

УДК 681.2

*DOI:* <http://doi.org/10.20535/2219-3804212019197606>

**М. В. Добролюбова**<sup>1</sup>, *доцент, к.т.н.*, **М. В. Філіпова**<sup>2</sup>, *доцент, к.т.н.*,  
**І. О. Нерозна**<sup>3</sup>, *бакалавр*

#### **АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ**

**En**

Today, the development of the beekeeping industry is growing rapid. This is due not only to the increase in demand for beekeeping products, but above all to the acuteneed for a qualitative harvesting of cultivated plants. Bees pollination of plants increases the productivity of crops by 50-60 %. As a result, the creation of self-pollinating hybrid plants and the need to use pesticides disappear.

The development and productivity of the bees depend directly on the microclimate parameters inside the hive such as temperature, humidity, carbon dioxide level in the hive, environmental noise, proper nutrition, presence of water around the hive etc. Now all these parameters are controlled by the bees

---

<sup>1</sup> КПІ ім. Ігоря Сікорського

<sup>2</sup> КПІ ім. Ігоря Сікорського

<sup>3</sup> КПІ ім. Ігоря Сікорського

themselves and partly by humans. The melliferous capacity and self-reproduction are reduced. For example, in winter, the temperature in the middle of the nest should be at least 25 - 28 °C, in summer, 33 - 34 °C. In other cases a bee spends a lot of energy for microclimate parameters. This will affect its exhaustion, future performance and the quality of broods. The beekeeper helps to maintain the necessary conditions for the microclimate, but it creates a three day stress for the wards. Microclimate parameters are obtained by digital thermometers and hygrometers selectively. As a result, the beekeeper does not have accurate data on the general condition of bees throughout the apiary. Thus, the development of automated control system of microclimate parameters is especially true.

The developed system measures such parameters as humidity, temperature and carbon dioxide level and structures all the data by each hive. The system provides the transmission of data to a personal computer by Internet via MQTT protocol. The hardware includes modern low-cost sensors, microcontroller, radio element (all with a negligible margin of error) which allow ensuring a cost-efficiency impact from the system implementation together with high accuracy. Another strong advantage of the subsystem is a GPRS signal that can transmit data at long distances.

The software is based on the use of the most common and effective method of statistical control i.e. the Shewhart control charts. This allows you to control and adjust the necessary parameters inside the hive more effectively and helps to create comfortable conditions.

**Ru**

Предоставлены основные результаты, полученные при разработке, изготовлении и экспериментальном исследовании автоматизированной системы регулирования параметров микроклимата пчелиного улья. Разработанная система позволяет объединить регулирование параметров деятельности пчелиной семьи с диагностикой ее жизненного цикла, способствует качественному, естественному опылению культурных растений, повышает рентабельность продукции и экономическую эффективность, предотвращает роение пчелиной семьи, увеличивает ее производительность и самовоспроизводство, уменьшает трудовые затраты пчеловода.

## Вступ

Бджолиний промисел, станом на теперішній час, практикується у всіх населених частинах світу у більшій мірі, ніж будь-яка інша галузь сільського господарства. Від нього залежить успіх деяких секторів рослинництва, оскільки 80 % всіх видів рослин запилюються комахами, із них 90 % – медоносними бджолами, він вирішує питання продовольчої безпеки та сприяє збереженню здоров'я людства.

Україну у світі визнають не лише як батьківщину культурного бджільництва. За даними Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН, наша країна із 2008 року займає перше місце з виробництва меду серед країн Європи і входить до п'ятірки світових лідерів (Китай, Аргентина, Україна, Індія, Мексика). Усього людей, які займаються бджолиним промислом, півтора відсотка населення країни [1 - 3].

Отже, бджільництво можна вважати однією із найвідоміших галузей сільського господарства та важливою складовою економіки – експортним потенціалом аграрного сектора України. Розвиток бджолиного промислу зумовлений не лише зростанням попиту на мед та віск. Виробництво додаткових продуктів бджільництва – прополісу, маточного молочка, квіткового пилку, трутневого гомогенату, підмору – є важливим економічним показником галузі. Але головне, що ми отримуємо від бджіл, це якісне запилення сільськогосподарських культур – природне опилення рослин бджолою збільшує врожайність сільськогосподарських культур на 50 - 60 % та усуває необхідність застосування пестицидів і створення гібридних рослин здатних до самозапилення [4].

