

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2025-293-7-67-74>

УДК 681.5:638.1:004.89: 519.87

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПАСІКОЮ

Сотніков Д.О., Дубовський О.Р.

DEVELOPMENT OF A COMPREHENSIVE INFORMATION SYSTEM FOR APIARY MANAGEMENT

Sotnikov D.O., Dubovskyi O.R.

У статті представлено концепцію створення комплексної інформаційної системи для ефективного управління промисловою пасікою в умовах сучасних економічних та екологічних викликів. Актуальність розробки зумовлена зростанням потреби у цифровізації бджільництва як в Україні, що є одним з лідерів з експорту меду, так і у світі, де відбувається активна інтеграція ІТ-технологій у агровиробництво. Розкрито структуру та функціональні модулі системи, які охоплюють ключові напрями бджільництва: облік кількісних і якісних характеристик бджолосімей, моніторинг їхнього фізіологічного стану, планування технологічних операцій, контроль медозбору та аналіз витрат. Основною метою розробки є оптимізація управлінських процесів, зниження трудомісткості робіт та мінімізація ризиків шляхом впровадження сучасних ІТ-рішень. Проведено детальний аналіз проблем, що впливають на продуктивність пасіки, з урахуванням біологічних, кліматичних, ветеринарних та організаційних аспектів. Запропоновано модульний підхід до побудови системи, що дозволяє здійснювати прогнозування розвитку бджолосімей та виявлення потенційних загроз на основі інтеграції великої кількості гетерогенних даних. Особливу увагу приділено застосуванню нечіткої логіки (fuzzy logic) як інструменту для формалізації експертного досвіду та інтуїтивних знань бджолярів, що дає можливість генерувати кількісні рекомендації на основі якісних оцінок. Продemonстровано приклади використання нечітких правил для оцінки сили бджолосімей, стану розплоду, прогнозування роїння, управління ризиками отруєнь пестицидами та діагностики захворювань. Показано, що розроблена система має потенціал інтеграції з IoT-пристроями, сенсорними мережами та мобільними додатками для отримання даних у режимі реального часу, що

відкриває можливості для формування інтелектуальної платформи підтримки прийняття рішень в галузі промислового бджільництва та забезпечує підвищення продуктивності, економічної ефективності та стійкості виробництва в умовах мінливого середовища. У висновках зазначено, що впровадження такої системи здатне значно підвищити рентабельність пасічного господарства та знизити вплив людського фактора на критичні процеси виробництва.

Ключові слова: інформаційна система, автоматизація, промислова пасіка, нечітка логіка.

Вступ. Промислова пасіка, на відміну від аматорської, стикається з низкою специфічних викликів, пов'язаних з її масштабом та комерційною орієнтацією.

Автоматизація пасіки, впровадження сучасних технологій та систем для моніторингу, контролю та управління бджолиними сім'ями й процесами на пасіці є потужним інструментом, що дозволяє вивести бджільництво на новий рівень. Актуальність цього напрямку зумовлена низкою економічних, екологічних та технологічних факторів. Традиційне бджільництво вимагає значних затрат часу та ручної праці. Автоматизація дозволяє зменшити трудомісткість: Системи моніторингу скорочують кількість необхідних оглядів вуликів. Пасічнику не потрібно фізично відкривати кожен вулик, щоб перевірити стан сім'ї, що особливо важливо для великих пасік. У зв'язку з цим, окремі елементи автоматизації досліджуються і впроваджуються на пасіках.

Розширюється коло пасік, які застосовують смарт-вулики. Датчики температури, вологості та звуку всередині вулика можуть сигналізувати про проблеми (хвороби, наявність кліща Варроа, втрата матки) задовго до того, як їх помітить людина під час огляду. Постійний моніторинг дозволив би вирішити цілу низку цих та інших проблем [1].

Автоматичні системи вентиляції та обігріву могли би допомогти підтримувати оптимальні умови у вулику, що є критично важливим під час зимівлі та в періоди різких перепадів температур. Більше того, збираючи дані про вагу вулика, температуру, активність бджіл, пасічник може аналізувати, які сім'ї є найпродуктивнішими, та робити селекцію.

