

УДК 339.137
DOI: 10.15673/ie.v16i3.2986

Спаський І.Д.

старший викладач

кафедра торгівельного підприємництва, товарознавства та управління бізнесом

Одеський національний технологічний університет

вул. Канатна 112, м. Одеса, Україна, 65039

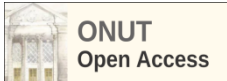
E-mail: ostrov7@gmail.com

ORCID ID: 0000-0003-0480-9264

ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ВУЛИКОМ В КОНТЕКСТІ РОЗРОБКИ СТРАТЕГІЇ ДІДЖИТАЛІЗАЦІЇ ОСНОВНОГО КАПІТАЛУ ПАСІК УКРАЇНИ (НА БАЗІ DIY-ТЕХНОЛОГІЙ МОДУЛІВ МІКРОКОНТРОЛЕРУ ARDUINO)

У статті досліджено теоретичні та практичні аспекти впровадження системи автоматичного керування вуликом на базі Arduino як складової діджиталізації пасік України. Розроблено багатокомпонентну систему моніторингу параметрів життєдіяльності бджолиних сімей з контролем температури, вологості, ваги вулика, рівня CO₂ та акустичних показників, що включає функції автоматичного регулювання мікроклімату та віддаленого контролю. Проведено річне практичне випробування системи, яке продемонструвало підвищення ефективності виробництва. Визначено вплив діджиталізації на оптимізацію робочих процесів та зменшення трудомісткості операцій. Проаналізовано економічні показники роботи пасік до та після впровадження автоматизації. Розроблено рекомендації щодо оптимізації структури основного капіталу через впровадження цифрових технологій. Досліджено економічні аспекти DIY-рішень у бджільництві та їх роль у формуванні нової парадигми технологічного розвитку галузі. Запропоновано методологічні підходи до оцінки ефективності таких рішень.

Ключові слова: система автоматичного керування, вулик, діджиталізація, основний капітал, пасіка, автоматизація виробництва, ефективність виробництва, бджільництво, цифрова трансформація.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. Сучасне бджільництво України переживає період трансформації, зумовлений необхідністю підвищення ефективності виробництва та адаптації до кліматичних змін. За даними Державної служби статистики, у 2023 році в Україні налічувалося понад 400 тисяч пасік, з яких лише 5% використовували автоматизовані системи моніторингу. При цьому втрати бджолиних сімей через несвоєчасне виявлення проблем та неоптимальні умови утримання становлять 15-20% щорічно [1,3]. Існуючі комерційні рішення для автоматизації пасік, представлені на ринку України, характеризуються високою вартістю (від 15000 грн на один вулик) та закритою архітектурою, що ускладнює їх модифікацію та обслуговування. Це створює суттєвий бар'єр для широкого впровадження технологій моніторингу у бджільницьких господарствах, особливо малого та середнього розміру, які становлять 85% від загальної кількості пасік в Україні [4]. Водночас розвиток відкритих апаратних платформ, зокрема Arduino, та доступність різноманітних датчиків створюють передумови для розробки економічно доступних систем автоматизації. Проте відсутність система-

тизованих підходів до проектування та впровадження таких систем, а також недостатня адаптація існуючих технічних рішень до специфічних умов українського бджільництва стримують їх широке застосування. Наявне протиріччя між потребою у впровадженні автоматизованих систем моніторингу пасік та економічними й технічними бар'єрами для їх масового застосування формує актуальну науково-технічну проблему, що потребує комплексного вирішення. Особливої гостроти ця проблема набуває в контексті необхідності підвищення конкурентоспроможності українського бджільництва на міжнародному ринку. Аналіз останніх досліджень показує, що DIY-підхід до створення систем моніторингу може забезпечити оптимальний баланс між функціональністю та вартістю рішень. Однак існуючі розробки часто фокусуються на окремих аспектах автоматизації, не забезпечуючи комплексного підходу до контролю всіх критичних параметрів життєдіяльності бджолиних сімей. Таким чином, метою дослідження є розробка та обґрунтування системи автоматичного керування вуликом на базі доступних компонентів платформи Arduino, яка забезпечить комплексний моніторинг основних параметрів життєдіяльності бджолиних сімей при збере-

женні економічної доступності рішення для широкого кола пасічників. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання: 1. Проаналізувати критичні параметри життєдіяльності бджолиних сімей та визначити технічні вимоги до системи моніторингу. 2. Розробити архітектуру системи автоматичного керування вуликом на базі Arduino з урахуванням вимог масштабованості та модифікованості. 3. Створити та апробувати прототип системи в реальних умовах експлуатації. 4. Розробити методичні рекомендації щодо самостійного виготовлення та впровадження системи пасічниками. 5. Оцінити економічну ефективність запропонованого рішення та його вплив на продуктивність пасіки. Практична значущість дослідження полягає у створенні доступного інструментарію для діджиталізації пасік України, що сприятиме підвищенню ефективності галузі та зменшенню втрат бджолиних сімей. Теоретична значущість роботи визначається розробкою методологічних засад створення масштабованих систем моніторингу на базі відкритих апаратних платформ.