Розвиток і продуктивність бджіл безпосередньо залежить від умов проживання всередині вулика. В осінньо-зимовий період оптимальна температура всередині гнізда повинна становити не менше 25 - 28 °C, а у весняно-літній – 33 - 34 °C [5]. В свою чергу, нормальними показниками вологості повітря в середині вулика є 40 - 60 %. Основні причини збільшення вологості повітря до показників 80 - 100 % – це випаровування нектару та води на стінках вулику під час його охолодження самими бджолами [6]. Хоча бджоли і пристосовані до життя у широкому діапазоні змін зовнішньої температури, але оптимальні умови в життєво важливих зонах гнізда необхідні для секреції воску, будівництва стільників, забезпечення зростання і розвитку бджолиних особин у процесі онтогенезу. Стабілізація терморегіму досягається за допомогою використання засобів активної регуляції внутрігніздового мікроклімату, що призводить до збільшення зношення, зменшення якості розплоду та працездатності окремої бджоли, і, як наслідок, негативно впливає на продуктивність всієї сім'ї по медозбору вцілому [7].

У багатьох галузях сучасного сільського господарства достатньо широко застосовуються автоматизовані комплекси і системи, які дозволяють значно знизити трудові витрати та собівартість продукції. Але у бджільництві це вкрай рідкісне явище. Бджоляр зазвичай у ручному режимі за допомогою цифрових термометрів і гігromетрів проводить контроль параметрів для забезпечення нормальних умов утримання бджолиної сім'ї. На великих бджолиних пасіках за відсутності автоматизації вимірювання проводиться вибірково і для прийняття ефективного рішення бджоляр керується виключно власною інтуїцією. Таким чином, розробка автоматизованої системи регулювання параметрів мікроклімату бджолиного вулика є доволі актуальною.

**Постановка задачі**

Метою даної статті є висвітлення основних результатів, отриманих під час розробки автоматизованої системи регулювання параметрів мікроклімату бджолиного вулика.

**Основний зміст**

Під основними параметрами нормальної життєдіяльності бджоли розуміють такі показники мікроклімату всередині вулика, як температура і вологість.

Проведений огляд існуючих систем моніторингу та керування життєво необхідними параметрами показав їх нездатність контролювати стан у середині вулика дистанційно на невеликих відстанях, оскільки передача даних у них відбувається через кабель, що обмежує пересування пасіки. Тому собівартість однієї установки становить від 1700 до 4730 гривень, що призводить до великих витрат, коли мова йде про пасіку середніх та великих розмірів (50 - 120 вуликів).

Таким чином, розроблена автоматизована система, по-перше, націлена на моніторинг і регулювання двох основних параметрів нормальної життєдіяльності бджоли, а по-друге, реалізована за допомогою сучасної недорогої елементної бази, складові якої мають мінімальну похибку, і, тим самим, забезпечують економічну ефективність від впровадження системи за умови високої точності, та надають можливість передавати дані на великі відстані [8 - 10].

У сезон медозбору вулики розміщуються по периметру поля або саду на відстані 3 – 5 м один від одного. Доцільно збирати інформацію із кожного вулику на один головний, який у свою чергу, одночасно передає загальний стан усіх на сервер через *GPRS*-сигнал (рис. 1). Дані з сервера користувач отримує запитом у потрібний час.

Система складається із апаратної та програмної частин.

Апаратна реалізація системи забезпечується автономною частиною та ретранслятором.

Структурна схема автономної частини системи зображена на рис. 2.

Для вимірювання температури та вологості використовується цифровий датчик підвищеної точності *DHT 22* типу *AM2303*, який складається із двох датчиків у одному корпусі [11]. Застосування технології чутливості до температури і вологості та спеціальної технології опитування цифрових модулів дає впевненість у його високій надійності і довготривалій стабільності. За допомогою вбудованого аналого-цифрового перетворювача (АЦП) аналогове значення напруги мікроконтролер перетворює у цифрове. Зчитування сигналів про рівень температури та вологості з інформаційної шини відбувається через інтерфейс *SPI (Serial Peripheral Interface)*.

У розробленій системі передбачене визначення рівня вуглекислого газу, який накопичується на дні вулика. Для цього використовується модуль датчика якості повітря MQ135, вихідний сигнал якого організовано на TTL логіці, що приймається обраним мікроконтролером [12].