Численні компанії пропонують "розумні" вулики (Smart Hives), обладнані датчиками температури, вологості, ваги, звуковими сенсорами та GPS-трекерами [2-4]. Ціла низка робіт спрямована на аналіз звукових частот всередині вулика [5, 6].

Все це свідчить, що автоматизація пасіки — це не просто тренд, а необхідна відповідь на сучасні виклики бджільництва. Вона дозволяє зробити галузь більш продуктивною, стійкою, менш ризикованою та привабливою для нового покоління пасічників, поєднуючи багатовіковий досвід із силою сучасних технологій.

Проте, аналіз різних джерел інформації, а також висновки експертів свідчать про те, що підходи та підсистеми, що використовуються для окремих вуликів не враховують деякі суттєві проблеми та не об'єднані в єдину систему [7].

Метою даної роботи є аналіз проблем, пов'язаних з функціонуванням промислової пасіки, та розробка комплексної системи керування такою пасікою.

Для створення інформаційної комплексної системи керування як пасікою в цілому, так і окремими етапами виробництва меду та інших продуктів бджолярства необхідно чітко сформулювати основні проблеми, розробити шляхи їх вирішення і вже на базі цього створити систему контролю і керування.

Основні проблеми, які виникають в процесі діяльності промислової пасіки, можна класифікувати за декількома ознаками. Одна з найбільш визначних — хвороби бджіл. Це, мабуть, найсерйозніша проблема для будь-якої пасіки, а для промислової — вона багаторазово посилюється через високу щільність бджолиних сімей. Для вирішення і контролю цієї проблеми необхідно розрізняти різновиди хвороб [8-15].

З іншого боку, одними з важливих абіотичних чинників є температура, вологість і світло. Саме добовий ритм освітлення обумовлює річну динаміку життєвих циклів(фотоперіодизм) тварин, в тому числі медоносною бджолою. Найбільше значення він має для зміни різних станів (активний стан, зимовий спокій), а також розмноження і роїння. Природно, що вплив світла може модифікуватися іншими абіотичними факторами, в першу чергу -температурою і вологістю - цими основними компонентами клімату, які істотно визначили початковий ареал медоносною бджолою. Як низькі, так і занадто високі значення цих факторів обмежують льотну активність медоносною бджолою. Також термоігровим позначається на тривалості життя комах [16]. Тому аналіз має бути комплексним, враховувати вплив різноманітних факторів на характер захворювання.

Головний ворог бджіл у всьому світі - кліщ *Varroa destructor*. На великих пасіках боротьба з ним вимагає системного підходу, ротації препаратів та постійного моніторингу. Недостатній контроль може призвести до швидкого поширення кліща по всій пасіці та значних втрат сімей.: Бактеріальні захворювання американський та європейський гнилець можуть швидко поширюватися між сім'ями, особливо при використанні спільного інвентарю або згодовуванні зараженого корму. Їх лікування складне, а в деяких випадках уражені сім'ї доводиться знищувати. Небезпечними є також вірусні захворювання. Вони часто переносяться кліщем варроа та ослаблюють імунну систему бджіл, роблячи їх вразливішими до інших хвороб. Нозематоз — ще одна небезпека. Це грибкове захворювання вражає травну систему бджіл і особливо поширене в періоди тривалої несприятливої погоди та при низькій якості кормів. На промислових пасіках, які часто розташовані поблизу агрокультурних угідь, є також ризик масової загибелі бджіл від отруєнь пестицидами. Це вимагає тісної співпраці з фермерами та попереднього інформування про обробку полів.

