DOI УДК 57.087

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПЧЕЛИНЫХ УЛЬЕВ

ГРИГОРЬЯН Леонтий Рустемович, *Кубанский государственный университет*
КОВАЛЕНКО Максим Сергеевич, *Кубанский государственный университет*
ГРИГОРЬЯН Анастасия Леонтиевна, *Кубанский государственный университет*
ПАРОШИН Дмитрий Юрьевич, *ООО «ИНТЕГРИТ»*

Рассмотрена система удаленного мониторинга параметров пчелиных ульев. Проблема удаленного мониторинга в условиях больших расстояний с учетом изменчивых погодных факторов является актуальной. Среди разнообразия аппаратурного обеспечения содержания пчел в настоящий момент единой системы мониторинга нет. Проведеные исследования позволили определить оптимальную схемотехническую и программную составляющие построения системы мониторинга. Представлен результат разработки системы с местной системой мониторинга ульев и удаленной системой сбора данных с применением облачных технологий.

Технический прогресс преобразил практически все стороны жизнедеятельности человека, в том числе и связанные с применением различных интеллектуальных систем мониторинга удаленных объектов. Одним из таких объектов являются пасеки, которые в большинстве случаев находятся на значительном расстоянии от населенных пунктов [7]. При этом с ростом популярности пчеловодства в качестве хобби растет количество «пчеловодов выходного дня». Такие пчеловоды содержат пчел в ульях на дачах, на значительном удалении от города, не имея возможности ежедневно обслуживать пасеку. Применение новейших технологий позволяет оценить все три аспекта мониторинга пасеки: технологический, экономический и безопасность [4]:

1) минимизировать ручной труд человека в оценке состояния пчелиной семьи, свести к нулю субъективную составляющую ручных измерений (или на глазок), что повышает точность и достоверность оценки общего состояния пчелиной семьи;

2) эффективнее прогнозировать и во многих случаях принимать более взвешенные решения по срокам, количеству получаемого меда, качеству и срокам необходимого обслуживания (особенно ранней весной и при неблагоприятном летнем периоде, при зимовке на улице); свести к минимуму возможные потери, связанные с неучтенными погодными факторами содержания пасеки и количеством получаемого за теплый сезон меда;

3) безопасность складывается как из оценки инструментально измеренных параметров общего состояния пасеки, так и из использования систем аудио- и фотомониторинга с удаленным сохранением информации.

С помощью интеллектуальных компьютерных технологий можно организовать на удаленной территории содержание пасеки в режиме «умный дом». В условиях урбанизации жизни это позволит развиваться любительскому и «малому» пчеловодству с минимальным присутствием человека на пасеке.

Остановимся на некоторых аспектах сбора информации пчелиного улья.

Общие параметры пчелиного улья. Известно, что при содержании пчелиного улья требуется периодический контроль следующих параметров: температуры, влажности, веса улья (или системы сот). Все это необходимо для решения нескольких задач: прогноза общего состояния пчелиной семьи, состояния и необходимости расположения улья весной на улице с целью недопущения передержки в помещении, оценки запасенного пчелами меда, общей экономической оценки по сбору меда на данной территории, в частности, при круглосуточном контроле влажности и температуры внешней среды пчеловоды могут предсказать интенсивность выделения нектара цветущими медоносами.

Таким образом, каждый из этих параметров важен как сам по себе, так и в совокупности:

температура внутри и снаружи улья позволяет оценить общее состояние пчелиной семьи и возможности ее адаптации к реальным погодным условиям. По данным Е.К. Еськова [3], доминирующее значение имеет применение приспособлений, обеспечивающих накопление кормовых запасов, их экономное использование в течение зимовки и регуляцию внутригнездовой температуры, а также позволяющих оценить адаптационные возможности пчелиной семьи в условиях изменения температуры с учетом накопленных запасов;

влажность воздушной среды в улье имеет большее значение в период зимовки пчел. При большой влажности ее уменьшение приводит к потере тепла, что при небольших запасах меда может негативно сказаться в конце зимовки. Недостаток влаги также негативно сказывается на развитии расплода в конце зимовки [1];

масса системы сот (запасенного меда) характеризует экономические показатели содержания пчелиной семьи, поскольку определяет как массу получаемого при заборе меда, так и остаток его для питания пчелиного улья с учетом ее адаптационных возможностей в летний период (в случае засухи) и при подготовке к зимовке.

Схемотехника системы сбора данных пасеки. Классическая структура системы сбора данных (рис. 1) включает в себя микроконтроллер, подсистему датчиков, подсистему питания и подсистему узлов связи, реализованных на основе собственных наработок по исследованию параметров сигналов с разнесенных в пространстве объектов [2].