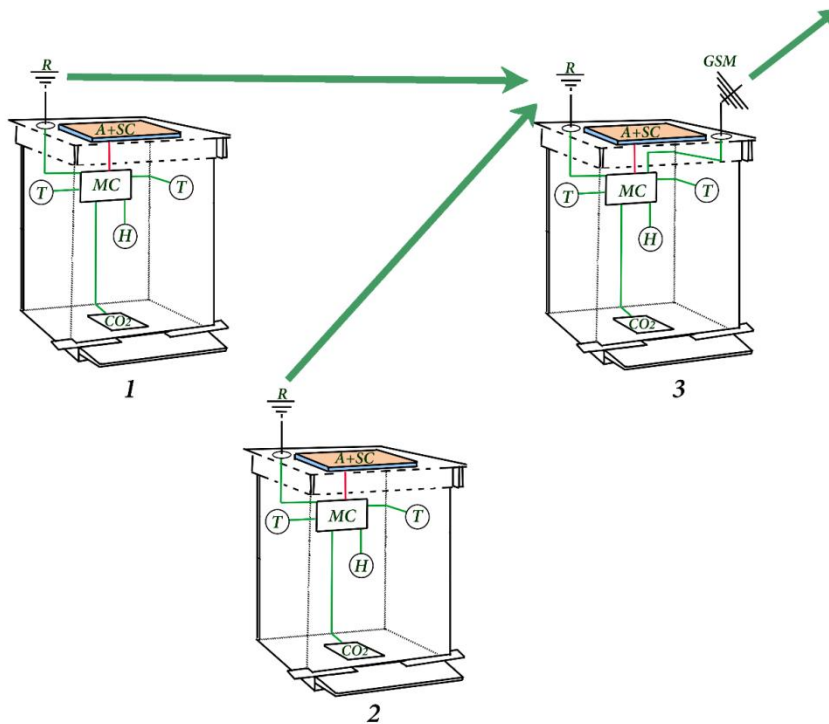


Рис. 1. Структурна схема локальної мережі вуликів

MC – мікроконтролер; T – датчик температури; H – датчик вологості; CO<sub>2</sub> – датчик вуглекислого газу (повітря); R - радіопередавач; GSM – GSM модуль

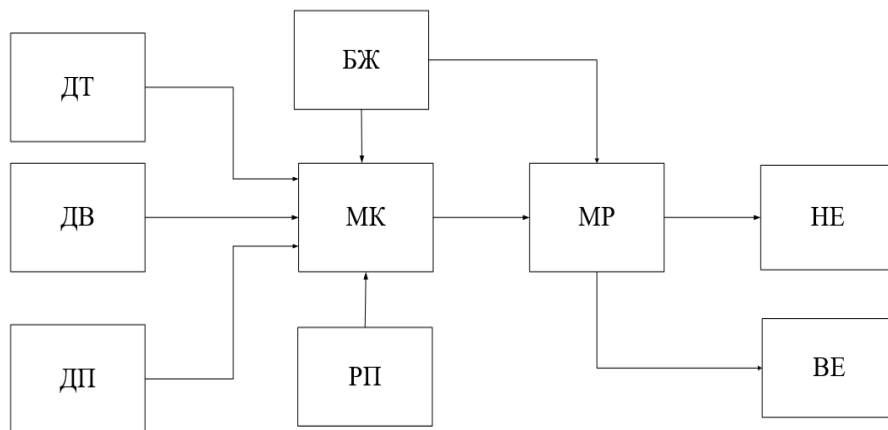


Рис. 2. Структурна схема автономної частини системи:

ДТ – датчик температури; ДВ – датчик вологості;  
 ДП - датчик повітря; МК – мікроконтролер;  
 РП - радіопередавач; МР - модуль реле; НЕ - нагрівальний елемент; ВЕ – вентиляційний елемент; БЖ – блок живлення

Обробка та управління даними реалізовані за допомогою плати *Arduino Uno R3* на базі мікроконтролера *ATmega 328p* компанії *Atmel* [13]. Головними перевагами плати є відтворюваність, дешевизна та доступність, а також кроссплатформеність мікроконтролера. Мікроконтролер отримує від цифрового датчика значення температури та вологості у вигляді 12-ти бітного числа, приведенного до значення у  $^{\circ}\text{C}$  та % відповідно.

Кожне вимірне значення проходить «програмну класифікацію», що є підставою для включення чи виключення пристроїв регулювання мікроклімату. Між мікроконтролером та елементами контролю встановлено електромеханічний модуль реле на основі модуля *SRD-05MBC-SL-C* із одним перекидним контактом [14].

У якості нагрівального елемента використовується металокерамічний електронагрівач ТК «Пасіка» на 10 Вт [15]. Час його розігріву становить не менше 10 хвилин. Максимальна температура нагріву  $+50^{\circ}\text{C}$ . В одній автономній системі може бути від 1 до 3 нагрівальних елементів. Оскільки у якості блока живлення використовується акумулятор було доцільно застосовувати паралельний спосіб підключення, попередньо розрахувавши вживану потужність. За результатами проведених розрахунків із номінального ряду обраний акумулятор з ємністю 45 А/год.