Друга категорія проблем пов'язана безпосередньо з управлінням та логістикою. Масштаб промислової пасіки вимагає ефективних управлінських дій та логістики. Для створення ефективної системи керування пасікою необхідно враховувати наступні аспекти. По-перше, сезонність робіт. Бджільництво — це сезонний бізнес, що вимагає

інтенсивної праці в певні періоди (весна, літо). Це створює виклики з наймом та управлінням персоналом. По-друге, перевезення пасік (кочівля). Для збору меду з різних медоносів часто потрібно перевозити велику кількість вуликів. Це складна логістична операція, яка вимагає спеціалізованого транспорту, дозволів та значних затрат часу та ресурсів. По-третє, зберігання та переробка продукції. Великі обсяги меду, воску, пилку потребують значних складських приміщень, обладнання для відкачування та переробки, а також відповідних умов зберігання. Крім того, облік та документування, а саме ведення точного обліку кількості сімей, медозборів, захворювань, витрат та доходів є критично важливим для ефективного управління.

Промислова пасіка функціонує в умовах ринкової економіки. Тому важливим є врахування економічних та ринкових викликів. Так, наприклад, ціни на мед та іншу продукцію пасіки можуть коливатися залежно від врожаю, попиту та пропозиції на внутрішньому та світовому ринках. Зростаюча конкуренція, в тому числі з імпортною продукцією, може впливати на прибутковість. Витрати на утримання пасіки (корма, ліки, обладнання, паливо, зарплата працівників) можуть бути значними, це треба враховувати для ефективного виробництва. Для реалізації великих обсягів продукції потрібно мати надійні канали збуту, що може бути складним завданням. Крім того, врожай меду сильно залежить від погодних умов, тож нестабільність медозборів може призвести до значних коливань доходів від року до року.

Окремою категорією проблем є природні та кліматичні фактори. Навіть в межах одного сезону вони суттєво впливають на всі вищезгадані проблеми. Такі погодні аномалії як несподівані заморозки, затяжні дощі, посухи можуть негативно впливати на розвиток бджіл та медоноси, що призводить до зниження врожаю. Довгострокові зміни клімату можуть впливати на терміни цвітіння медоносів та загалом на екосистему, в якій функціонує пасіка.

Незважаючи на ці виклики, промислове бджільництво залишається важливою галуззю, яка не лише виробляє мед та іншу відповідну продукцію, але й забезпечує заповнення сільськогосподарських культур.

Врахування зазначених проблем, покращення управління промисловою пасікою є ключовим для підвищення її ефективності, продуктивності та рентабельності. Це вимагає

комплексного підходу, що охоплює оптимізацію процесів, підвищення кваліфікації персоналу, використання аналітичних даних, а також впровадження сучасних технологій. Розглянемо ці основні напрямки для підвищення ефективності, які дозволять сформувати організаційну систему заходів підтримки ефективної роботи промислової пасіки.

Для забезпечення оптимізації виробничих процесів необхідно поєднувати організаційні заходи з технічними. Перший модуль: для стандартизації операцій необхідно розробити і впровадити чіткі протоколи для всіх основних робіт (огляд сімей, лікування, годівля, формування відводків, зимівля). Це забезпечує однорідність якості робіт та дозволяє ефективніше навчати персонал. Наступна складова (другий модуль) пов'язана з плануванням та графіками робіт. Створення детальних графіків робіт на весь сезон, що враховують біологічні цикли бджіл, медоноси та погодні умови дозволить оптимізувати використання робочої сили та ресурсів. Третій модуль - ефективне матководство. Налагодження власного матководчого господарства або співпраця з надійними постачальниками високоякісних маток є основою сильних та продуктивних сімей. Систематичний підхід до боротьби з хворобами (четвертий модуль) включає в себе розробку інтегрованої системи управління для запобігання шкідникам та хворобам. Цей блок включає регулярний моніторинг, ротацію препаратів, використання біологічних методів та санітарні заходи. П'ятий модуль – це оптимізація логістики. Ефективне планування кочівлі, маршрутів транспортування вуликів та продукції. Використання спеціалізованого транспорту та обладнання для завантаження/розвантаження. Шостий модуль – структура та персонал пасіки. Навчання та розвиток персоналу – важлива складова підвищення ефективності будь-якого виробництва [17-20].