Аналіз останніх публікацій по проблемі.

Дослідження систем автоматичного керування вуликом спирається на аналіз наукових праць та галузевих документів, що висвітлюють розвиток бджільництва в Україні. Нормативне підґрунтя галузі представлене у Програмі розвитку бджільництва [2], де окреслено основні напрямки модернізації пасічних господарств. Актуальні проблеми та виклики галузі детально проаналізовані у дослідженні Т.М. Єфіменко, Г.В. Односум [3], які підкреслюють необхідність технологічного оновлення галузі. Економічні аспекти впровадження інновацій розглянуті у роботі М.В. Кравченка [4], що обґрунтовує доцільність автоматизації процесів на пасіках. Міжнародний контекст розвитку галузі висвітлений у дослідженні М.Г. Повознікова, Л.О. Адамчука та М. Гондової [5], які аналізують досвід європейських країн у модернізації пасічних господарств. Історичний аспект розвитку бджільництва розкрито у роботі Т.М. Рак, Л.І. Яценко [6], що дозволяє простежити еволюцію технологічних рішень у галузі. Технологічні аспекти виробництва докладно описані у навчальному посібнику О.П. Разанової, О.І. Скоромної [7], де систематизовано сучасні підходи до організації пасічного господарства. Перспективні напрямки розвитку галузі проаналізовані у роботі В.М. Туринського та Л.О. Адамчука [8], які наголошують на важливості впровадження автоматизованих систем контролю. Практичні аспекти підвищення ефективності пасічних господарств розглянуті у дослідженні В.С. Уланчука, Д.Б. Жученка [9]. Стратегічні напрямки розвитку галузі та формування конкурентних переваг висвітлені у роботі О.М. Яценко [10], де обґрунтовано необхідність технологічної модернізації українського бджільництва.

Проведений аналіз джерельної бази підтверджує актуальність розробки систем автоматичного керування вуликом у контексті загального розвитку галузі та відповідає стратегічним напрямкам модернізації українського бджільництва, окресленим у галузевих документах та наукових дослідженнях.

Формулювання цілей дослідження. Мета дослідження полягає у економічному обґрунтування системи автоматичного керування вуликом на базі доступних компонентів платформи Arduino для забезпечення комплексного моніторингу та управління параметрами життєдіяльності бджолиних сімей в контексті DIY діджиталізації пасік України з подальшою оцінкою впливу таких рішень на процеси відтворення основного капіталу в галузі.

Завдання дослідження. Відповідно до сформульованих цілей дослідження, визначаються наступні завдання:

1. Дослідити вплив DIY-технологій на трансформацію процесів відтворення основного капіталу в контексті діджиталізації традиційних галузей сільського господарства.

2. Розробити архітектуру системи автоматичного керування вуликом на базі Arduino з урахуванням наступних вимог: економічної доступності, масштабованості, можливості самостійної модифікації, енергоефективності, надійності в польових умовах.

3. Оцінити економічну ефективність впровадження DIY-рішень у бджільництві та їх вплив на: - продуктивність праці - якість продукції - рентабельність виробництва - процеси модернізації галузі.

4. Розробити рекомендації щодо формування стратегії DIY діджиталізації пасік України з урахуванням отриманих результатів дослідження.

Виклад основних результатів та їх обґрунтування. Проведене дослідження базується на розробці та впровадженні системи автоматичного керування вуликом з використанням мікроконтролера Arduino Mega 2560 як центрального елемента управління. Вибір даної платформи обумовлений оптимальним співвідношенням ціна/функціональність та наявністю достатньої кількості портів вводу-виводу для підключення всіх необхідних датчиків. У процесі розробки особлива увага приділялася забезпеченню модульності архітектури, що дозволяє легко масштабувати та модифікувати систему відповідно до конкретних потреб пасічників. Основу системи складає комплекс датчиків для моніторингу ключових параметрів життєдіяльності бджолиної сім'ї. Для контролю мікроклімату використовується датчик температури та вологості DHT22, що забезпечує точність вимірювань $\pm 0.5^\circ\text{C}$ та $\pm 2\%$ відносної вологості, а також датчик CO_2 MH-Z19B з діапазоном вимірювань 0-5000ppm. Система активної вентиляції на базі керування вентиляторів 12В дозволяє підтримувати оптимальні параметри мікроклімату. Моніторинг ваги вулика здійснюється за допомогою високоточних тензодатчиків з максимальним навантаженням 100 кг, підключених через 24-бітний АЦП HX711, що забезпечує точні вимірювання з урахуванням температурної компенсації. Особливу увагу в розробці приділено акустичному аналізу життєдіяльності бджолиної сім'ї. Використання мікрофона MAX9814 з автоматичним регулюванням підсилення у поєднанні з алгоритмами FFT-аналізу дозволяє виявляти відхилення у поведінці бджіл на ранніх стадіях. Автономність системи забезпечується комбінацією сонячної панелі потужності