Для охолодження та збагачення киснем повітря усередині бджолиного вулика використовується вентилятор *Jamicon AC* із типом вентилятора фірми *Jamicon* серії *JF-OA08B5H* [16]. Під час живлення з робочою напругою 5 В частота обертів може досягати 15000 на хвилину. Вентилятор встановлюється біля льотки вулика.

Функціональне призначення частини ретранслятора – передача та консолідація отриманих даних на персональному комп'ютері або смартфоні.

Структурна схема ретранслятора системи зображена на рис. 3.

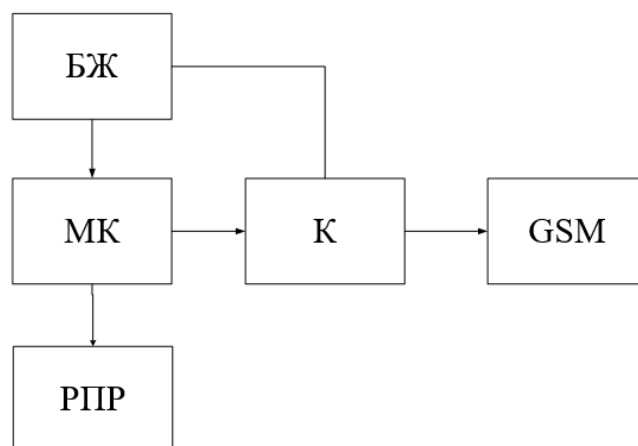


Рис. 3. Структурна схема ретранслятора системи: РПР - радіоприймач; МК – мікроконтролер; БЖ – блок живлення; К – понижуючий конвертор; GSM – GSM модуль

Після зчитування мікроконтролером вимірювальних значень на автономному пристрої, параметри мікроклімату та порядковий номер вулика формуються у так званий пакет, що передається по радіоканалу на частоті 433 МГц. Дальність зв'язку у разі заданої частоти у відкритому просторі сягає 150 м. Виміряні показники мікроклімату передаються на пристрій-ретранслятор кожні 10 хвилин.

Радіоприймач на головному вулику (ретрансляторі) приймає виміряні данні та передає їх на мікроконтролер через інтерфейс *SPI*.

Радіоподовжувач компанії *Electrow* живиться напряму від блока живлення, напруга якого становить 12 В, що забезпечує більшу потужність передачі [17].

Після опитування кожного вулика та отримання інформації через радіоподовжувач дані консолідується у флеш пам'яті *Arduino Uno*, що становить 32 Кб. Кожен інформаційний пакет сягає 12 байт в об'ємі пам'яті.

Після п'ятої ітерації данні з мікроконтролера передаються на сервер через *GSM* модуль на основі компонента *SIM800L* із чіпом *Mediatek ARM MT6261* сигналом *GPRS*, що здійснює пакетну передачу даних через мобільний зв'язок [18]. За *GSM/GPRS*-зв'язок відповідає чотирьох діапазонний (*GPRS850/900/1800/1900* МГц) приймач *RF7198*.

Для живлення та підтримки модуля необхідний діапазон живлення становить від 3,4 до 4,5 В. Це нестандартна напруга для *Arduino Uno R3*, тому для необхідного рівня сигналу організоване живлення від зовнішнього блоку із застосуванням понижуючого конвертора *DC-DC 3A* на основі мікросхеми *MP1584* [19].

Взаємодія *GSM*-модуля та мікроконтролера *Arduino Uno* здійснюється через *UART* інтерфейс за допомогою спеціальних *AT*-команд. *GSM*-модуль має вбудований *TSP* протокол, поверх якого працює протокол *MQTT* на прикладному рівні. Цей протокол забезпечує три рівні якості доставки інформації та відсутність дублювання. Дані зберігаються на віртуальному сервері, який розроблений саме для цього протоколу, через вікно браузера можна візуально оцінити величину отриманих значень.

На рис. 4 зображена апаратна реалізація автономної частини автоматизованої системи регулювання параметрів мікроклімату бджолиного вулика.

На рис. 5 зображена апаратна реалізація ретранслятора автоматизованої системи регулювання параметрів мікроклімату бджолиного вулика.

