

УДК 638.15-07:681.518.5

<https://doi.org/10.31016/978-5-6055300-5-3.2026.27.289-293>

БЕСПРОВОДНАЯ СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ ПЧЕЛИНОГО УЛЬЯ КАК ИНСТРУМЕНТ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ ПАРАЗИТАРНЫХ БОЛЕЗНЕЙ ПЧЁЛ

Левченко А. М. ¹,

студент,

aleksey-levchenko-3@mail.ru

Левченко М. А. ²,

кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник

лаборатории ветеринарных проблем в животноводстве,

levchenko-m-a@mail.ru

Аннотация

Представлена оригинальная беспроводная автономная энергоэффективная система электронных устройств для дистанционного многопараметрического мониторинга физических параметров среды жизнедеятельности пчелиных семей как инструмент ранней диагностики паразитарных болезней, в первую очередь варроатоза (*Varroa destructor*) и нозематоза (*Nosema* spp.). Система осуществляет непрерывный сбор данных: температуры и влажности (внутри и снаружи улья), концентрации CO₂ (внутри и снаружи улья); акустических параметров (частоты и громкости звука); массы улья и атмосферного давления. Передача данных между ульями – базовым узлом (Master Hive) и дочерними узлами (Slave Hive) – осуществляется с использованием технологии sub-1 GHz (радиомодуль на чипе CC1101). Связь между базовым узлом и приёмником (Receiver) реализуется через LoRa-радиоканал: дальность передачи достигает 8 км без привлечения сотовых сетей (GSM/GPRS) и без абонентской платы. Достигнуто время автономной работы до 330 дней для базового узла и до 300 дней для дочерних узлов. Апробация проведена в полевых условиях при дальности передачи 4 км. Отклонения регистрируемых параметров от физиологической нормы рассматриваются как косвенные маркеры разви-

¹ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский государственный университет» (625003, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 6)

² Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной энтомологии и арахнологии – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук (625041, Россия, г. Тюмень, ул. Институтская, д. 2)

тия паразитарных инвазий, что позволяет пчеловоду своевременно принять меры по борьбе с болезнями.

Ключевые слова: дистанционный мониторинг, пчелиные семьи, паразитарные болезни, *Varroa destructor*, LoRa

WIRELESS REMOTE MONITORING SYSTEM FOR PHYSICAL PARAMETERS OF THE BEE HIVE ENVIRONMENT AS A TOOL FOR EARLY DIAGNOSIS OF PARASITIC DISEASES OF HONEY BEES

Levchenko A. M. ¹,

Student,

aleksey-levchenko-3@mail.ru

Levchenko M. A. ²,

Candidate of Veterinary Sciences, Leading Researcher

of the Laboratory of Veterinary Problems in Animal Husbandry,

levchenko-m-a@mail.ru

Abstract

An original wireless autonomous energy-efficient system of electronic devices for remote multi-parameter monitoring of the physical parameters of the honey bee colony environment is presented as a tool for early diagnosis of parasitic diseases, primarily varroatosis (*Varroa destructor*) and nosematosis (*Nosema* spp.). The system continuously collects data on temperature and humidity (inside and outside the hive), CO₂ concentration (inside and outside the hive), acoustic parameters (sound frequency and level), hive weight, and atmospheric pressure. Data transmission between hives – the base node (Master Hive) and daughter nodes (Slave Hive) – is carried out using sub-1 GHz technology (CC1101 chip radio module). Communication between the base node and the receiver (Receiver) is implemented via a LoRa radio channel: the transmission range reaches 8 km without involving cellular networks (GSM/GPRS) and without a subscription fee. An autonomous operation time of up to 330 days for the base node and up to 300 days for the daughter nodes has been achieved. Testing was conducted in field conditions at a transmission

¹ Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Tyumen State University" (6, Volodarskogo st., Tyumen, 625003, Russia)

² All-Russian Scientific Research Institute of Veterinary Entomology and Arachnology – Branch of the Federal State Budgetary Institution of Science "Federal Research Center of the Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences" (2, Institutskaya st., Tyumen, 625041, Russia)

range of 4 km. Deviations of the recorded parameters from the physiological norm are considered as indirect markers of the development of parasitic infestations, enabling beekeepers to take timely measures to control diseases.

Keywords: remote monitoring, honey bee colonies, parasitic diseases, *Varroa destructor*, LoRa

Введение. В последние десятилетия в Европе отмечаются значительные потери семей медоносных пчёл (*Apis mellifera* L.), достигающие 32% зимой [4]. Среди основных причин – варроатоз (*Varroa destructor*) и нозематоз (*Nosema* spp.). *V. destructor* питается жировым телом пчёл, ослабляет иммунитет и способствует распространению вирусов, в частности вируса деформации крыла (англ. Deformed Wing Virus, DWV) [5], а совместное действие *Varroa* и *Nosema* приводит к повышенной смертности семей [4].