Вона передбачає по-перше, регулярне підвищення кваліфікації: проведення тренінгів та семінарів для бджолярів з новітніх методів бджільництва, боротьби з хворобами, використання нового обладнання. По-друге, це - мотивація та система заохочень. Впровадження системи мотивації стимулює працівників до підвищення продуктивності та відповідальності. По-третє, розвиток командного духу та взаємодопомоги серед працівників створить сприятливе середовище для роботи.

При розробці сучасної комплексної системи управління застосовують різноманітні підходи для підтримки прийняття рішень та технології штучного інтелекту. Ці підходи дозволяють враховувати управління ризиками, а саме: страхування пасіки від природних катаклізмів, хвороб та крадіжок; питання диверсифікації продукції, щоб знизити залежність від одного виду продукції, тобто виробництво не тільки меду, а й іншої продукції (пилок, прополіс, маточне молочко, віск, відводки). Сюди ж можна віднести встановлення тісних контактів з місцевими фермерами для узгодження графіків обробки полів пестицидами, що дозволяє мінімізувати ризик отруєння бджіл.

Критично важливим інструментом для сучасного управління пасікою, що дозволяє бджолярам приймати обґрунтовані рішення, оптимізувати процеси та покращувати загальну продуктивність є збір та аналіз даних. Перш за все це наступна інформація:

- Вага вулика (зміни в часі);
- Температура всередині вулика;
- Вологість;
- Кількість зібраного меду;
- Кількість та якість розплоду;
- Споживання корму;
- Час роїння;
- Наявність та кількість хвороб/шкідників;
- Дати обробки та використані препарати;
- Погодні умови (температура повітря, опади, швидкість вітру);
- Типи медоносів у зоні льоту;
- Дані щодо пасіки та її оснащення.

Для підвищення продуктивності важливо мати дані в режимі реального часу. Для цього забезпечується моніторинг стану вуликів [1]: збір даних про вагу вулика, температуру, вологість, активність бджіл та споживання корму дозволяє відстежувати здоров'я сім'ї. Різне зниження ваги може свідчити про хворобу або дефіцит корму, тоді як аномальні коливання температури можуть вказувати на перегрів або переохолодження. Аналіз даних про медоноси, погодні умови та інтенсивність льоту бджіл допомагає визначити найкращий час для відкачування меду, максимізуючи врожайність. Відстежуючи ознаки, що передують роїнню (наприклад, щільність бджіл, вік матки), можна вжити превентивних заходів, таких як відводки або розширення гнізда, щоб уникнути втрати бджіл. Аналіз даних про запаси корму у вулику

та потреби сім'ї дозволяє точно визначити, коли і скільки підгодовувати бджіл, запобігаючи надмірному або недостатньому годуванню [21]. Дані про сезонні цикли, розвиток сімей та погодні прогнози дозволяють оптимально планувати роботи на пасіці, такі як огляд вуликів, лікування, розширення або зимівля. В довгостроковій перспективі відстежуючи продуктивність різних маток і родин, можна виявляти найбільш продуктивні лінії бджіл для подальшого розведення; збір даних про вплив погодних умов на пасіку дозволяє адаптувати стратегії управління до мінливого клімату.

Крім того, аналізуючи витрати та доходи, можна оцінити рентабельність різних практик та інвестицій, та приймати рішення про подальший розвиток пасіки.

Використання сучасних технологій, таких як датчики, системи моніторингу та програмне забезпечення для аналізу даних, робить управління пасікою більш точним, ефективним та стійким.

Проаналізуємо складові впровадження сучасних технологій та автоматизації, які доцільно включити до комплексної системи керування пасікою.

1. Цифровізація обліку та моніторингу. Використання спеціалізованих програм або мобільних додатків для ведення детального обліку кожної бджолиної сім'ї (дата народження матки, сила сім'ї, медозбір, хвороби, лікування, планові роботи) дозволяє відстежувати динаміку розвитку, виявляти проблемні сім'ї та планувати дії.

