

РОЗДІЛ IV. ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-3\(41\)-364-371](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-3(41)-364-371)

УДК 621.3

**Микола Петрович Кунденко¹, Андрій Юрійович Руденко²,
Віталій Анатолійович Мардзявко³**

¹доктор технічних наук, професор кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Харків, Україна)

E-mail: n.p.kundenko@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5841-4367>

²асистент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки
Миколаївський національний аграрний університет (Миколаїв, Україна)

E-mail: andrey0911r@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5103-6412>

³асистент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки
Миколаївський національний аграрний університет (Миколаїв, Україна)

E-mail: vitalijmardzavko@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7327-9215>

ВИКОРИСТАННЯ КОНТРОЛЬОВАНОГО ТЕРМІЧНОГО ІЧ-ВИПРОМІНЕННЯ ДЛЯ БОРОТЬБИ З ПАЗАРИТАМИ МЕДОНОСНИХ БДЖІЛ

У роботі запропоновано конструкцію термокамери для виконання дезінфекційних заходів у боротьбі з кліщем *Varroa*, яка ґрунтується на використанні інфрачервоного (ІЧ) випромінювання у поєднанні з цифровою системою терморегуляції. В основу конструктивного рішення закладено морфологічні та термочутливі особливості паразита, зокрема вразливість гнатосоми та вентральної частини до підвищеної температури. Запропонована конструкція включає підльотну трубу, інфрачервону лампу та термореле STC-1000, що підтримує стабільну температуру в межах 42-45 °С, безпечну для бджіл, але згубну для паразита. Система є автономною та енергоефективною. Моделювання в середовищі MATLAB/Simulink підтвердило стабільність температурного контролю та ефективність керування нагрівом із урахуванням затримок у роботі реле.

Ключові слова: паразит; термокамера; інфрачервоне випромінювання; кліщ *Varroa*; термореле.

Рис.: 5. Бібл.: 11.

Постановка проблеми. Проблемою, з якою зіштовхнулися пасічники України, та котра потребує нових шляхів рішення, є кліщ *Varroa* (рис. 1). Паразит не лише виснажує бджіл шляхом живлення гемолімфою, а й є переносником низки вірусних захворювань, що призводить до масової загибелі бджолиних сімей.



Рис. 1. Кліщ *Varroa*

У традиційному сенсі боротьби з паразитами бджіл застосовуються хімічні препарати, котрі синтезовані з рослинних компонентів або є хімічним засобом, з одного боку, можуть бути токсичними для самих бджіл, а з іншого – сприяють формуванню резистентності у кліщів, знижуючи ефективність обробок. Отже, є ризик накопичення ферментів препаратів у продуктах бджільництва, що суперечить принципам екологічної безпеки та якості.

Незважаючи на гостроту існуючої проблеми, на сьогодні залишається відкритим для пошуку ефективне технологічне рішення, котре забезпечить неінвазивну та енергоефективну обробку бджіл від кліща *Varroa* без використання хімічних засобів.

Мутуючи та підлаштовуючись до хімічних та біологічних засобів боротьби, кліщ *Varroa* спонукає до пошуку нових або модернізації існуючих методів боротьби зі шкідником, базуючи дослідження не тільки на методології боротьби, а й на селекційних особливостях популяції медоносних бджіл у подальшому.

Аналізуючи [1-4], існуючі методи мають суттєві обмеження, котрі стають основними перепонами, що зменшують відсоткові показники дезінфекції. Однак дослідження морфології та фізіологічної чутливості кліща вказують на його вразливість до підвищених температур, особливо в зоні гнатосоми. Тому є можливість логічно використати слабкість паразиту до термічних коливань та розробити альтернативну модель для дезінфекції, яка буде одночасно ефективною проти *Varroa* та безпечною для медоносних бджіл.