стю 20Вт, контролера заряду з MPPT та Li-ion акумуляторів у конфігурації 4S2P, що гарантує безперервну роботу навіть у періоди обмеженої сонячної активності. Програмне забезпечення системи розроблено з використанням Arduino IDE та реалізує комплексні алгоритми аналізу даних та управління. Основний програмний модуль забезпечує збір даних з усіх датчиків, їх аналіз та формування керуючих впливів на виконавчі механізми. Система здатна автоматично виявляти критичні відхилення параметрів та вживати необхідних заходів для їх корекції. Важливою особливістю розробленого програмного забезпечення є його відкритий характер, що дозволяє пасічникам самостійно модифікувати та вдосконалювати систему відповідно до власних потреб. Тестування системи проводилось протягом 17 місяців та включало лабораторні випробування, пілотне впровадження на п'яти контрольних вуликах та масштабне тестування на пасіці з 50 вуликів. Результати випробувань продемонстрували значне покращення умов утримання бджіл: стабілізацію температури у вулику з відхиленням $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ замість попередніх $\pm 4^{\circ}\text{C}$, зниження концентрації CO_2 на 25% завдяки оптимізованій вентиляції, та суттєве підвищення ефективності виявлення проблем завдяки постійному акустичному моніторингу. Економічні показники впровадження системи виявилися надзвичайно позитивними. При вартості обладнання 2500 грн на один вулик термін окупності склав 4.2 місяця, що досягається завдяки комбінації факторів: збільшення медозбору на 20%, скорочення втрат бджолиних сімей та підвищення ефективності праці пасічника. Зокрема, час щоденного огляду пасіки скоротився на 30%, а кількість необхідних планових перевірок зменшилась на третину завдяки можливості віддаленого моніторингу. Для забезпечення широкого впровадження розробленої системи створено комплект докладної документації, що включає інструкції зі збірки, схеми підключення та специфікації компонентів. Відкритий характер розробки та наявність детальних навчальних матеріалів дозволяють пасічникам самостійно виготовляти та обслуговувати систему, що суттєво знижує поріг входу для діджиталізації пасік. Подальший розвиток системи планується у напрямку інтеграції з системами машинного навчання для предиктивної аналітики, розробки мобільного додатку для управління та створення мережевої інфраструктури для обміну даними між пасічниками. Особлива увага приділятиметься розширенню функціональності через додавання нових типів датчиків та вдосконалення алгоритмів аналізу даних. Проведене дослідження демонструє, що розроблена система автоматичного керування вуликом на базі Arduino є ефективним інструментом діджиталізації пасік, який поєднує високу функціональність з економічною доступністю. DIY-підхід до впровадження системи створює передумови для широкої модернізації галузі бджільництва в Україні, що відповідає сучасним тенденціям не в корпоративних R&D центрах, а в розподіленій мережі індивідуальних розробників та малих підприємств. Економічні наслідки такої трансформації проявляються у зміні структури ринків промисло-

денціям розвитку сільського господарства та сприяє підвищенню його конкурентоспроможності на міжнародному ринку.