Програмна реалізація системи забезпечується модулями підтримки:

- вимірювання температури, вологості та рівня вуглекислого газу;
- процесу формування спеціальних пакетів з даними, отриманими через *GPRS*-сигнал, їх відправки і зберігання на віртуальному сервері за допомогою протоколу *MQTT* [20];
- автоматичного регулювання параметрів мікроклімату.

## Розділ 1. Інформаційні системи

Програмне забезпечення (ПЗ) системи розроблене у середовищі *Arduino IDE* за допомогою одного із різновидів мов програмування *C++*.

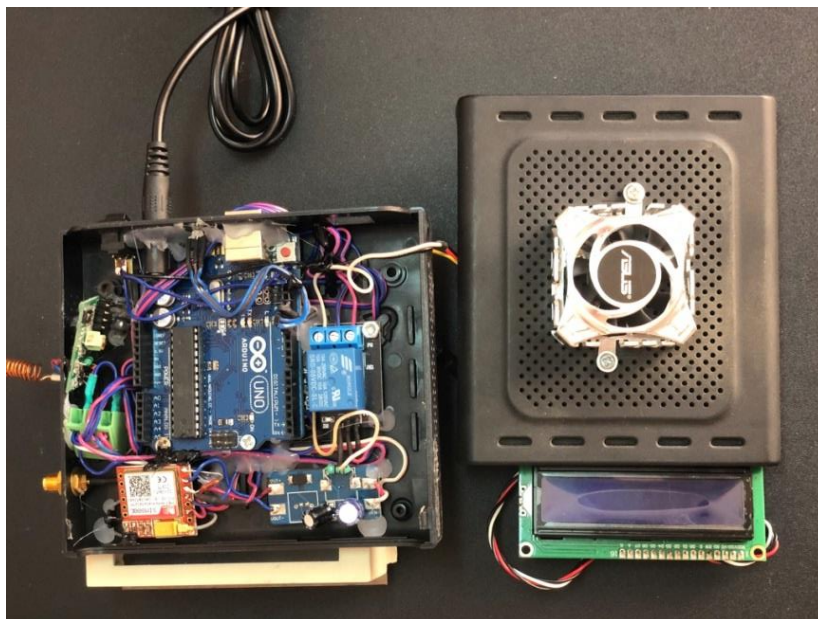


Рис. 4. Апаратна реалізація автономної частини автоматизованої системи

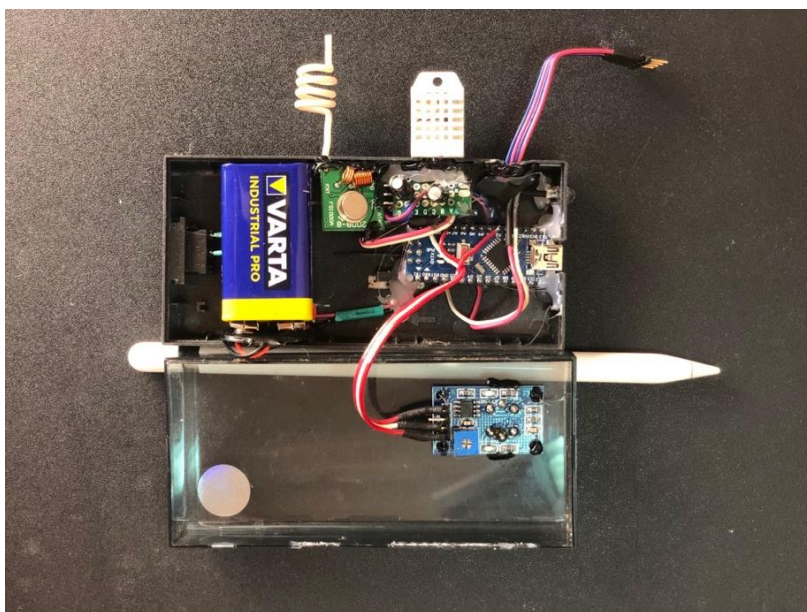


Рис. 5. Апаратна реалізація ретранслятора автоматизованої системи

Тому використані додаткові готові бібліотеки: *STDHT* – для зчитування даних з датчика *DHT22*, *EasyTransferVirtualWire* – для передачі даних через радіомодуль.

Візуалізація усіх отриманих даних відбувається на смартфоні *Android* за допомогою додатку *IoT MQTT Dashboard* [\*]. Цей додаток представляє собою *MQTT*-клієнт із невеликою кількістю готових та зручних віджетів. Загальний вигляд інтерфейсу користувача програми для автома-



тизованої системи регулювання параметрів мікроклімату бджолиного вулика представлений на рис. 6.