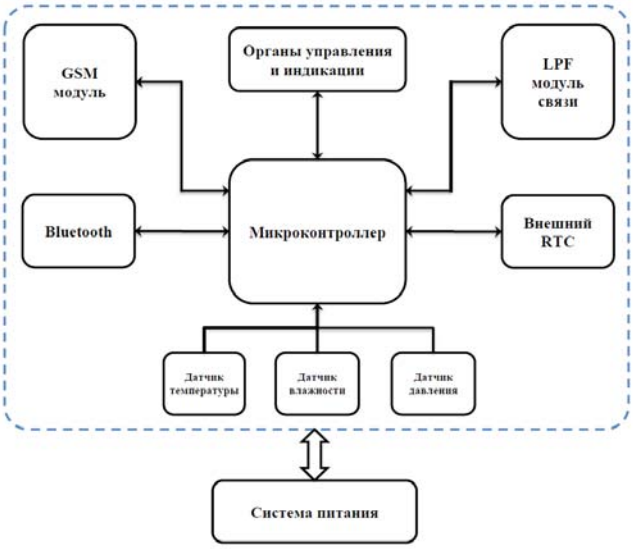

Рис. 1. Структура системы сбора данных пасеки

Центральным элементом системы сбора данных является микроконтроллер, выполняющий роль центрального процессора с ПЗУ управляющей программы, аналого-цифрового преобразователя, подсистемы ввода/вывода информации. К микроконтроллеру подключено устройство ввода и вывода информации; к АЦП – датчик веса (через логарифмический усилитель); к цифровым входам – датчики температуры и влажности; к двунаправленным портам – GSM-модуль, NRF-модуль и Bluetooth-модуль. Программное обеспечение модуля позволяет большую часть времени находиться в ждущем режиме и просыпаться либо через заданное время (с проверкой времени от RTC-модуля), либо по внешнему прерыванию от модулей связи.

Подсистема питания предназначена для подачи питающих напряжений. Она построена с возможностью работы как от внешнего источника +12 В, так и от внутреннего – модуль стандартных батареек. Питание всех модулей (за исключением RTC-модуля) осуществляется от микроконтроллера (через токовые линии портов ввода/вывода или от преобразователя напряжений, управляемого от микроконтроллера), что позволяет понижать общее потребление. Питание на RTC-модуль приходит отдельно и обусловлено необходимостью постоянной его подачи на часы реального времени.

В микроконтроллере записана программа управления всеми модулями и протоколы для работы по GPRS-каналу GSM-модуля, по радиоканалу NRF-модуля и протокол для обмена информацией с носимыми устройствами (типа планшета или ноутбука) по Bluetooth. Датчики представляют собой как законченные модули, так и аналоговые устройства (датчик давления с логарифмическим усилителем) и предназначены для измерения и передачи в микроконтроллер значений температуры, влажности и давления (вес сот).

GSM-модуль предназначен для передачи данных в облачную систему «Пчелодом», используя сотовую связь и протокол GPRS (как наименее требовательный к уровню сигнала). При этом используется внутренняя антенна, однако при необходимости к моду-

лю можно подключать внешнюю направленную антенну с усилением в зависимости от местности и расположения улья.

NRF-модуль предназначен для организации оперативного канала связи между ульями при установке в них модуля мониторинга. В этом случае один из модулей становится главным, а остальные подчиненными, в которых GSM-модули можно не устанавливать. Главный модуль собирает данные от подчиненных модулей и передает их по заданному временному интервалу через GSM-модуль в облачную систему. Главный модуль по радиоканалу NRF-модуля (или в случае, если модуль мониторинга установлен в единственном числе на пасеке) может передавать данные на рядом расположенные (до 1 км) пункты обслуживания пасеки с установленным персональным компьютером, содержащим внешний модуль радиосвязи. В этом случае сбор данных осуществляется в локальную базу данных. Антенна модуля в зависимости от задачи может быть как встроенная, так и внешняя.

Bluetooth-модуль предназначен для связи модулей мониторинга с носимыми внешними устройствами при наладке и тестировании на местности, а также при визуальном обходе пасеки.

RTC-модуль предназначен для организации и передачи по цифровому интерфейсу в микроконтроллер часов реального времени.

Архитектура модуля мониторинга (и взаимодействие всех компонентов) построена для решения следующих задач:

оперативного и долговременного контроля основных физических параметров улья и вокруг него;

обеспечения среднего времени работы от одного комплекта внутреннего источника питания (батареек) до 6 месяцев;

передачи информации в облачную систему через определенные интервалы времени;

активации модуля мониторинга через внешней модуль, находящийся в дежурном режиме (режим наименьшего потребления).