Одним із перспективних напрямів є застосування інфрачервоного (ІЧ) випромінювання з контрольованим температурним режимом, що дозволяє цілеспрямовано впливати на термочутливі ділянки паразита без шкоди для бджоли. Проте для реалізації такого підходу необхідна розробка відповідної апаратної системи з точним регулюванням температури та ефективною схемою управління.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження в системі взаємодії паразита та носія проведено в роботі [1], де автори описують взаємодію, що полягає не тільки в поглинанні гемолімфи, а й наслідковому руйнуванню біоти тіла, що формують імунну, терморегулюючу та протитоксинну дію. Звернення уваги на побічний процес зараження супутніми цьому процесу вірусами. Сам кліщ *Varroa* добре адаптується до нових умов та створює синергію патогенності [1]. Дослідники R. D. Schmid-Hempel та інші окреслюють чіткий зв'язок між доглядом за бджолами, рівнем підготовки бджолярів та втратою бджолиних сімей у процесі боротьби з *Varroa*. Чітка структурована робота з ефективного контролю популяції кліща має чітку залежність від інтеграції технологій, вибору препаратів, дотримання термінів та рівня обробки. У роботі [2] встановлено, що нестача знань, відхилення від технологій та надмірне використання хімічних засобів при обробці збільшують смертність бджолосімей.

Дослідження показали, що *Varroa* вразливі до термічних коливань, тому це стало основою для розробки гіпертермічних пристроїв, які нагрівають бджіл до 42-45 °C, викликаючи загибель паразита без шкоди для носія. У роботах [3] та [4] показано ефективність гіпертермії в обмежених умовах, але водночас показано проблему застосування технологій на рівень промислових пасік. Також у світовій практиці з'являються спроби біотехнологічного підходу до контролю *Varroa*, зокрема через RNA-інтерференцію або селекцію ліній бджіл, чутливих до наявності кліщів (VSH). Однак такі рішення мають довгострокову перспективу і не вирішують нагальної потреби у технологічних засобах локальної обробки.

Аналіз наукових публікацій засвідчує високу зацікавленість у фізичних методах боротьби з *Varroa destructor*, однак на сьогодні відсутні конкретні результати.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Попри велику кількість досліджень, присвячених вивченню біології кліща *Varroa* та розробці методів боротьби з ним, низка ключових аспектів залишається недостатньо розкритою. По-перше, наявні фізичні методи знезараження стикаються з проблемою адаптованості їх до широкомасштабного впровадження у польових умовах. Відсутні пристрої, що поєднують наступні якості, а саме: компактні, автономні та прості у використанні пристрої, здатні забезпечити безпечну термічну обробку бджіл без необхідності втручання оператора або порушення мікроклімату вулика.

Також недосліджена проблема автоматизованого контролю температурного режиму опромінення для збереження водночас простоти та надійності з високою якістю контролю з урахуванням інерційності нагрівальних елементів та поведінкових особливостей

бджіл. Існуючі дослідження не враховують варіативність температурних умов (як зовнішніх, так і внутрішніх), які можуть суттєво впливати на ефективність термообробки та безпеку для комах.

Метою статті є розробка термічної камери для боротьби з кліщем *Varroa* для літної бджоли за рахунок світлотехнічних елементів та засобів контролю.

Виклад основного матеріалу. При розробці та модифікації установок для боротьби з кліщем *Varroa* для початку потрібно звернути увагу на морфологію паразита. Завдяки різноманіттю біологічних характеристик паразита, питання його ідентифікації тривалий час залишалося у центрі уваги науковців. На основі досліджень науковців, можна визначити основні параметри тіла та особливості тканинних покривів паразита, що є важливими для вдосконалення й розроблення ефективного механізму боротьби з ним. У роботі дослідників [5] виокремлені параметри тіла для особини, такі як 1-1,77 мм у довжину та 1,50-1,99 мм у ширину, при цьому співвідношення довжини до ширини варіює в межах 0,53-0,93 мм. Можна спостерігати деякі особливості паразитів до збільшення своїх параметрів та їх прив'язку до кліматичних зон та географії знаходження пасіки [5-8]. Щодо особливостей покриву та морфології будови тіла, саме тіло складається з двох основних відділів: головогруди або просома, яка містить ротову порожнину та кінцівки, та черевце, або опістому; ця частина знаходиться зазвичай за невидимою візуальною стороною паразита. Якщо розглядати детальніше, то вторинно тіло поділяють на утворену злиттям фрагментів – ідіосому – та гнатосому, яка має певне видовження з боків, на котрій розташовані рухомі педіпальпи та хеліцери.