Кожен вулик може мати унікальний QR-код або NFC-мітку, що дозволяє швидко отримувати доступ до його історії та вносити зміни під час огляду.

Встановлення датчиків ваги, температури, вологості всередині вулика дозволяє дистанційно моніторити стан сімей, прогнозувати медозбір, виявляти роїння або проблеми без частого відкриття вуликів.

2. Автоматизація окремих процесів. Автоматичні системи годівлі та поїння будуть особливо актуально для великих пасік, де ручна годівля може бути трудомісткою.

Необхідно також передбачити медогонки та обладнання з автоматизацією. Використання високопродуктивних медогонок та ліній для розпечатування рамок значно прискорює процес відкачування меду.

3. Дрони для обстеження території можуть використовуватися для пошуку медоносних угідь, оцінки їх стану та планування кочівлі.

4. Застосування принципів нечіткої логіки для забезпечення гнучкості системи керування пасікою в цілому.

Впровадження цих підходів дозволить промисловій пасіці працювати ефективніше, бути більш стійкою до викликів та досягати більших фінансових результатів.

В роботі [22] були сформовані концептуальні засади автоматизованого керування пасікою та запропоновані принципи побудови системи на її принципах (рис.1).

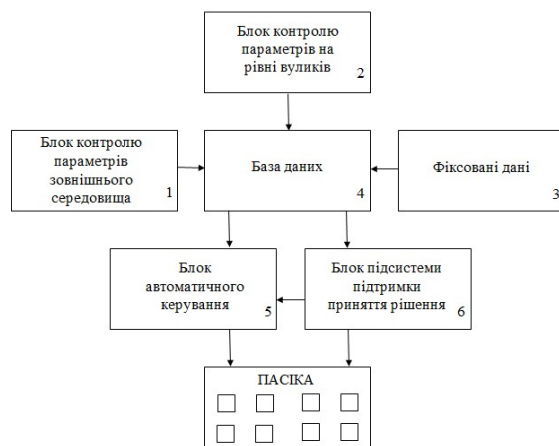


Рис.1. Концепція формування інформаційної бази для автоматизованого керування пасікою

Розглянемо більш детально застосування принципів нечіткої логіки для управління промисловою пасікою.

Нечітка логіка (Fuzzy Logic) – це потужний інструмент, який дозволяє працювати з невизначеністю та нечіткими даними, що часто зустрічаються в таких складних біологічних системах, як бджолині сім'ї [23]. Вона дає змогу моделювати людське мислення та прийняття рішень, коли інформація не є чіткою "так" або "ні". Застосування нечіткої логіки має значні переваги порівняно з чітким підходом. Вона дозволяє моделювати ситуації, де дані не є точними або повними. Система приймає рішення, подібні до тих, що приймає досвідчений бджоляр, використовуючи свій досвід та інтуїцію, та гнучко адаптується до нових даних або змінених умов. З іншого боку, нечітка система знижує залежність від людського фактора та допомагає стандартизувати прийняття рішень й зменшити вплив суб'єктивних оцінок.

Для промислової пасіки, де потрібно керувати сотнями або тисячами вуликів, застосування нечіткої логіки може значно

покращити ефективність управління, особливо у наступних аспектах.

1. Оцінка стану бджолиної сім'ї

Традиційні методи оцінки часто базуються на чітких порогах (наприклад, "менше 5 рамок розплоду – слабка сім'я"). Нечітка логіка дозволяє використовувати лінгвістичні змінні та ступені приналежності, що краще відображає реальність.

Вхідні лінгвістичні змінні:

Сила сім'ї: "дуже слабка", "слабка", "середня", "сильна", "дуже сильна", замість простого підрахунку рамок.

Кількість розплоду: "мало", "достатньо", "багато".

Медові запаси: "критично мало", "мало", "достатньо", "багато".

Активність льоту: "низька", "середня", "висока".

Поведінка бджіл: "спокійна", "збуджена", "агресивна".

Зараженість кліщем Варроа: "низька", "середня", "висока", "критична".