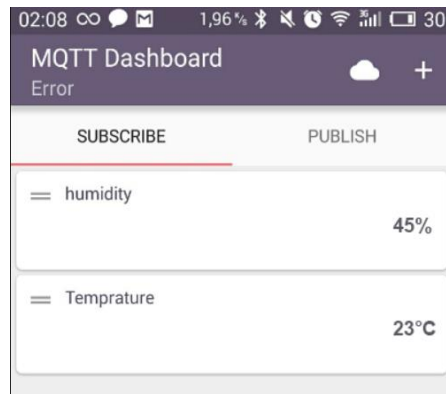


Рис. 6. Загальний вигляд інтерфейсу користувача програми

Особливістю розробленого ПЗ для регулювання параметрів мікроклімату є той факт, що у разі виникнення невідповідності показників температури або вологості відносно номінальних значень автоматично вмикається нагрівач або вентиляційна система, а користувач інформується *push*-повідомленням на смартфоні. Таким чином забезпечується створення бази даних із результатами моніторингу параметрів мікроклімату. У основу ПЗ покладено використання найбільш поширеного та ефективного методу статистичного контролю – контрольних карт Шухарта [21]. Це дозволяє більш ефективно контролювати та регулювати необхідні параметри всередині вулика і сприяє створенню комфортних умов.

Продемонструємо переваги такого підходу у разі виникнення відхилення показників вологості всередині вулика від номінального значення 40-60 % та необхідності залучення їх автоматичного регулювання.

Виміри значень вологості проводились протягом трьох літніх днів кожні 10 хвилин. Було отримано 430 значень, що розбиті на 10 вибірок із інтервалом 2 %. Після вимірювання фактичних показників вологості виявлено, що усі дані належать діапазону від 56,32 % (мінімум) до 92,18 % (максимум). Результати фактичних вимірів вологості представлені у табл. 1.

Таблиця 1.

Результат фактичних вимірів вологості повітря

Номер інтервалу	Мінімальне значення діапазону, %	Максимальне значення діапазону, %	Середнина інтервалу, $T_{cp}$	Частота попадання в інтервал, $m$
1	56	59	57,5	5
2	59	61	60,0	32
3	61	63	62,0	12
4	63	66	64,5	9

## Розділ 1. Інформаційні системи

Номер інтервалу	Мінімальне значення діапазону, %	Максимальне значення діапазону, %	Середнина інтервалу, $T_{cp}$	Частота попадання в інтервал, $m$
5	66	69	67,5	45
6	69	72	70,5	76
7	72	75	73,5	94
8	75	78	76,5	88
9	78	81	79,5	37
10	81	84	82,5	17
11	84	87	85,5	7
12	87	90	88,5	8

На рис. 7 представлена контрольна карта Шухарта до оптимізації системи.

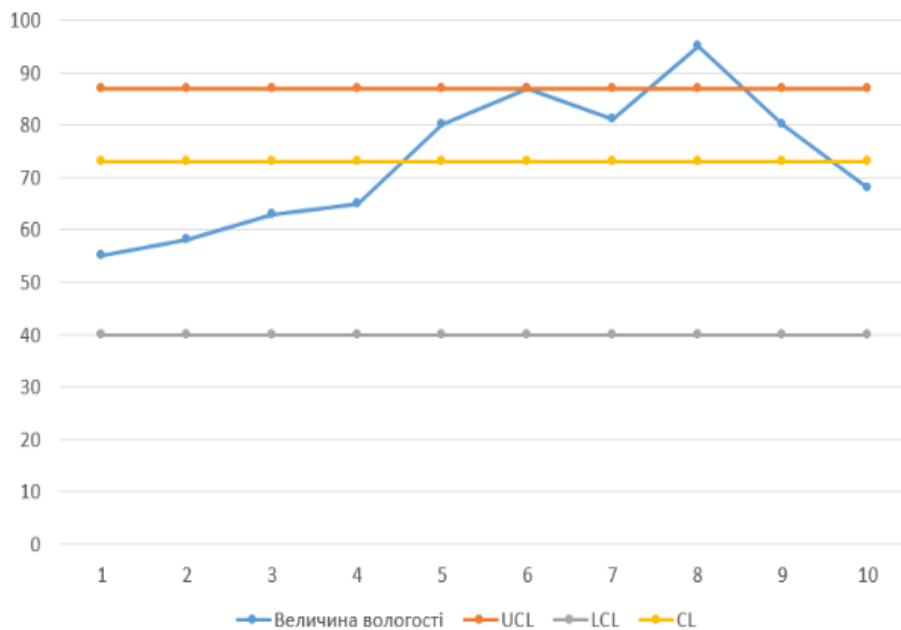


Рис. 7. Контрольна карта Шухарта до оптимізації системи

Проведені розрахунки показали, що сумарна похибка невчасного автоматичного включення нагрівача або вентиляційної системи становить 24,73 %, що сприяло впровадженню у ПЗ системи додаткового програмного алгоритму для розрахунку ковзного середнього, заміни датчика вимірювання на більш точний та його переміщення на рівень однієї третьої висоти вулика.