Своевременное выявление отклонений в состоянии пчелиных семей является ключевым фактором борьбы с паразитарными болезнями. Традиционный метод ручной инспекции ульев трудоёмок, субъективен и особенно затруднён при удалённом размещении пасек. В настоящее время в мировой практике разрабатываются системы дистанционного мониторинга, фиксирующие температуру, влажность, массу, акустические параметры и газовый состав [2]. Повышение CO₂ может указывать на варроатоз, изменения температуры и звука – на стресс [1]. Однако большинство систем имеют низкую энергоэффективность и используют сотовую связь (GSM/GPRS) для передачи данных, что ограничивает применение в удалённых районах. Кроме того, поскольку эти системы считывают только 3-5 различных физических параметров, они могут не позволить своевременно выявить проблемы на пасеке.

Цель работы – разработка беспроводной автономной энергоэффективной бесплатной в использовании (без абонентской платы за сотовую связь) системы дистанционного мониторинга физических параметров среды пчелиного улья, пригодной для ранней косвенной диагностики паразитарных инвазий в условиях удалённых пасек.

Материалы и методы. Система имеет трёхуровневую архитектуру. Дочерние узлы (Slave Hive) оснащены датчиками: температуры и влажности (АНТ10, -40...+85 °С, ±0,3 °С; 0...100%, ±2%), CO₂ (МН-Z16, 0-50000 ppm, ±1%), звука (МАХ4466, 250-2000 Гц, 34-100 дБ) и четырьмя тензодатчиками (до 200 кг, точность: 0,1%, АЦП – НХ711). Управление осуществляется микроконтроллером АТmega2560.

Базовый узел (Master Hive) дополнительно содержит внешний датчик CO₂ (MH-V1512A, 0-10000 ppm, \pm (50 ppm + 5% от считанного значения)), внешний АНТ10 и датчик давления (BME280, 300-1100 гПа, \pm 1,4 гПа). Master Hive раз в час собирает данные от Slave Hives по каналу sub-1 GHz (CC1101, 433 МГц, до 800 м) и передаёт по LoRa (E32-433T30D-V8, 433 МГц, до 8 км) на Receiver (приемник). Данные шифруются (AES128), целостность пакета проверяется с помощью алгоритма CRC16.

Энергоэффективность обеспечена в основном MOSFET-коммутацией неиспользуемых компонентов, режимом глубокого сна ATmega2560, применением режима Wake-on-Radio радиомодуля CC1101 и малопотребляющим стабилизатором напряжения.

Результаты исследований. Master Hive и пять Slave Hive были установлены на пасеке, Receiver — в 4 км от нее. Данные успешно принимались и автоматически сохранялись в Excel-файл (с помощью разработанного приложения для ПК). Время автономной работы Master Hive (Li-Pol 40А·ч) — около 330 дней (среднее потребление 4,45 мА; 97% времени — 30 мкА), Slave Hive (Li-Pol 10А·ч) — около 300 дней (1,25 мА; 98% времени — 23 мкА).

В сравнении с мировыми аналогами разработанная система обладает рядом преимуществ. Исследование Bratek и Dziurdzia (2021) по GSM-весам для ульев показало время работы лишь 60–220 дней в зависимости от качества сотовой связи [2]. Как отмечается в обзоре про электронные системы в пчеловодстве, многие автономные решения используют солнечные панели в качестве источника питания [3]. Можно предположить, что эффективность таких систем снижается в регионах с продолжительной зимой и ограниченной инсоляцией, что требует дополнительного учёта климатических факторов при развёртывании мониторинга. Кроме того, использование солнечных панелей влечет за собой удорожание системы. Предложенное нами решение не нуждается ни в сотовой связи, ни в солнечных панелях, обеспечивает семь различных измеряемых параметров, передачу данных без абонентской платы и длительную автономную работу, что особенно актуально для мониторинга паразитарной обстановки на удалённых пасеках.

Заключение. Разработана и апробирована беспроводная автономная система мониторинга семи различных параметров среды жизнедеятельности пчелиных семей. Отклонения этих параметров от нормы служат косвенными маркерами варроатоза, нозематоза и других за-

болеванний пчел. Время работы системы достигает 300 дней, при этом абонентская плата отсутствует. Себестоимость системы (Master Hive – 230\$, Slave Hive – 90\$, Receiver – 60\$) делает данное решение перспективным для пчеловодства и ветеринарно-паразитологического мониторинга.

Благодарность: Авторы выражают благодарность лаборатории болезней пчёл (ВНИИВЭА-филиал ТюмНЦ СО РАН) и лично Т. Ф. Домацкой и А. Н. Домацкому за предоставление пчелиной пасеки для апробации данной системы.

Список источников / References

1. 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; 108(5): 2153-2167.
2. Bratek P., Dziurdzia P. Energy-efficient wireless weight sensor for remote beehive monitoring. *Sensors*. 2021; 21(18): 6032.
3. Hadjur H., Ammar D., Lefevre L. Toward an intelligent and efficient beehive: A survey of precision beekeeping systems and services. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022. 192: 1-16.
4. Jacques A., Laurent M., EPILOBEE Consortium, Ribière-Chabert M., Saussac M., Bougeard S., Budge G. E., Hendrikx P., Chauzat M. P. A pan-European epidemiological study reveals honey bee colony survival depends on beekeeper education and disease control. *PLoS one*. 2017; 12(3): e0172591.
5. Roth M. A., Wilson J. M., Tignor K. R., Gross A. D. Biology and management of *Varroa destructor* (Mesostigmata: Varroidae) in *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) colonies. *Journal of Integrated Pest Management*. 2020; 11(1): 1-8.