Правила нечіткої логіки (приклад):

ЯКЩО (Сила сім'ї є слабка) І (Медові запаси є мало), ТО (Потреба у підгодівлі є висока).

ЯКЩО (Кількість розплоду є висока) І (Температура є сприятлива), ТО (Ризик роїння є значний).

ЯКЩО (Зараженість кліщем є висока) І (Активність бджіл є низька), ТО (Потреба в лікуванні є термінова).

Вихідні змінні:

"Потреба у підгодівлі" (низька, середня, висока).

"Ризик роїння" (низький, помірний, значний, критичний).

"Потреба в лікуванні" (немає, бажано, терміново).

"Загальний стан сім'ї" (незадовільний, задовільний, добрий, відмінний).

2. Оптимізація графіку робіт та ресурсів

Нечітка логіка може допомогти у динамічному плануванні робіт на пасіці, враховуючи не тільки чіткі терміни, а й гнучкі умови.

Вхідні змінні:

Прогноз погоди: "холодно", "тепло", "спекотно", "дощитиме", "ясно".

Фаза цвітіння медоносів: "початок", "пік", "кінець".

Доступність персоналу: "низька", "середня", "висока".

Терміновість завдань: "низька", "середня", "висока".

Правила нечіткої логіки:

ЯКЩО (Прогноз погоди є тепло) І (Фаза цвітіння є пік), ТО (Пріоритет відкачки меду є високий).

ЯКЩО (Терміновість завдань є висока) І (Доступність персоналу є низька), ТО (Розглянути найм тимчасового персоналу є доцільно).

Вихідні змінні:

"Пріоритет завдання" (низький, середній, високий, критичний).

"Рекомендована дія" (підгодувати, розширити, лікувати, відкачати мед, об'єднати).

3. Управління ризиками (наприклад, ризик отруєння пестицидами)

Вхідні змінні:

Відстань до полів: "близько", "середньо", "далеко".

Тип культури: "зернові", "ріпак", "соняшник".

Наявність інформації про обробку: "немає", "часткова", "повна".

Вітер: "немає", "слабкий", "сильний".

Правила нечіткої логіки (приклади):

ЯКЩО (Відстань до полів є близько) І (Тип культури є ріпак) І (Наявність інформації є немає), ТО (Ризик отруєння є дуже високий).

ЯКЩО (Вітер є сильний) І (Наявність інформації є часткова), ТО (Рекомендована дія є закрити льотки або вивезти вулики).

Вихідні змінні:

"Рівень ризику" (низький, помірний, високий, критичний).

"Рекомендовані запобіжні заходи".

4. Діагностика захворювань

Нечітка логіка може допомогти у ранній діагностиці, враховуючи сукупність симптомів.

Вхідні змінні (симптоми): "наявність мертвого розплоду", "зміна кольору розплоду", "специфічний запах", "зменшення активності", "зміна поведінки матки". Кожен симптом може мати свій ступінь вираженості (наприклад, "слабкий", "помірний", "сильний").

Правила нечіткої логіки (приклади):

ЯКЩО (Наявність мертвого розплоду є значна) І (Зміна кольору розплоду є помірна), ТО (Підозра на гнилець є висока).

Вихідні змінні:

"Ймовірність захворювання" (дуже низька, низька, середня, висока, дуже висока).

"Рекомендації щодо подальших дій" (додатковий огляд, лабораторний аналіз, лікування).

Для впровадження нечіткої логіки на промисловій пасіці потрібна розробка програмного забезпечення, яке дозволить збирати дані, обробляти їх за правилами нечіткої логіки та надавати рекомендації. Це може бути інтегровано в загальну систему управління пасікою.

Застосування нечіткої логіки є перспективним напрямком для "розумного" бджільництва, дозволяючи більш ефективно та науково обґрунтовано управляти такою складною біологічною системою, як промислова пасіка.

Таким чином, на основі здійсненого аналізу проблем та шляхів їх вирішення, пропонується наступна інформаційна системи як складова автоматизованого керування промисловою пасікою (рис.2).