На рис. 8 представлена контрольна карта Шухарта після оптимізації системи.

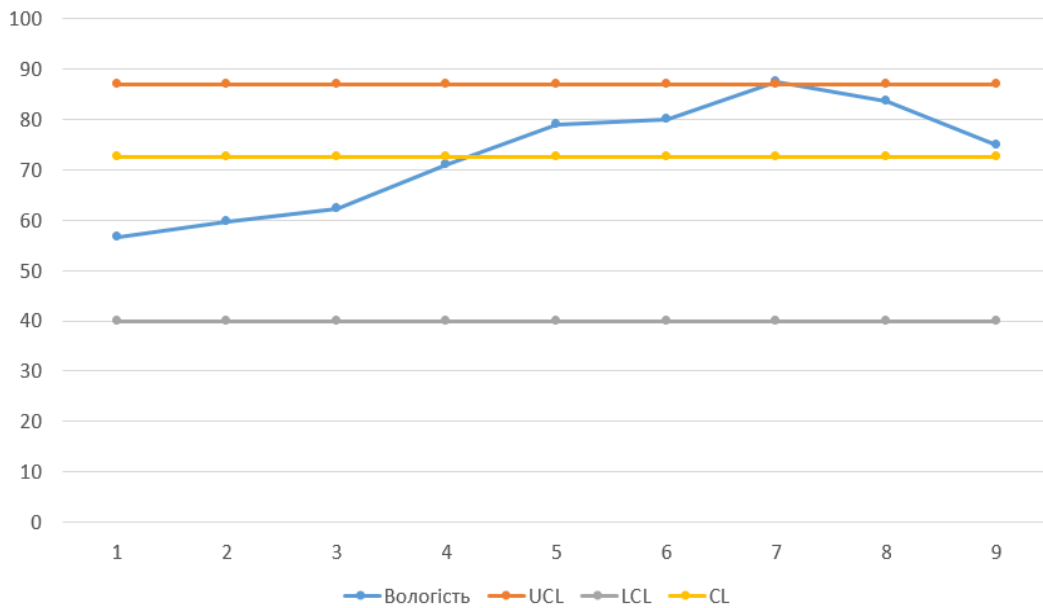


Рис. 8. Контрольна карта Шухарта після оптимізації системи

Після вдосконалення програмної та апаратної частин системи похибка невчасного автоматичного включення нагрівача або вентиляційної системи зменшилась на 16,51 %.

## Висновки

Надані основні результати, отриманні під час розробки, виготовлення та експериментального дослідженні автоматизованої системи регулювання параметрів мікроклімату бджолиного вулика.

Розроблена система дозволяє об'єднати регулювання параметрів діяльності бджолиної сім'ї із діагностикою її життєвого циклу, що сприяє якісному природному опиленню культурних рослин, підвищує рентабельність продукції та економічну ефективність, запобігає роїнню бджолиної сім'ї, збільшує її продуктивність та самовідтворення, зменшує трудові затрати бджоляра.

Подальший розвиток системи передбачає введення до її структури підсистеми, орієнтованої на контроль ваги вулика, вдосконалення інтерфейсу користувача та виготовлення промислового зразка.

## Список використаної літератури

1. Value-added products from beekeeping [Електронний ресурс] // Food and Agriculture Organization of the United Nations – Режим доступу: <http://www.fao.org/3/w0076e/w0076e00.htm> – Дата доступу: 14.01.20 – Value-added products from beekeeping.