Поверхневі тканини кліща *Varroa* є достатньо чутливими до зовнішніх факторів, зокрема його гнатосома та ідіосома мають обмежену стійкість до екстремальних температурних коливань. Кліщі мають підвищену чутливість до зростання температури, особливо це стосується показника температури $+42\text{ }^{\circ}\text{C}$ > у тілі паразита спостерігається за таких умов процес денатурації білка, що призводить до руйнації міжклітинних зв'язків та деградацію м'язової тканини. А зростання термічного нагріву за температурний показник $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ > показує, що в паразита термічний шок, котрий веде до загибелі. Найвразливішими є внутрішні структури, що розташовані з вентрального боку (гнатосома), який менш захищений кутикулярним шаром. Це дає змогу використовувати спрямоване теплове опромінення як один із фізичних методів контролю вароатозу, наприклад, у спеціальних термокамерах [9-11].

Установка для виконання стерилізації від кліща *Varroa* має просту структуру та складається з ємності, яка виступає резервуаром для обробки, нагрівального елемента, термореле та джерела живлення (рис. 2).

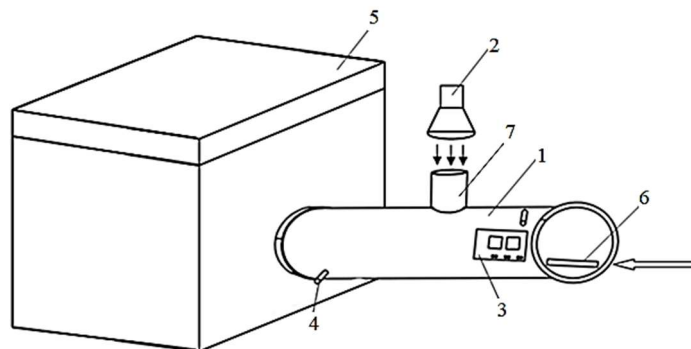


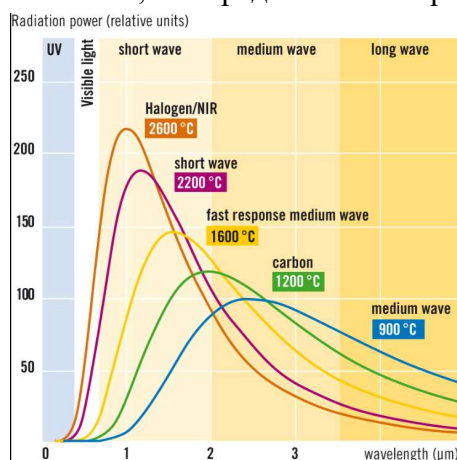
Рис. 2. Конструкція термокамери для стерилізації медоносних бджіл від кліща *Varroa*:
 1 – термокамера; 2 – лампа інфрачервоного випромінювання; 3 – теплове реле;
 4 – термодатчики; 5 – вулик; 6 – льоток (вхід до камери);
 7 – канал дії інфрачервоного випромінювання

Установка призначена для знезараження медоносних бджіл шляхом короткочасного опромінення інфрачервоним (ІЧ) випромінюванням під час їх проходження через вхідну трубу вулика.

Конструктивно установка складається з трьох основних елементів: *термокамера* (1), інфрачервоної лампи (2) та теплового реле (3) з термодатчиками (4). Термокамера герметично з'єднується з вуликом (5) та має льоток для підльоту бджоли (6). Внутрішні стінки термокамери виготовляються з термостійкого матеріалу, а її конструктивно спрямований канал (7) забезпечує примусове проходження бджіл крізь зону впливу інфрачервоного випромінювання. У верхній частині труби розміщується інфрачервона лампа потужністю 100...150 Вт, яка випромінює інфрачервоне випромінювання в діапазоні довжин хвиль 0,8...1,4 μm , що є ефективним для термічного впливу на шкідників. В установці за основу прийнято до використання лампу типу 150 W E27 R123, яка представлена на рис. 3, а.