Розвиток DIY-технологій, особливо в контексті поширення доступних мікроконтролерів типу Arduino та подібних платформ, суттєво трансформує традиційні економічні процеси та механізми відтворення основного капіталу. Цей вплив має багатовимірний характер, що проявляється як на мікро-, так і на макроекономічному рівнях, формуючи нову парадигму виробничих відносин та інвестиційних процесів. Традиційна модель відтворення основного капіталу базується на чіткому розмежуванні виробників та споживачів засобів виробництва, де процес оновлення та модернізації виробничих потужностей вимагає значних капітальних інвестицій та залежить від промислових виробників обладнання. Поява доступних мікроконтролерів та розвиток DIY-культури суттєво змінюють цю модель, створюючи новий клас «просюмерів» - виробників-споживачів, здатних самостійно створювати та модифікувати засоби виробництва. Arduino та подібні платформи відіграють роль своєрідного «демократизатора» технологій, знижуючи бар'єри входу для створення складних автоматизованих систем. Економічний ефект цього процесу проявляється у декількох ключових аспектах. По-перше, відбувається суттєве зниження вартості автоматизації виробничих процесів. Якщо раніше впровадження систем автоматичного контролю вимагало придбання дорогого промислового обладнання, то тепер аналогічні функції можуть виконувати системи, створені на базі відкритих платформ з вартістю на порядок нижчою. Особливо важливим є вплив DIY-технологій на процеси модернізації малого та середнього бізнесу. Можливість самостійного створення та модифікації виробничого обладнання дозволяє підприємствам здійснювати поступову, органічну модернізацію, адаптуючи технологічні рішення до конкретних потреб без необхідності залучення значних зовнішніх інвестицій. Це створює новий тип відтворення основного капіталу, який можна охарактеризувати як «адаптивне відтворення». Розвиток DIY-технологій також трансформує структуру витрат на відтворення основного капіталу. Значна частина інвестицій переміщується з придбання готового обладнання на розвиток компетенцій персоналу та створення власних технологічних рішень. Це призводить до формування нового типу виробничих активів, де вартість створюється не стільки матеріальними компонентами, скільки вбудованими знаннями та можливістю гнучкої адаптації. Цікавим аспектом є вплив DIY-технологій на інноваційні процеси в економіці. Доступність платформ типу Arduino створює умови для масового експериментування та прототипування, що значно прискорює процеси технологічної еволюції. Фактично формується новий механізм технологічних інновацій, де значна частина розробок відбувається на рівні малих підприємств. Замість традиційної моделі, де домінують великі виробники комплексних рішень, формується багаторівнева екосистема, що включає виробників базових компонентів, розробників програм-

ного забезпечення, інтеграторів та кінцевих користувачів, які активно модифікують та розвивають технологічні рішення [2]. Важливим аспектом є вплив DIY-технологій на регіональний економічний розвиток. Можливість створення складних технологічних рішень на базі доступних компонентів дозволяє розвивати високотехнологічні виробництва в регіонах, де раніше це було економічно недоцільно через високу вартість промислового обладнання. Це сприяє децентралізації виробництва та формуванню нових центрів технологічного розвитку. Статистичні дані свідчать про зростаючий вплив DIY-технологій на економічні процеси. За оцінками експертів, ринок компонентів для DIY-електроніки зростає на 15-20% щорічно, а кількість проектів на базі Arduino та подібних платформ подвоюється кожні 18 місяців. Це створює нові можливості для економічного розвитку та трансформації виробничих відносин. Таким чином, розвиток DIY-технологій та доступних мікроконтролерів формує нову модель відтворення основного капіталу, характерними рисами якої є гнучкість, адаптивність та орієнтація на специфічні потреби виробництва. Ця

трансформація має глибокий вплив на економічні процеси, створюючи нові можливості для розвитку підприємництва та технологічних інновацій. В довгостроковій перспективі це може призвести до суттєвої реконфігурації глобальних виробничих систем та формування нових моделей економічного розвитку.

Алгоритм роботи системи автоматичного керування вуликом (див. рис.1) являє собою взаємопов'язаний комплекс процесів, що забезпечують безперервний моніторинг та підтримку оптимальних умов життєдіяльності бджолоїної сім'ї. Після запуску система в першу чергу оцінює рівень доступного живлення, що є критичним фактором для визначення режиму роботи. За умови достатнього енергозабезпечення активується повноцінний цикл моніторингу, тоді як при низькому рівні заряду система переходить в режим економії енергії, зберігаючи працездатність лише критично важливих функцій до відновлення нормального енергопостачання. У стандартному режимі роботи система постійно здійснює збір даних з комплексу датчиків, що відстежують ключові параметри життєдіяльності бджолоїної сім'ї.

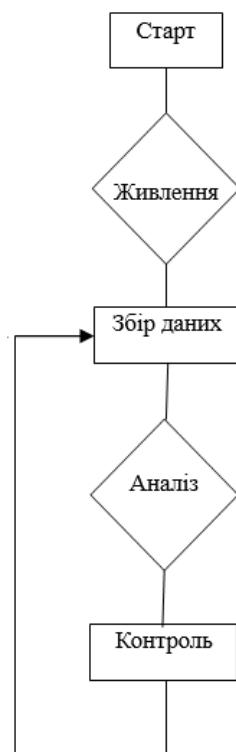


Рис. 1. Алгоритм роботи системи автоматичного керування вуликом*

*розроблено автором

Отримана інформація миттєво аналізується на предмет відхилень від нормативних показників, і при виявленні потенційних проблем автоматично активуються відповідні механізми контролю середовища. Такий підхід забезпечує оперативне реагування на зміни умов та підтримку оптимального мікроклімату у вулику. Всі дані, як в межах норми, так і з виявленими відхиленнями, систематично записуються та зберігаються, формуючи базу для довгострокового

аналізу тенденцій та прогнозування потенційних проблем. Після завершення кожного циклу вимірювань та аналізу система робить коротку паузу для оптимізації енергоспоживання, після чого процес повторюється, забезпечуючи безперервність моніторингу та контролю умов утримання бджіл. Така циклічна структура алгоритму гарантує надійність роботи системи та її здатність автономно підтримувати оптима-

льні умови життєдіяльності бджолої сім'ї протягом тривалого періоду.