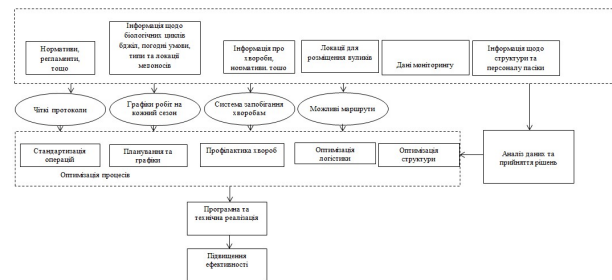


Рис. 2. Інформаційна система як складова автоматизованого керування промисловою пасікою

Наукова новизна роботи. У даній роботі вперше запропоновано концепцію комплексної інформаційної системи керування промисловою пасікою, що поєднує модульний принцип організації управління з технологіями нечіткої логіки для інтеграції експертного досвіду бджолярів у процес прийняття рішень. Розроблено структуру системи, яка враховує біологічні, ветеринарні, організаційні та економічні аспекти функціонування пасіки, та сформульовано приклади правил нечіткої логіки для оцінки стану бджолосімей, прогнозування роїння, діагностики захворювань і управління ризиками. Наукова новизна роботи полягає у поєднанні методів нечітких множин з даними моніторингу реального часу, що створює передумови для впровадження інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень у промисловому бджільництві та дозволяє знизити вплив суб'єктивних факторів при управлінні пасікою, підвищити точність оцінок та ефективність виробництва.

Висновки. В роботі виконаний розгорнутий комплексний аналіз функціонування промислової пасіки, розглянуті організаційні, біологічні, метеорологічні та технічні аспекти управління пасікою. За результатами аналізу запропонована інформаційна система автоматизованого керування промисловою пасікою.

Література

1. Куч Остап, Лагун Ілона. Інтелектуальна IoT-система моніторингу пасіки. // Інформаційні технології у сфері захисту довкілля: колективна монографія / за заг. ред. Маєвського В., Приймака В., Ткачука Р. Львів: ННБК «АТБ», 2024.
2. Rsif-paset. Smart Bee Hiving Technology. URL: <https://www.rsif-paset.org/project/smart-bee-hiving-technology/>
3. The Best Bees Company. URL: <https://bestbees.com/smarthive-lp/>
4. Hive Beat. Smart beehive monitoring & Inspection tracking. URL: <https://www.hivebeat.co.uk/?srsltid=AfmBOookZjEQkypzPjQws7To3QRENdC1Vd4HILbRDcY-FgLEQ0SjSXW>
5. Bromenshenk Jerry J., Henderson Colin B., Seccomb Robert A., Rice Steven D., Etter Robert T. Honey bee acoustic recording and analysis system for monitoring hive health. 2007. URL: <https://patents.google.com/patent/US7549907B2/en>
6. Єськов Е. К. Акустична сигналізація комах. М.: Знання, 1979. 63 с.
7. Kurkul. Онлайн-ассистент фермера. URL: <https://kurkul.com/spetsproekty/1695-rozumni-vuliki--chistiy-marketing-chi-maybutnye-bdjilnitstva>
8. Алексеенко Ф. М., Ревенок В. А., Чепурко М. А. Справочник по болезням и вредителям пчел. 2-е изд. Київ: Урожай, 1991. 240 с.
9. Галатюк О. Є. Хвороби бджіл та основи бджільництва: навчальний посібник. Житомир: Полісся, 2006. 278 с.
10. Honey Bee Die-Off Alarms Beekeepers, Crop Growers and Researchers. Penn State University College of Agricultural Sciences, 29 січня 2007.
11. Dupont Gaëlle. Les abeilles malades de l'homme. Le Monde, 29 August 2007 (фр.)
12. Steinberger Petra. Das spurlose Sterben. sueddeutsche.de, 12 березня 2007 (нім.)
13. La mort des abeilles met la planète en danger / Paul Molga. Les Echos, 20 August 2007 (фр.)
14. JR Minkel. Mysterious Honeybee Disappearance Linked to Rare Virus. Scientific American. Science News, 7 вересня 2007.
15. Refkin Andrew C. Virus Is Seen as Suspect in Death of Honeybees. The New York Times, 7 вересня 2007.
16. Єськов Е. К., Єськова М. Д. Фізіологічні ефекти гіпоксії розвиваючихся і дорослих бджіл *Apis mellifera* L. Еволюція біохімії і фізіології, 2011, № 6. С. 475–479.
17. Саух П. Ю. Управління персоналом в аграрному секторі: теорія та практика. Київ: НУБіП України, 2018.
18. Мороз О. І. Мотивація персоналу в системі управління підприємством. Харків: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2016.
19. Близнюк В. І. Психологія ефективної комунікації в аграрних колективах. Умань: Уманський НАУ.ФАО, 2020.
20. Developing capacities in digital agriculture. FAO eLearning Academy. Maru, A., & Ballantyne, P., 2018.
21. Лозінський М. В., Глеваський В. І., Яковенко О. М., Устинова Г. Л. Основи бджільництва: навч. посібн. для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спец. 201 – Агрономія. Біла Церква, 2021. 148 с.
22. Дубовський О. Р., Сотніков Д. О. Концептуальні засади системи автоматизованого керування пасікою.
23. Bellman, R.E. and Zadeh, L.A. Decision Making in a Fuzzy Environment. Management Sciences, 1970, 17, 141-164. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.17.4.B141>