а

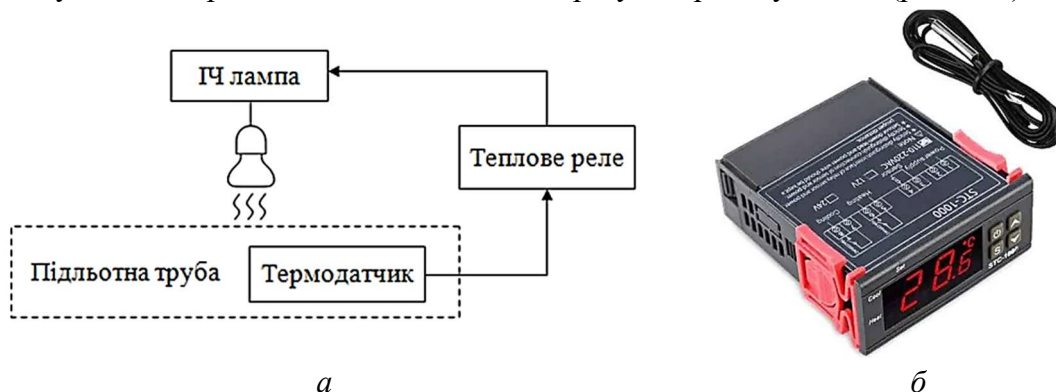


б

Рис. 3. Інфрачервоне джерело випромінювання:
а – лампа типу 150 W E27; б – спектральний розподіл лампи

На рис. 3, б зображено типовий спектральний розподіл лампи 150 W E27 R123 з домінуючою довжиною хвилі в межах 0,8-1,4 μm , причому пікова інтенсивність концентрується біля 1 μm , що знаходиться всередині заявленого діапазону. Такий спектр забезпечує ефективний тепловий вплив при відносно низьких висвітлювальних характеристиках, що важливо для задач термокамер у боротьбі з кліщем Varroa: основний акцент робиться на теплову дію, а не на світлове освітлення.

Температурний режим в зоні опромінення контролюється за допомогою термореле, яке зчитує дані з термодатчика і автоматично регулює роботу лампи (рис. 4, а).



а

б

Рис. 4. Схема установки для термічної обробки:
а – структурна схема; б – терморегулятор типу STC-1000

У конструкції запропоновано використати термореле типу STC-1000, який представлено на рис. 4, б. Терморегулятор типу STC-1000 є основним керуючим елементом системи, його функція полягає у регулюванні роботи інфрачервоної лампи відповідно до температурних показників, що надходять із термодатчика, розміщеного у підльотній трубі.

Терморегулятор зчитує температуру в реальному часі та порівнює її із заданим користувачем діапазоном. У разі зниження температури нижче встановленого порогу пристрій активує нагрівальний елемент – інфрачервону лампу, а при досягненні верхнього ліміту температури – вимикає її. Отже, така функціональна особливість забезпечує простоту алгоритму дій, дозволяє точно підтримувати критичну температуру, що є згубною для паразита, але безпечною для самих бджіл.

Робочий температурний діапазон підтримується на рівні 42-45 °С – достатній для дезінфекції, але безпечний для самих бджіл. Система є автономною, що забезпечує стабільну роботу без втручання оператора [11].

Перевагами установки є: безконтактність обробки, відсутність хімічного навантаження на бджолину сім'ю, енергоефективність за рахунок короткотривалої роботи лампи, а також висока точність регулювання температури. Вона підходить як для індивідуальних пасік, так і для промислового використання за умови попереднього тестування.

Для підвищення ефективності рекомендовано використовувати теплоізоляцію труби, відбивачі для фокусування випромінювання, а також системи контролю руху бджіл з метою уникнення перегріву в разі скупчення. Установка має значний потенціал для впровадження в сучасну апітерапію та біобезпечне утримання пасік. Для реалізації установки запропонована функціональна схема (рис. 5).

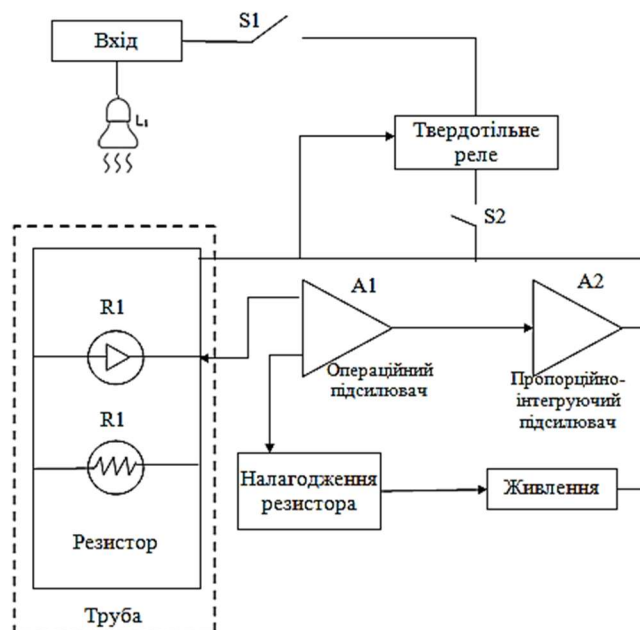


Рис. 5. Функціональна схема для термічної обробки

На функціональній схемі термодатчик умовно представлений у секції труби під позначенням R1 – це терморезистор, який змінює опір залежно від температури. Саме він:

- Вимірює температуру всередині підльотної труби.
- Передає сигнал до операційного підсилювача A1, який посилює слабкий аналоговий сигнал.
- Далі сигнал обробляється пропорційно-інтегруючим підсилювачем A2, щоб забезпечити плавне керування твердотілим реле та лампою L1.