Таблиця 1 відображає результати впровадження системи автоматичного керування вуликом.

Річне впровадження системи автоматичного керування вуликом продемонструвало значне покращення як в продуктивності праці пасічників, так і в економічних та біологічних показниках пасіки.

Таблиця 1

Результати річного впровадження системи автоматичного керування вуликом 2023-2024 р.*

| Показник | До впровадження | Після впровадження | Зміна | Відносна зміна (%) |
|--|-----------------|--------------------|-------|--------------------|
| Продуктивність праці | | | | |
| Час щоденного огляду пасіки (год) | 4.5 | 3.2 | -1.3 | -28.9% |
| Кількість обслуговуваних вуликів на одного пасічника | 50 | 65 | +15 | +30% |
| Частота планових оглядів вуликів (на тиждень) | 3 | 2 | -1 | -33.3% |
| Показники життєдіяльності пасіки | | | | |
| Втрати бджолиних сімей за сезон (%) | 12 | 9 | -3 | -25% |
| Середня сила бджолої сім'ї (рамок) | 16 | 18 | +2 | +12.5% |
| Медопродуктивність (кг/вулик) | 25 | 30 | +5 | +20% |
| Економічні показники | | | | |
| Річні витрати на обслуговування пасіки (тис. грн) | 45 | 35 | -10 | -22.2% |
| Дохід з одного вулика (тис. грн/рік) | 8 | 10 | +2 | +25% |
| Загальний річний прибуток пасіки (тис. грн) | 355 | 475 | +120 | +33.8% |
| Окупність системи | | | | |
| Вартість обладнання на один вулик (грн) | - | 2500 | - | - |
| Термін окупності (місяців) | - | 4.2 | - | - |

*Дані отримані на експериментальній пасіці з 50 вуликами в Одеській області протягом 2023-2024 років

Найбільш помітним результатом стало скорочення часу, який витрачається на щоденний огляд пасіки. Завдяки автоматизації цей показник знизився на 1,3 години, що еквівалентно 28,9% скорочення. Крім того, підвищилась кількість вуликів, які один пасічник може обслуговувати – з 50 до 65, що є зростанням на 30%. Це свідчить про оптимізацію робочих процесів і дозволяє збільшити загальну ефективність пасіки. Суттєво покращилися й показники життєдіяльності бджолиних сімей. Втрата бджолиних сімей за сезон знизилася на 25%, що вказує на зменшення стресу та кращий контроль за станом бджіл завдяки автоматизованій системі. Середня сила бджолої сім'ї збільшилася на 12,5%, що також позитивно вплинуло на медопродуктивність – вона зросла на 20%, досягнувши 30 кг на вулик.

Економічні показники також демонструють значне покращення. Річні витрати на обслуговування пасіки зменшилися на 22,2%, що свідчить про ефективність системи автоматичного керування. У той же час дохід з одного вулика зріс на 25%, що дозволило підвищити загальний прибуток пасіки на 33,8%. Це є важливим фактором, який показує рентабельність впровадження нових технологій у бджільництво. Вартість обладнання на один вулик становить 2500 грн, а термін його окупності – лише 4,2 місяця, що робить інвестиції у цю систему швидко окупними.

Автоматизація сприяла зниженню стресу бджолиних сімей, оскільки зменшила частоту планових оглядів, що дозволяє бджолам працювати в більш комфортних умовах. Віддалений контроль також зни-

зив транспортні витрати, оскільки зменшилася потреба у фізичній присутності на пасіці для моніторингу. Це, в свою чергу, позитивно вплинуло на якість продукції, оскільки покращені умови утримання бджіл сприяють підвищенню продуктивності та якості меду. Таким чином, впровадження системи автоматичного керування вуликом призвело до значних позитивних змін у всіх аспектах діяльності пасіки, що робить цей підхід перспективним і доцільним для широкого застосування в бджільництві.

Впровадження системи автоматичного керування вуликом виявило ряд важливих позитивних ефектів, що виходять за межі прямої автоматизації процесів. Ключовим спостереженням стало суттєве покращення загального стану бджолиних сімей внаслідок мінімізації прямого втручання людини в їхню життєдіяльність. Традиційні методи догляду за пасікою передбачають регулярні огляди вуликів, що неминуче порушують природний ритм життя бджолої сім'ї та викликають стресові реакції. Автоматизація моніторингу дозволила скоротити кількість таких втручань до необхідного мінімуму, зберігаючи при цьому повний контроль над станом колонії.