Конструктивно модуль мониторинга выполнен на единой несущей печатной плате, на которой расположены все компоненты и узлы устройства (рис. 2).

Опытный образец выполнен в герметичном прямоугольном корпусе с гермовводами для внешних антенн, датчиков, внешнего питания и предназначен для расположения внутри улья, при этом полностью защищен от воздействия пчел и других внешних факторов (рис. 3).

Программное обеспечение системы сбора данных пасеки. В основу программного обеспечения положены разработанные алгоритмы по приему, передаче информации и анализу данных [5, 6]. Программное обеспечение модуля мониторинга разработано для решения следующих задач:

возможности использования на удаленных пасеках;

пребывания устройства основную часть времени в режиме глубокого сна;

передачи информации в удаленное хранилище по GSM-каналу;

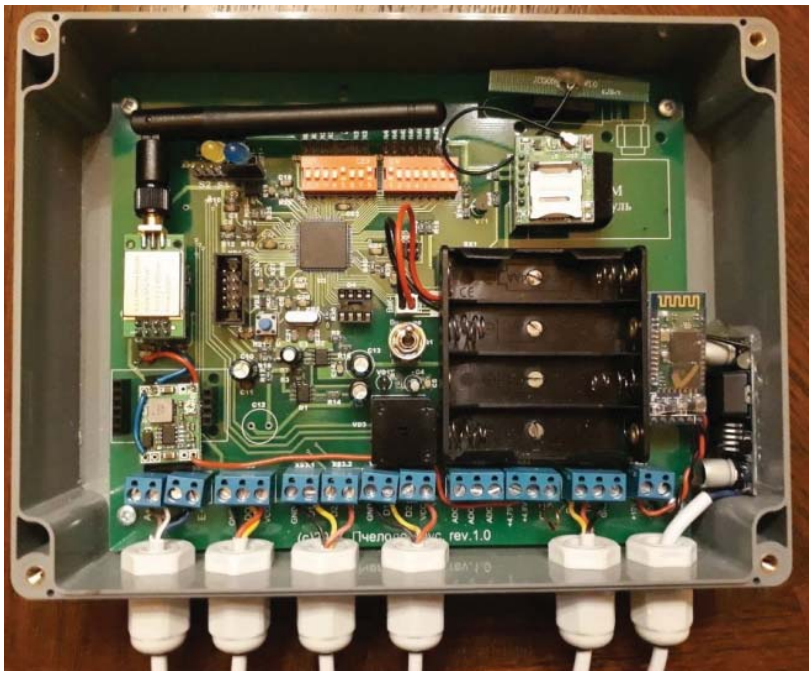

Рис. 2. Конструкция модуля мониторинга улья

Рис. 3. Опытный образец модуля мониторинга

обеспечения измерительных процедур для измерения параметров веса, температуры и влажности;

возможности управления в непосредственной близости от модуля мониторинга (~10 м) и считывания информации с переносного устройства.

В качестве интегральной среды разработки выбран пакет Atmel Studio 7.0, предназначенный для создания программного обеспечения на языке C/C++ и ассемблере, а также позволяющий осуществлять отладку программы прямо на целевой платформе. Atmel Studio 7.0 построен на основе профессионального инструмента Microsoft Visual Studio [8].

Для выгрузки данных и постобработки использовали облако ThingSpeak [9]. Особенность сервиса заключается в простой интеграции с устройствами при помощи текстовых Web-запросов с возможностью автоматической постобработки при помощи функций пакета Matlab. Данные, представленные в удобной графической форме, автоматически доступны для просмотра в Web-браузере. Для небольшого количества запросов (менее 3 млн в год) сервис бесплатен.

Система мониторинга работает следующим образом. Одно устройство является *ведущим*, которое задает точное время и расписание измерений для всех устройств в системе. Ведомые устройства периодически синхронизируются с *ведущим* и подстраивают свои локальные часы под *ведущее* устройство, которое получает текущее время из сети GSM. Обмен данными происходит при помощи RF-модулей nRF, которые работают на частоте 2,5 ГГц и обеспечивают устойчивую связь на расстоянии около 50–100 м в условиях смешанного леса. Питание устройств осуществляется от батарей. Большую часть времени все устройства находятся в состоянии глубокого сна. По расписанию они просыпаются, осуществляют измерения и сбрасывают *ведущему* устройству накопленные данные. Все данные хранятся в энергонезависимой памяти устройств, что обеспечивает их сохранность в случае разряда батареи.