Для аналізу та якості керування самої установки проведено моделювання стійкості системи в програмному середовищі MATLAB/Simulink для перевірки реалізації нагріву камери ІЧ променями з керуванням через терморегулятор. В моделюванні використано певні обмеження, які є раціональними та допустимими: $T_{\min} < 43^{\circ}\text{C}$ та $T_{\max} > 45^{\circ}\text{C}$, час затримки реле $t_{\text{зат}} = 3\text{с}$. Побудовані результати моделювання представлено на рис. 6.

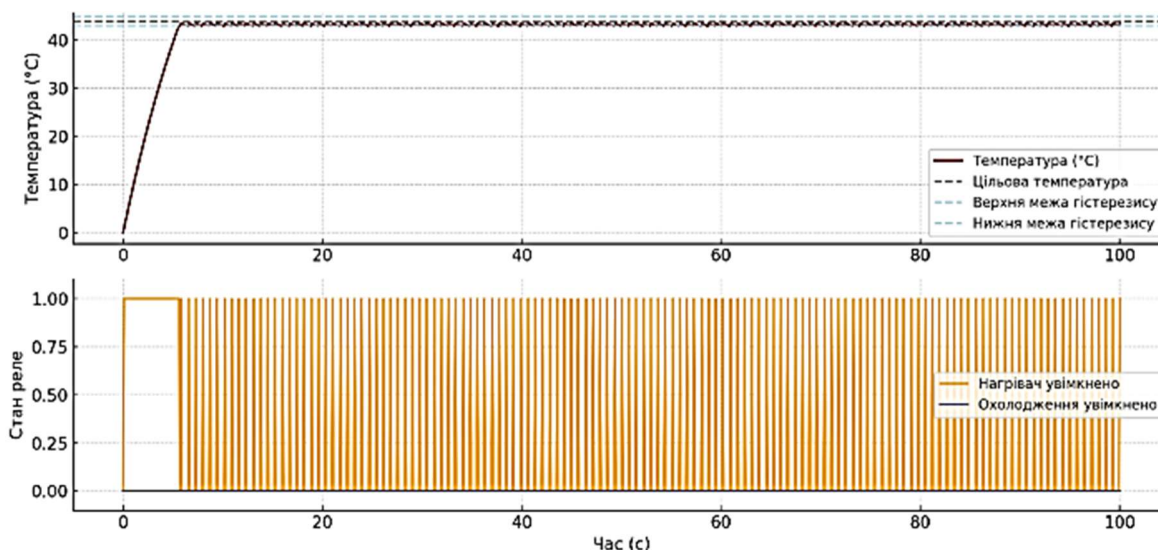


Рис. 6. Перехідний процес температурного контролю (STC-1000)

На графіку зображено перехідний процес роботи системи терморегуляції, що отримало реалізацію шляхом застосування терморегулятора STC-1000 з двома реле. Температурний контроль здійснено за введеними та обумовленими вище обмеженнями. Регулювання нагріву виконується шляхом вмикання та вимикання джерела ІЧ. Такий принцип дозволить підтримувати температуру в заданих межах з урахуванням інерційності об'єкта.

Графік демонструє стабільну роботу системи. З нього видно плавний набір температури в об'ємі камери. Робота реле продемонстрована з певною затримкою для реалізації робочих характеристик реального пристрою. Це забезпечує ефективне керування температурою, зокрема при обробці кліщів *Varroa*, де важливо точно підтримувати задану температуру без різких коливань.