References

1. Kuch O., Lahun I. Intelktualna IoT-systema monitorynhu pasiky // Informatsiini tekhnolohii u sferi zakhystu dovkillia: kolektyvna monohrafiia / za red. V. Maievskoho, V. Pryimaka, R. Tkachuka. Lviv: NNVK "ATB", 2024.
2. Rsif-paset. Smart Bee Hiving Technology. URL: <https://www.rsif-paset.org/project/smart-bee-hiving-technology/>
3. The Best Bees Company. URL: <https://bestbees.com/smarthive-lp/>
4. Hive Beat. Smart beehive monitoring & Inspection tracking. URL: <https://www.hivebeat.co.uk/?srsltid=AfmBOookZjEQkypzPjQws7To3QRENdC1Vd4HILbRDcY-FgLEQ0SjSXW>
5. Bromenshenk J. J., Henderson C. B., Seccomb R. A., Rice S. D., Etter R. T. Honey bee acoustic recording and analysis system for monitoring hive health. 2007. URL: <https://patents.google.com/patent/US7549907B2/en>
6. Yeskov E. K. Akusticheskaya signalizatsiya nasekomykh. Moscow: Znanie, 1979. 63 s.
7. Kurkul. Onlain-assystent fermera. URL: <https://kurkul.com/spetsproekty/1695-rozumni-vuliki--chistiy-marketing-chi-maybutnye-bdjilnitstva>
8. Alekseenko F. M., Revenok V. A., Chepurko M. A. Spravochnik po boleznyam i vreditelyam pchel. 2-e izd. Kyiv: Urozhai, 1991. 240 s.
9. Halatiuk O. Ye. Khvoroby bdzhil ta osnovy bdzhilnytstva. Zhytomyr: Polissia, 2006. 278 s.

10. Honey Bee Die-Off Alarms Beekeepers, Crop Growers and Researchers. Penn State University College of Agricultural Sciences, 29 January 2007.
11. Dupont G. Les abeilles malades de l'homme. Le Monde. 29 August 2007.
12. Steinberger P. Das spurlose Sterben. Sueddeutsche.de, 12 March 2007.
13. Molga P. La mort des abeilles met la planète en danger. Les Echos. 20 August 2007.
14. Minkel J. R. Mysterious Honeybee Disappearance Linked to Rare Virus. Scientific American. Science News, 7 September 2007.
15. Revkin A. C. Virus Is Seen as Suspect in Death of Honeybees. The New York Times, 7 September 2007
16. Yeskov E. K., Yeskova M. D. