

АВТОМАТИЗОВАНІ ЗАПИЛЮЮЧІ РОБОТИ

Тези присвячено аналізу сучасного стану бджільництва в Україні, де спостерігається високий рівень смертності бджіл та значні втрати галузі через військові дії та вплив негативних факторів навколишнього середовища. Запропоновано концепцію створення роботизованого комплексу для запилення та медозбору, що поєднує сучасні досягнення робототехніки, штучного інтелекту та сенсорних технологій.

Описано конструктивні особливості дронів-запилювачів, їх сенсорні системи, енергетичне забезпечення, а також засоби керування та захисту. Обґрунтовано необхідність мінімізації впливу на природні популяції бджіл та забезпечення екологічної сумісності запропонованої системи. Комплексний підхід до автоматизації бджільництва дозволяє підвищити ефективність галузі при збереженні екосистемного балансу.

Ключові слова: робот-бджола, штучне запилення, екологічна криза, композитні матеріали, точне землеробство, адаптивне керування, альтернативні джерела енергії, кібербезпека, біорозкладні матеріали, смарт-вулик, автоматизація

Для виробництва 1 кг меду бджола має відвідати близько 10 мільйонів квіток та принести 120–150 тисяч нош нектару. Її середня швидкість – до 65 км/год, а з вантажем (¼ маси тіла) – 30 км/год. Для збору меду з квітів, розташованих за 1,5 км від вулика, бджола долає 360–450 тисяч км — відстань, що перевищує довжину екватора. У вулику нектар приймають та переробляють робочі бджоли. У 2024 році в Україні зафіксовано високий рівень смертності бджіл — у середньому 20–25% по країні, що значно перевищує довоєнні показники. Основними причинами цього стали: вплив пестицидів, втрата середовища існування, хвороби, паразитів, зміна клімату та монокультурне землеробство, що обмежує їх доступ до різноманітної їжі. Крім того, загальні втрати галузі бджільництва через війну оцінюються в 30%, а збитки від скорочення бджолосімей становили 31,9 мільйона доларів США станом на кінець 2024 року [1].

Створення повного роботизованого комплексу для запилення та медозбору включає формування високотехнологічної системи, яка об'єднує сучасну робототехніку, штучний інтелект та точне машинобудування.

Корпус має бути оптимізованим і складатися з композитних матеріалів, які забезпечують міцність, також корпус має мати аеродинамічну конфігурацію. Роботи-запилювачі мають модульні кріплення для роторних систем або імітацій крил, тоді як для модулів збору передбачені герметичні відсіки, захищені від проникнення меду та воску. Рухова платформа для авіаційних модулів використовує безщіткові двигуни з адаптивним керуванням обертами, що забезпечує стабільність польоту навіть за складних метеоумов. Наземні збиральні системи оснащуються гібридним шасі з активними підвісками, здатними компенсувати нерівності поверхні вуликів (рис. 1).

Набір датчиків включає мультиспектральні камери, 3D-лідари орієнтування в просторі, інфрачервоні сканери для перевірки теплових станів, лазерні датчики відстані та унікальні біохімічні сенсори для спостереження за станом рослин і меду. Системи керування медозбірниками засновані на кінематичних планах паралельних роботів, які включають гнучкі приводи. Це дозволяє їм виконувати дуже точні дії щодо сот. До нього входять мікроскальпелі з п'єзоелектричним приводом, вакуумні ежектори з регульованою потужністю всмоктування та невеликі пензлики з антистатичним покриттям. Енергетична система інтегрує літій-титанатні акумулятори з швидким зарядженням, сонячні панелі третього покоління та резервні паливні елементи на основі метанолу. Для стаціонарних вузлів передбачено бездротову передачу енергії за допомогою резонансних технологій [2].

Обчислювальний комплекс побудований на гетерогенній архітектурі, де центральний процесор керує нейроморфними процесорами для обробки сенсорних даних і FPGA-модулями для реалізації детермінованих алгоритмів керування. Для забезпечення довговічної та безвідмовної роботи агророботизованих систем необхідна комплексна система технічного обслуговування, яка включає профілактику, діагностику, ремонт та оновлення. Процес обслуговування організований за принципом проактивного підходу, де регулярні профілактичні процедури комбінуються з оперативним реагуванням на виявлені несправності. Щоденний цикл обслуговування включає очищення оптичних сенсорів та перевірку цілісності корпусу, тоді як щотижневі процедури передбачають більш глибокий огляд механічних вузлів і

калібрування робочих інструментів. Раз на місяць проводиться комплексне обслуговування з заміною фільтрувальних елементів, оновленням програмного забезпечення та перевіркою всіх систем на відповідність технічним нормативам.

Для ефективної координації дронів-запилювачів використовується багаторівнева система управління: центральна станція управління: здійснює планування маршрутів, обробку даних та моніторинг стану дронів, міждронна комунікація: забезпечується через mesh-мережі, що дозволяє дронам обмінюватися інформацією про навколишнє середовище та координувати дії, протоколи зв'язку: використовуються адаптивні протоколи, такі як LoRa(бездротова технологія зв'язку, яка забезпечує передачу даних на великі відстані при низькому енергоспоживанні.) для передачі даних на великі відстані з низьким енергоспоживанням, та 5G NR для високошвидкісної передачі великих обсягів даних [3].

Захисні механізми включають: фізичне екранування електроніки від вологи та пилу, системи резервування критичних компонентів, шифрований зв'язок для запобігання кібератакам, аварійні режими роботи при виході з ладу окремих систем Інтеграція з екосистемою передбачає: сумісність з існуючими вуликами та теплицями, можливість роботи в змішаних системах із живими бджолами, адаптацію до місцевих кліматичних умов

Задля того аби мінімізувати вплив на екологію потрібно оцінити наявні проблеми, що виникають та запропонувати шляхи вирішення. Наприклад, щоб зменшити вплив на популяції бджіл та інших запилювачів, необхідно використовувати дронів запилювачів лише там, де спостерігається дефіцит. Також необхідно використовувати або тихі, або безшумні двигуни. Також варто сприяти використанню біорозкладних мастил.

Ця комплексна система демонструє принципово новий підхід до автоматизації бджільництва, де кожен технологічний компонент оптимізований для досягнення максимальної ефективності при мінімальному втручанні в природні процеси.



Рис. 1. Зображення дрона-бджоли
Джерело: <https://chatgpt.com/>

References

1. Hiraguri, T., Shimizu, H., Kimura, T., et al. (2023). Autonomous drone-based pollination system using AI classifier to replace bees for greenhouse tomato cultivation. IEEE Access, 11, 99352–99364. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/373697199_Autonomous_Drone-Based_Pollination_System_using_AI_Classifier_to_Replace_Bees_for_Greenhouse_Tomato_Cultivation [in English].
1. Canicatti, M., & Vallone, M. (2024). Drones in vegetable crops: A systematic literature review. Smart Agricultural Technology, 7, 100396. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772375524000017> [in English].
2. Minhaj, J., Sarma, P. P., & Deka, R. J. (2024). Wings of change: Drones revolutionizing pollination practices. ResearchGate. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/385588114_Article_ID_240202011_Wings_of_Change_Drones_Revolutionizing_Pollination_Practices [in English].

AUTOMATED POLLINATION ROBOTS

The article is devoted to analyzing the current state of beekeeping in Ukraine, where a high bee mortality rate and significant industry losses have been recorded due to military actions and the influence of negative environmental factors. A concept for creating a robotic complex for pollination and honey collection, integrating modern achievements in robotics, artificial intelligence, and sensor technologies, is proposed. The design features of pollinating drones, their sensor systems, energy supply, as well as control and protection measures are described. The need to minimize the impact on natural bee populations and ensure the ecological compatibility of the proposed system is substantiated. The comprehensive approach to beekeeping automation allows for increased industry efficiency while maintaining ecosystem balance.

Key words: bee-robot, artificial pollination, ecological crisis, composite materials, precision farming, adaptive control, alternative energy sources, cybersecurity, biodegradable materials, smart hive, automation

Відомості про автора / Information about the Author

Володимир Шенкевич, викладач кафедри Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Чорноморського національного університету імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна E-mail: vlnshenk@ukr.net.

Volodymyr Shenkevych, lecturer at the Department of Automation and Computer-Integrated Technologies, Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine E-mail: vlnshenk@ukr.net.

Анастасія Єлагіна, студентка 2 курсу спеціальності «Автоматизація комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніка» Чорноморського національного університету імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна. E-mail: yelahina.a@gmail.com.

Anastasiia Yelagina, 2th year student of the specialty "Automation, computer-integrated technologies and robotics" of the Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine.. E-mail: yelahina.a@gmail.com .