2. Бджільництво України: стан, проблеми, шляхи розв'язання [Електронний ресурс] // Національна академія аграрних наук України – Режим доступу: <http://naas.gov.ua/slide/bdzh-lnitstvo-ukra-ni-stan-problemi-shlyakhi-rozv-yazannya/> – Дата доступу: 14.01.20 – Бджільництво України: стан, проблеми, шляхи розв'язання.
3. Бджоли — померти не можна вижити [Електронний ресурс] // Grow-How.in.ua – Режим доступу: <https://www.growhow.in.ua/bdzholyromerty-ne-mozhna-vyzhyty/> – Дата доступу: 14.01.20 – Бджоли — померти не можна вижити.
4. Використання бджолиних сімей для запилення ентомофільних сільськогосподарських культур [Електронний ресурс] // StudFiles – Режим доступу: <http://www.studfiles.ru/preview/5853221/> – Дата доступу: 14.01.20 – Використання бджолиних сімей для запилення ентомофільних сільськогосподарських культур.
5. Основи пчеловодства [Електронний ресурс] // ВикиЧтение – Режим доступу: <https://garden.wikireading.ru/5427> – Дата доступу: 14.01.20 – Основи пчеловодства.
6. Управление роением пчел [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://beefarm.ru/blog/pages/michael-bush/swarm-control.html> – Дата доступу: 22.01.20.
7. М.В. Кравченко Розвиток економічної ефективності бджільництва в ринкових умовах // Економіка. Управління. Інновації. – 2014. – Випуск № 2 (12). – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/eui\\_2014\\_2\\_34](http://nbuv.gov.ua/UJRN/eui_2014_2_34) – Дата доступу: 22.01.20.
8. Підсистема моніторингу параметрів мікроклімату бджолиного вулика / І.О. Нерозна, М.В. Добролюбова // Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених у царині метрології «Technical Using of Measurement – 2018»: збірник тез доповідей учасників (ел.), 13-18 лютого 2018 р., м. Славське, 2018. – С. 26-27.
9. Забезпечення статистичного контролю стабільності моніторингу та управління мікрокліматом в середині бджолиного вулика / І.О. Нерозна // XIV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень в приладобудуванні», 04-05 грудня 2018 р., 2018. – С. 409-412.
10. Контроль якості вимірювання вологості всередині бджолиного вулика / І.О. Нерозна, М.В. Добролюбова // П'ята Міжнародна наукова конференція «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2019)», м. Вінниця, 29 – 31 жовтня 2019 р. – С. 37-38.
11. Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named as AM2302) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://arduino.ua/docs/DHT22.pdf> – Дата доступу: 20.01.2019 – Module DHT22.

12. Модуль якості повітря MQ-135 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://arduino.ua/prod1201-modyl-datchika-kachestva-vozdyha-mq135> – Дата доступу: 20.01.2019 – Модуль якості повітря MQ-135.
13. Arduino Uno [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://wiki.amperka.ru/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%8B:arduino-uno> – Дата доступу: 20.01.2019 – Arduino Uno.
14. Модуль реле PLC-RSC- 24UC / 21 2966184 Phoenix Contact [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://electrocontact.com.ua/ua/modul-rele-plc-rsc-24uc-21-2966184-phoenix-contact/> – Дата доступу: 20.01.2019 – Модуль реле PLC-RSC-24UC / 21 2966184 Phoenix Contact.
15. Металокерамічний електронагрівач [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://medonos.com/art00861.html> – Дата доступу: 22.01.2019 – Металокерамічний електронагрівач.
16. Вентилятори для охолодження електронної апаратури фірми JAMICON [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://www.radioradar.net/hand\\_book/documentation/ventil.html](http://www.radioradar.net/hand_book/documentation/ventil.html) – Дата доступу: 22.01.2019 – Вентилятори для охолодження електронної апаратури фірми JAMICON.
17. Радіоподовжувач 433 МГц [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://arduino.ua/prod247-Radioydlinitel\\_433Mgc](https://arduino.ua/prod247-Radioydlinitel_433Mgc) – Дата доступу: 22.01.2019 – Радіоподовжувач 433 МГц.
18. Datasheet GSM GPRS SIM800L // – URL: <http://category.alldatasheetru.com/index.jsp?sSearchword=GSM/GPRS%20SIM800L.html> – Дата доступу: 22.01.2019 – Datasheet GSM GPRS SIM800L.
19. DC-DC понижуючий конвертор 3А [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://arduino.ua/prod605-DC-DC\\_ponijaushhii\\_konverter\\_3A](https://arduino.ua/prod605-DC-DC_ponijaushhii_konverter_3A) – Дата доступу: 22.01.2019 – DC-DC понижуючий конвертор 3А.
20. Что такое MQTT и для чего он нужен в IoT? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ipc2u.ru/articles/prostye-resheniya/chtotakoe-mqtt/> - Дата доступу: 04.04.2019 – Описание протокола MQTT.
21. ДСТУ ISO 8258-2001 Контрольні карти Шухарта (ISO 8258-1991 IDT).