Висновки. Виконані дослідження дозволили розробити конструкцію установки для термічного знезараження медоносних бджіл від кліща *Varroa destructor*, що базується на використанні інфрачервоного випромінювання з контрольованим температурним режимом. Запропонована система включає інфрачервону лампу типу 150 W E27, термодатчик NTC 10kΩ та цифровий терморегулятор STC-1000, який забезпечує стабільну підтримку температури в межах 42...45 °С – безпечної для бджіл і згубної для паразита. Проведене комп'ютерне моделювання у середовищі MATLAB/Simulink показало, що система здатна забезпечити плавний перехідний процес нагріву з мінімальними коливаннями та похибкою регулювання не більше $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Було підтверджено, що пікова довжина хвилі випромінювання лампи в межах 1,0 μm ефективно впливає на термочутливі зони кліща, зокрема гнатосому, що обумовлює високий ступінь знезараження без хімічного втручання. Система є енергоефективною, автономною та технологічно простою, що дозволяє адаптувати її як для індивідуальних пасік, так і для промислового використання. Враховуючи результати моделювання, а також простоту реалізації і надійність, запропонована термокамера може стати перспективною альтернативою традиційним хімічним методам боротьби з вароатозом у сучасному бджільництві.

Заява про використання генеративного ШІ та технологій на основі ШІ в процесі написання тексту статті

Під час написання цього матеріалу автор(и) використовував(ли) [https://chatgpt.com] – [Для зменшення об'єму тексту проаналізованих досліджень за тематикою публікації та систематизації і узагальнення результатів моделювання перехідного процесу]. Після використання цього інструменту/сервісу автор(и) переглянув(ли) та відредагува(ли) зміст за потреби і взяв(ли) на себе повну відповідальність за зміст публікації.

Список використаних джерел

1. Traynor, K. S. (2020). Varroa destructor: A complex parasite, crippling honey bees worldwide. *Trends in Parasitology*, 36(7), 592-606. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2020.04.004>.
2. Thoms, C. A. (2018). Beekeeper stewardship, colony loss, and Varroa destructor management. *Ambio*, 48(10), 1209-1218. <https://doi.org/10.1007/s13280-018-1130>.
3. Porporato, M., Cabirio, C., Melillo, M., & Bassignana, E. (2020). Varroa control by means of a hyperthermic device. *Applied Sciences*, 12(16), 8043-8051. <https://doi.org/10.3390/app12168043>.
4. Aldea-Sánchez, P., Dvořáková, K., Staroň, M., Tychler, M., & Pérez, J. (2021). Heat tolerance, energetics, and thermal treatments of honeybees parasitized with Varroa. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.656504>.
5. Назаренко, О. С. (2020). *Варооз медоносних бджіл* (Публікація № 16.00.11) [Неопубл. дис. канд. вет. наук].
6. Mossadegh, M. S. (1990). Development of Euvarroa sinhai, a parasitic mite of Apis florea, on A. mellifera worker brood. *Experimental & Applied Acarology*, 9(2), 73-78. <https://doi.org/10.1007/bf01198984>.
7. Lekprayoon, C., & Tangkanasing, P. (1991). Euvarroa wongsirii, a new species of bee mite from Thailand. *International Journal of Acarology*, 17(4), 255-258. <https://doi.org/10.1080/01647959108683915>.
8. Akimov I, I., & Kiryushyn V, V. (2010). Ethological aspects of honeybee apis mellifera (Hymenoptera, Apidae), adaptation to parasitic mite Varroa destructor (Mesostigmata, Varroidae) invasion. *Vestnik Zoologii*, 44(1), 32-37. <https://doi.org/10.2478/v10058-010-0004>.
9. Lagendijk, J. W. (2000). Hyperthermia Treatment Planning. *Physics in Medicine and Biology*, 45(5), 61-76. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/45/5/201>.
10. Soroker, V., Kovacic, M., & Hatjina, F. (2021). The coloss varroa task force: Combating the mite in the 21st century. *Bee World*, 99(1), 14-16. <https://doi.org/10.1080/0005772x.2021.1981678>.
11. Williams, S. M. (2022). A comparison of machine-learning assisted optical and thermal camera systems for beehive activity counting. *Smart Agricultural Technology*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100038>.

References

1. Traynor, K. S. (2020). Varroa destructor: A complex parasite, crippling honey bees worldwide. *Trends in Parasitology*, 36(7), 592-606. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2020.04.004>.
2. Thoms, C. A. (2018). Beekeeper stewardship, colony loss, and Varroa destructor management. *Ambio*, 48(10), 1209-1218. <https://doi.org/10.1007/s13280-018-1130>.
3. Porporato, M., Cabirio, C., Melillo, M., & Bassignana, E. (2020). Varroa control by means of a hyperthermic device. *Applied Sciences*, 12(16), 8043-8051. <https://doi.org/10.3390/app12168043>.
4. Aldea-Sánchez, P., Dvořáková, K., Staroň, M., Tychler, M., & Pérez, J. (2021). Heat tolerance, energetics, and thermal treatments of honeybees parasitized with Varroa. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.656504>.
5. Nazarenko, O. S. (2020). *Varoos medonosnykh bdzhl* [Varroa of honey bees] (*Publikatsiia № 16.00.11 – Publication No. 16.00.11*) [Neopubl. dys. kand. vet. Nauk - Unpublished dissertation of a candidate of veterinary sciences].
6. Mossadegh, M. S. (1990). Development of Euvarroa sinhai, a parasitic mite of Apis florea, on A. mellifera worker brood. *Experimental & Applied Acarology*, 9(2), 73-78. <https://doi.org/10.1007/bf01198984>.
7. Lekprayoon, C., & Tangkanasing, P. (1991). Euvarroa wongsirii, a new species of bee mite from Thailand. *International Journal of Acarology*, 17(4), 255-258. <https://doi.org/10.1080/01647959108683915>.

8. Akimov I, I., & Kiryushyn V, V. (2010). Ethological aspects of honeybee *apis mellifera* (Hymenoptera, Apidae), adaptation to parasitic mite *Varroa destructor* (Mesostigmata, Varroidae) invasion. *Vestnik Zoologii*, 44(1), 32-37. <https://doi.org/10.2478/v10058-010-0004>.
9. Lagendijk, J. W. (2000). Hyperthermia Treatment Planning. *Physics in Medicine and Biology*, 45(5), 61-76. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/45/5/201>.
10. Soroker, V., Kovacic, M., & Hatjina, F. (2021). The coloss varroa task force: Combating the mite in the 21st century. *Bee World*, 99(1), 14-16. <https://doi.org/10.1080/0005772x.2021.1981678>.
11. Williams, S. M. (2022). A comparison of machine-learning assisted optical and thermal camera systems for beehive activity counting. *Smart Agricultural Technology*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100038>.

Отримано 08.08.2025

UDC 621.3

Mykola Kundenko¹, Andrii Rudenko², Vitalii Mardziavko³

¹Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Heat Engineering and Energy Efficient Technologies
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» (Kharkiv, Ukraine)
E-mail: n.p.kundenko@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5841-4367>

²Assistant Professor, Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics
Mykolaiv National Agrarian University (Mykolaiv, Ukraine)
E-mail: andrey0911r@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5103-6412>

³Assistant Professor, Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics
Mykolaiv National Agrarian University (Mykolaiv, Ukraine)
E-mail: vitalijmardzavko@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7327-9215>

USING CONTROLLED THERMAL IR RADIATION TO COMBAT HONEY BEE PARASITES

The article discusses the development and research of a hardware complex for combating the *Varroa destructor* mite in honey bees by using controlled thermal infrared (IR) radiation. The basis of the design solution is the morphological vulnerability of the parasite, in particular the gnathosomes and the ventral part of the body, to elevated temperatures in the range of 42-45 °C, which is safe for bees but detrimental to the mite.

The proposed installation is a thermal treatment module integrated into the hive's approach pipe, equipped with an IR lamp of type 150 W E27 R123 and a digital temperature controller STC-1000 in combination with a NTC 10 kΩ temperature sensor. The system operates in automatic mode, maintaining the set temperature by adjusting the operation of the heating element depending on the sensor data. The design provides for the directional action of IR radiation in the wavelength range of 0.8-1.4 μm, with a peak of about 1 μm, which is optimal for point thermal effects on the parasite with minimal light load.

To verify the operability and stability of the temperature regime, mathematical modeling was performed in the MATLAB/Simulink environment. The results showed a smooth transient heating process with a control error of no more than ± 0.5 °C and the absence of sharp temperature fluctuations, which confirms the suitability of the technology for safe processing of bees.

The advantages of the developed system are environmental safety (absence of chemicals), autonomy of operation, energy efficiency due to short-term activation of heating, as well as simplicity of design and the possibility of integration into existing hives without significant modifications. The proposed approach can be an effective alternative to traditional chemical methods of combating varroa and has the potential for implementation in both individual apiaries and industrial beekeeping.

Keywords: parasite; thermal camera; infrared radiation; *Varroa* mite; thermal relay.

Fig.: 5. References: 11.