Пример обмена информацией приведен на рис. 4. В логе можно увидеть, как *мастер* (облачная система) запрашивает и получает пакеты данных от *ведомых* устройств по радиоканалу. После этого устройства «засыпают».

Ведущее устройство оборудовано GSM-модулем и хранит в своей памяти API-ключи ThingSpeak для каждого устройства. В процессе работы программа мониторинга выгружает данные в облако ThingSpeak через интернет-соединение по GSM-каналу. ThingSpeak регистрирует поступающие данные для каждого устройства в отдельности и проставляет временные метки в момент поступления данных в облако. Для каждого устройства доступно максимум 8 каналов данных. Кроме работы с облаком ThingSpeak система может отсылать данные в виде SMS-сообщений на заранее определенный номер.

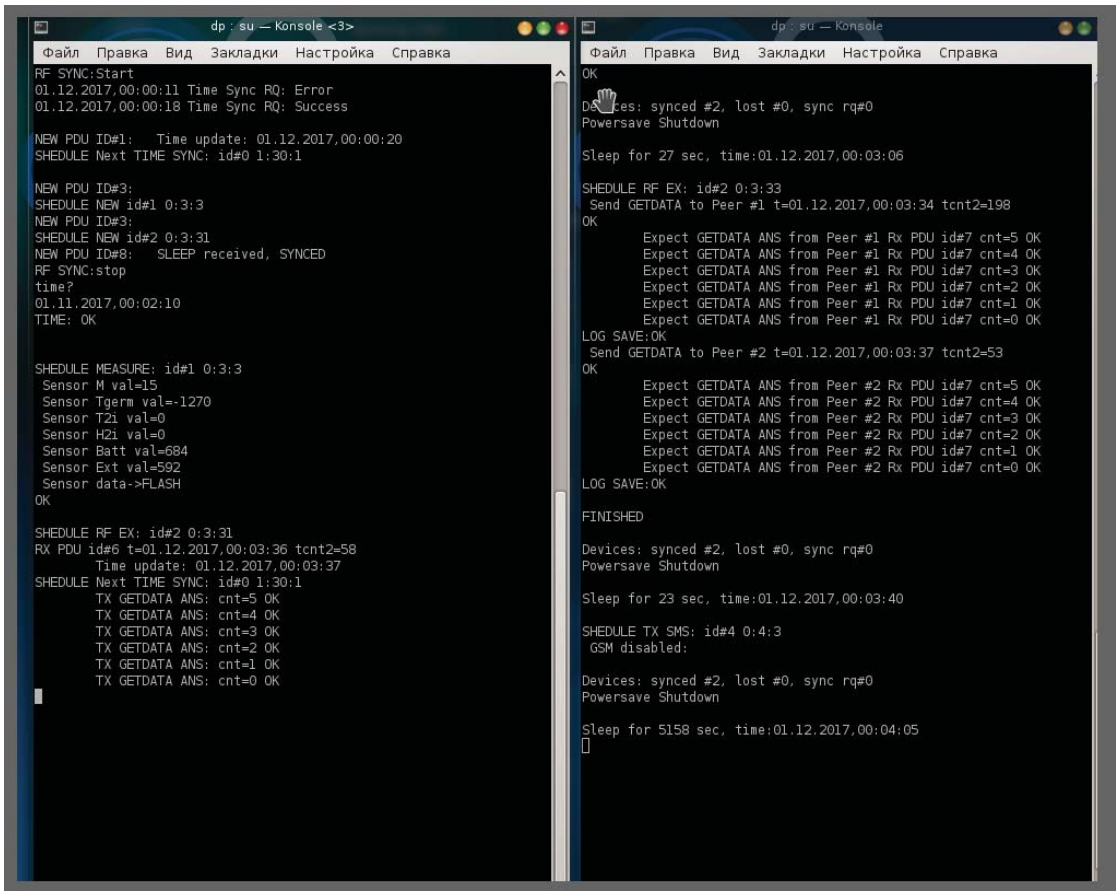

Рис. 4. Лог работы ведущего и ведомого устройств

Опытная апробация. Система «Пчелодом» была установлена на пасеке, на границе Московской и Владимирской областей (рис. 5).

Установка системы включает в себя закрепление на улье системы мониторинга, подключение датчиков и монтаж ведомого устройства в рядом расположенном помещении. На рис. 6 приведен опытный монтаж (в раскрытом виде), на рис. 7 показаны графики показаний с датчиков температуры, влажности и давления.