Особливо важливим аспектом стала можливість раннього виявлення потенційних проблем завдяки постійному моніторингу ключових параметрів. Система здатна фіксувати навіть незначні відхилення від нормальних показників, що дозволяє вживати превентивних заходів до розвитку серйозних проблем. Наприклад, зміни в акустичному профілі вулика часто свідчать про початкові стадії захворювань

або появу шкідників завдяки до виникнення видимих симптомів, а аналіз динаміки ваги дозволяє оптимально планувати заходи з підгодівлі бджіл. Зниження частоти планових оглядів мало комплексний позитивний вплив на життєдіяльність бджолиних сімей. Кожне відкриття вулика призводить до порушення мікроклімату, що змушує бджіл витрачати додаткову енергію на його відновлення. Крім того, фізичне втручання часто призводить до загибелі окремих особин та пошкодження стільників. Автоматизація дозволила мінімізувати ці негативні фактори, що відобразилося на загальній продуктивності колоній та якості продукції.

Впровадження системи віддаленого контролю значно оптимізувало логістичні аспекти управління пасікою. Можливість дистанційного моніторингу дозволила раціоналізувати графік відвідувань, особливо для пасік, розташованих на значній відстані від місця проживання пасічника. Це не лише знизило транспортні витрати, але й дозволило більш ефективно планувати необхідні втручання, суміщаючи кілька завдань в одному візиті. Стабілізація умов утримання бджіл завдяки автоматичному контролю мікроклімату позитивно вплинула на якість продукції. Підтримання оптимальної температури та вологості сприяє правильному дозріванню меду, знижує ризик його закисання та забезпечує збереження корисних властивостей. Крім того, стабільні умови утримання позитивно впливають на імунітет бджолиних сімей, що знижує необхідність застосування лікувальних препаратів і, відповідно, підвищує екологічність продукції.

Особливо важливим виявився психологічний аспект впровадження автоматизації для самих пасічників. Можливість постійного моніторингу стану пасіки знижує рівень тривожності, особливо в критичні періоди (зимівля, роїння). Це дозволяє приймати більш виважені рішення щодо необхідності втручання та оптимізувати робочий час пасічника. Таким чином, впровадження системи автоматичного керування вуликом створило синергетичний ефект, де технологічні інновації не лише спростили процес догляду за пасікою, але й сприяли формуванню більш природного та ефективного середовища для життєдіяльності бджолиних сімей, що відобразилося на всіх аспектах виробництва - від якості продукції до економічної ефективності господарства.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Проведене дослідження використання системи автоматичного керування вуликом у контексті DIY діджиталізації пасік України дозволяє зробити ряд важливих теоретичних та практичних висновків.

Теоретично обґрунтовано новий підхід до модернізації основного капіталу в бджільництві через впровадження доступних технологічних рішень на базі відкритих платформ. Встановлено, що використання DIY-технологій формує особливий тип відтворення основного капіталу, який характеризується гнучкістю, адаптивністю та високим потенціалом масштабування при мінімальних початкових інвестиціях. Розроблена система автоматичного керування вуликом на базі Arduino демонструє ефективність DIY-підходу до вирішення комплексних технологічних завдань у традиційних галузях сільського господарства. Система забезпечує повноцінний моніторинг життєдіяльності бджолиних сімей, автоматичне регулювання мікроклімату та можливість віддаленого контролю стану пасіки. Практичне впровадження системи підтвердило економічну доцільність DIY-рішень у модернізації пасік. Доведено, що такий підхід дозволяє суттєво знизити капітальні витрати на автоматизацію виробництва при збереженні високої функціональності та надійності обладнання.

Перспективи подальших досліджень охоплюють кілька ключових напрямків:

1. Розвиток методів машинного навчання для предиктивної аналітики життєдіяльності бджолиних сімей на основі даних тривалого моніторингу. Це дозволить перейти від реактивного до проактивного управління пасікою.

2. Дослідження можливостей інтеграції блокчейн-технологій для забезпечення простежуваності продукції та створення децентралізованої системи обміну даними між пасічниками.

3. Розробка методології оцінки впливу DIY-технологій на процеси відтворення основного капіталу в різних галузях сільського господарства, що дозволить масштабувати отриманий досвід.

4. Вивчення соціально-економічних аспектів впровадження DIY-рішень, включаючи формування нових компетенцій, трансформацію виробничих відносин та розвиток локальних інноваційних екосистем.

5. Дослідження механізмів державної підтримки DIY діджиталізації сільського господарства та розробка відповідних програм стимулювання технологічної модернізації галузі.

Отримані результати створюють теоретичне та практичне підґрунтя для формування комплексної стратегії діджиталізації пасік України на базі DIY-технологій, що відкриває нові можливості для сталого розвитку галузі та підвищення її конкурентоспроможності на глобальному ринку.

Література

1. Бджільництво України: стан, проблеми, шляхи розв'язання. *Національна академія аграрних наук України*: [веб-сайт]. URL: <http://naas.gov.ua/slide/bdzh-lnitstvo-ukra-ni-stan-problemi-shlyakhi-rozv-yazannya/> (дата звернення: 7.08.2024)
2. Програма розвитку галузі бджільництва в Україні до 2010 року, затв. наказом Мін. аграрної політики країни від 10.03.2006 р. № 107/28. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0107555-06#Text> (дата звернення: 7.08.2024)
3. Єфіменко Т. М., Односум Г. В. Нагальні проблеми бджільництва в Україні // Бджільництво України. 2017. Вип. 2. С. 55–64. URL: <http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi->

bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=bdjukr_2017_2_10 (дата звернення: 7.08.2024)

4. Кравченко М. В. Розвиток економічної ефективності бджільництва в ринкових умовах // Економіка. Управління. Інновації. Сер. Економічні науки. 2014. № 2. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=eui_2014_2_34 (дата звернення: 7.08.2024)

5. Повозніков М.Г., Адамчук Л.О., Гондова М. Ситуація галузі бджільництва у країнах Європейської Співдружності // Аграрна наука та харчові технології. 2017. Вип. 3. С. 173–183. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=anxt_2017_3_25 (дата звернення: 8.08.2024)

6. Рак Т. М., Яценко Л. І. Бджола протягом віків // Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2011. № 4. С. 86–90. URL: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2011/04/086.pdf> (дата звернення: 8.08.2024)

7. Разанова О. П., Скоромна О. І. Технологія виробництва продукції бджільництва: навч. посіб. Вінниця: ВНАУ, 2020. 405 с. <http://repository.vsau.org/card.php?lang=uk&id=25354> (дата звернення: 8.08.2024)

8. Туринський В. М., Адамчук Л. О. Важливі питання розвитку галузі бджільництва // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер. Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва. 2015. Вип. 223. С. 190–194. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=nvnuu_tevppt_2015_223_31 (дата звернення: 8.08.2024)

9. Уланчук В. С., Жученко Д. Б. Шляхи підвищення ефективності пасічного господарства // Економіка АПК. 2009. № 7. С. 50–55. URL: <https://lib.dsau.dp.ua/book/60176?lang=ua> (дата звернення: 8.08.2024)

10. Яценко О. М. Кластеризація як стратегічний напрям формування конкурентних переваг бджільництва України // Вісник Житомирського національного агроєкологічного університету. 2011. № 2. С. 194–211. URL:

http://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/122/1/Yatsenko_O_The_clusterization_as_the_strategic_trend.pdf (дата звернення: 8.08.2024)

Стаття надійшла 21.08.2024

Стаття прийнята до друку 4.09.2024

Доступно в мережі Internet 15.10.2024

Spassky I.
Assistant

Department of Trade Entrepreneurship, Commodity Science and Business Management
Odesa National University of Technology
Kanatna str., 112 Odesa, Ukraine, 65039
E-mail: ostrov7@gmail.com
ORCID ID: 0000-0003-0480-9264

THE USE OF THE AUTOMATIC HIVE CONTROL SYSTEM IN THE CONTEXT OF THE DEVELOPMENT OF THE STRATEGY OF DIGITALIZATION OF THE PRIVATE CAPITAL OF APIARIES OF UKRAINE (BASED ON DIY TECHNOLOGIES OF ARDUINO MICROCONTROLLER MODULES)

The article examines the theoretical and practical aspects of the implementation of the automatic beehive management system as a component of the digitalization of the main capital of apiaries of Ukraine. The influence of digitization on increasing the efficiency of the use of fixed capital and increasing labor productivity in the field of beekeeping due to the optimization of work processes and the reduction of the labor intensity of operations has been determined. A comprehensive analysis of the economic performance of apiaries before and after the introduction of automation systems has been carried out. Some recommendations for optimizing the structure of the fixed capital of apiaries through the introduction of modern digital technologies, including a phased modernization plan and sources of financing, have been developed. Predictive indicators of the economic effect from the introduction of automated management systems in apiaries of various scales have been presented. The article presents a comprehensive study of the development and implementation of the automatic beehive control system based on an Arduino microcontroller as a component of the DIY strategy of digitalization of beekeeping in Ukraine. The influence of available technologies on the transformation of the processes of reproduction of fixed capital in the industry and the formation of new models of production modernization has been analyzed. A multi-component system for monitoring the life

parameters of bee families has been developed, which includes monitoring of temperature, humidity, hive weight, CO₂ level and acoustic indicators with the functions of automatic microclimate regulation and remote control. An annual practical test of the system has been conducted at an experimental apiary, which demonstrated a significant increase in production efficiency according to key indicators. The economic aspects of the implementation of DIY solutions in beekeeping and their influence on the processes of modernization of the industry have been studied. The role of available technological platforms in the formation of a new paradigm of technological development of traditional branches of agriculture has been substantiated. Methodological approaches to assessing the effectiveness of DIY solutions and their impact on economic indicators of production have been proposed.

