Улей Professional» от компании «Умный Улей» [14].	1. Цены: 3 т.р. – базовая станция + 2 т.р. – само устройство + 1	1. Работает только при наличии мобильной

		<p>т.р. — весы, но измеряется только масса улья (при покупке весов), звук, температура и влажность;</p> <p>используется GSM (плата за sim-карту) – функционал по сравнению с разработанным устройством урезан.</p>	<p>связи (постоянная плата за sim-карту).</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Не измеряется углекислый газ и атмосферное давление. 3. Неизвестно о калибровке датчиков.
7	Улей от компании Dell [15].	<ol style="list-style-type: none"> 1. Используется анализ видео с помощью ИИ. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Питание от сети. 2. Работа только при наличии интернета (постоянная плата за sim-карту). 3. Нет датчиков углекислого газа, давления, веса, звука. 4. Неизвестно о калибровке датчиков.
8	BumbTech [16].	<ol style="list-style-type: none"> 1. Контроль жизнедеятельности пчел на основе компьютерного зрения (камеры) и машинного обучения. 2. Средняя цена — 3800 руб., но функционал по сравнению с разработанным устройством сильно ограничен. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Неизвестен тип питания (скорее всего от сети из-за наличия камеры). 2. Нет датчиков звука, веса, атмосферного давления, внешних датчиков температуры и влажности. 3. Не работает без интернета (постоянная плата за sim-карту). 4. Неизвестно о температурном

			<p>диапазоне работы (приспособленность к климатическим условиям ТО*).</p> <p>5. Неизвестно о калибровке датчиков.</p>
9	«Умный улей» SHive из Новосибирска [17].		<p>1. Нет датчиков углекислого газа и давления.</p> <p>2. Нет информации об автономности.</p> <p>3. Неизвестно о температурном диапазоне работы (приспособленность к климатическим условиям ТО).</p> <p>4. Неизвестно о калибровке датчиков.</p>
10	Beewise [18].	<p>1. Работа от солнечных батарей.</p> <p>2. Предотвращение роения.</p> <p>3. Оптимизация климата.</p> <p>4. Борьба с вредителями с помощью нехимической обработки.</p> <p>5. Автономное предотвращение роения.</p> <p>6. Автоматизированный сбор урожая.</p>	<p>1. Нет датчиков углекислого газа, звука, давления, веса.</p> <p>2. Требуется оплата 400\$ в месяц за каждые 24 улья.</p> <p>3. Не работает без интернета.</p> <p>4. Неизвестно о температурном диапазоне работы (приспособленность к климатическим условиям ТО).</p> <p>5. Неизвестно о калибровке датчиков.</p>

		7. Автономное решение вопросов о поддержке колоний.	
11	Intellect Bee Home [19].	1. Есть датчик дождя.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Не работает без мобильной связи (GPRS), постоянная плата за sim-карту. 2. Неизвестно об автономной работе устройства. 3. Неизвестно о температурном диапазоне работы (приспособленность к климатическим условиям ТО). 4. Неизвестно о калибровке датчиков.
12	Недорогое, маломощное мультисенсорное устройство с многопараметрическим прогнозированием временных рядов для мониторинга здоровья ульев [20].	<ol style="list-style-type: none"> 1. Солнечная батарея. 2. Есть счетчик пчел. 3. Есть датчик летучих органических соединений. 4. Сбор данных каждые 5 мин. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Не работает без мобильной связи (GPRS), постоянная плата за sim-карту. 2. Нет датчиков внешней температуры и влажности, атмосферного давления. 3. Себестоимость около 200 евро (по состоянию на 18.01.2023). 4. Неизвестно о времени автономной работы. 5. Неизвестно о температурном диапазоне работы (приспособленность к

			<p>климатическим условиям ТО).</p> <p>6. Нет калибровки датчиков.</p>
13	<p>Система мониторинга углекислого газа в ульях медоносных пчел: показатель здоровья пчелиной семьи [21].</p>	<p>1. Измерения каждые 15 мин.</p>	<p>1. Нет внешнего датчика температуры и влажности, датчика звука и атмосферного давления.</p> <p>2. Нет передачи данных (запись на карту память).</p> <p>3. Питание от сети.</p> <p>4. Неизвестно о температурном диапазоне работы (приспособленность к климатическим условиям ТО).</p> <p>5. Нет калибровки датчиков.</p>
14	<p>i-bee [22]</p>	<p>1. Есть датчик движения и подсчет количества пчел.</p>	<p>1. Нет внешнего датчика температуры и влажности, датчика углекислого газа и атмосферного давления.</p> <p>2. Не работает без мобильной связи (GPRS).</p> <p>3. Подписка \$15 / год за один улей.</p>

			4. Радиус действия 1.5 км. 5. Неизвестно о калибровке датчиков.
--	--	--	--

*ТО — Тюменская область

Приложение Б.

Видео работы устройства:

URL: <https://youtube.com/shorts/86hl9EG-pws?feature=share>