Для просмотра информации создан сайт http://пчелодом.рус, на котором можно увидеть получаемые данные в реальном времени. Полученные

Рис. 5. Координаты установки опытного образца на пасеке

Рис. 6. ***Подключения модуля мониторинга к улью (в раскрытом виде)***

Рис. 7. Мониторинг в системе «Пчелодом»

данные от системы мониторинга сохраняются в облаке и в дальнейшем могут подвергаться постобработке, что позволяет прогнозировать поведение пчелиной семьи.

Таким образом, основные результаты проведенных исследований сводятся к следующему:

предложена концепция мониторинга пчелиных ульев, сочетающая локальную систему контроля параметров ульев с

беспроводной системой сбора данных по радиоканалу с применением облачных технологий;

разработаны схемотехнические решения, позволившие с учетом удаленности объектов контроля минимизировать энергопотребление и эксплуатационные затраты;

реализована возможность удаленного наблюдения и изучения поведения пчел в зависимости от изменения температуры, влажности и веса улья (запасенного меда).

Предложенные конструктивно-технологические решения при реализации проекта «Умный пчелодом» могут быть использованы и на других объектах сельскохозяйственной отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние влажности воздуха на жизнь пчелиной семьи. – Режим доступа: http://bee-home.ru/influence-of-humidity-on-bee-family.html (дата обращения 20.08.2018).

2. *Григорьян Л.Р., Коваленко М.С., Григорьян А.Л.* Методы измерения параметров сигналов с разнесенных в пространстве объектов // Вестник молодежной науки России. – 2019. – № 2. – Режим доступа: https://docs.wixstatic.com/ugd/96814c_7688e80bfc5145818c4b7662df64df95.pdf .

3. *Еськов Е.К.* Этолого-физиологические приспособления пчел к зимовке // Успехи современной биологии. – 2003. – Т. 123. – № 4. – С. 383–390.

4. *Мишин И.Н.* Информационные технологии в пчеловодстве // Пчеловодство. – 2008. – № 4. – С. 5–6.

5. Прецизионный регистратор сигналов / Л.Р. Григорьян [и др.] // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014615060. Зарегистрировано: 15.05.2014 г.

6. Программа многофункционального обмена информацией / Л.Р. Григорьян [и др.] // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011616339. Зарегистрировано: 12.08.2011 г.

7. *Солкин С.* Компьютерные технологии в пчеловодстве. – Режим доступа: http://abeeplast.narod.ru/computer/version1.html (дата обращения 10.01.2019).

8. Atmel Studio 7 // Microchip Technology. – URL: https://www.microchip.com/mplab/avr-support/atmel-studio-7 (дата обращения 25.02.2019).

9. IoT Analytics-ThingSpeak Internet of Things. – URL: https://thingspeak.com (дата обращения 13.12.2017).

Григорьян Леонтий Рустемович, *канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Физика и информационные системы», Кубанский государственный университет. Россия.*

Коваленко Максим Сергеевич, *канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Физика и информационные системы», Кубанский государственный университет. Россия.*

Григорьян Анастасия Леонтиевна, *студентка, Кубанский государственный университет. Россия.*

350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149.

Тел.: (861) 219-95-02.

Парошин Дмитрий Юрьевич, *ведущий инженер, ООО «ИНТЕГРИТ». Россия.*

141002, г. Мытищи Московской обл., ул. Колпакова, 2.

Тел.: (861) 219-95-02.

Ключевые слова: *пасека; пчелиный улей; системы сбора данных; схемотехника; датчики; системы связи; мониторинг.*

INTELLECTUAL BEEHIVES MONITORING SYSTEM

Grigoryan Leonty Rustemovich, *Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the chair "Physics and Information Systems", Kuban State University. Russia.*

Kovalenko Maxim Sergeevich, *Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the chair "Physics and Information Systems", Kuban State University. Russia.*

Grigoryan Anastasia Leontyevna, *Student, Kuban State University. Russia*

Paroshin Dmitry Yuryevich, *General Engineer, OOO "NTEGRIT". Russia*

Keywords: *apiary; beehive; data acquisition systems; circuitry; sensors; communication systems; monitoring.*

A system for remote monitoring of the parameters of bee hives is considered. The problem of remote monitoring at long distances, taking into account the changing weather factors, is very relevant. Among the variety of hardware for keeping bees, there is currently no unified monitoring system. The studies carried out allowed us to determine the optimal circuitry and software components of the construction of a monitoring system. The result of the development of a system with a local hive monitoring system and a remote data collection system using cloud technologies is presented in this work.