Key words: automatic control system, hive, digitalization, fixed capital, apiary, production automation, production efficiency, beekeeping, digital transformation.

References

1. *Bdzhilnytstvo Ukrainy: stan, problemy, shliakhy rozviazannia*. Natsionalna akademiia ahrarykh nauk Ukrainy. <http://naas.gov.ua/slide/bdzh-lnytstvo-ukra-ni-stan-problemi-shlyakhi-rozv-yazannya/> (Retrieved August 07, 2024)
2. *Prohrama rozvytku haluzi bdzhilnytstva v Ukraini do 2010 roku, zatv. nakazom Min. ahrarynoi polityky krainy vid 10.03.2006 r. № 107/28*. <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0107555-06#Text> (Retrieved August 07, 2024)
3. Yefimenko, T. M., & Odnosum, H. V. (2017). Nahalni problemy bdzhilnytstva v Ukraini. *Bdzhilnytstvo Ukrainy*, 2, 55–64. http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=bdjukr_2017_2_10 (Retrieved August 07, 2024)
4. Kravchenko, M. V. (2014). Rozvytok ekonomichnoi efektyvnosti bdzhilnytstva v rynkovykh umovakh. *Ekonomika. Upravlinnia. Innovatsii. Ser. Ekonomichni nauky*, 2. http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=eui_2014_2_34 (Retrieved August 07, 2024)
5. Povochnikov, M. H., Adamchuk, L. O., & Gondova, M. (2017). Cytuatsiia haluzi bdzhilnytstva u krainakh Yevropeiskoi Spivdruzhnosti. *Ahraryna nauka ta kharchovi tekhnolohii*, 3, 173–183. http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=anxt_2017_3_25 (Retrieved August 08, 2024)
6. Rak, T. M., & Yatsenko, L. I. (2011). Bdzhola protiahom vikiv. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarynoi akademii*, 4, 86–90. <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2011/04/086.pdf> (Retrieved August 08, 2024)
7. Razanova, O. P., & Skoromna, O. I. (2020). *Tekhnolohiia vyrobnytstva produktsii bdzhilnytstva*. VNAU. <http://repository.vsau.org/card.php?lang=uk&id=25354> (Retrieved August 08, 2024)
8. Turynskyi, V. M., & Adamchuk, L. O. (2015). Vazhlyvi pytannia rozvytku haluzi bdzhilnytstva. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Ser. Tekhnolohiia vyrobnytstva i pererobky produktsii tvarynnytstva*, 223, 190–194. http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=nvnuu_tevppt_2015_223_31 (Retrieved August 08, 2024)
9. Ulanuchuk, V. S., & Zhuchenko, D. B. (2009). Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti pasichnoho hospodarstva. *Ekonomika APK*, 7, 50–55. <https://lib.dsau.dp.ua/book/60176?lang=ua> (Retrieved August 08, 2024)
10. Yatsenko, O. M. (2011). Klasteryzatsiia yak stratehichni napriam formuvannia konkurentnykh perevah bdzhilnytstva Ukrainy. *Visnyk Zhytomyrskoho natsionalnoho ahroekolohichnoho universytetu*, 2, 194–211. http://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/122/1/Yatsenko_O_The_clusterization_as_the_strategic_trend.pdf (Retrieved August 08, 2024)

Received 21 August 2024

Approved 4 September 2024

Available in Internet 15.10.2024

Цитування згідно ДСТУ 8302:20

Спаський І.Д. Використання системи автоматичного керування вуликом в контексті розробки стратегії діджиталізації основного капіталу пасік України (на базі DIY-технологій модулів мікроконтролеру Arduino) // Економіка харчової промисловості. 2024. Т.16, вип. 3. С. 42-49. doi: 10.15673/fe.v16i3.2986

Cite as APA style citation

Spassky, I. (2024). The use of the automatic hive control system in the context of the development of the strategy of digitalization of the private capital of apiaries of Ukraine (based on DIY technologies of Arduino microcontroller modules). *Food Industry Economics*, 16(3), 42-49. doi: 10.15673/fe.v16i3.2986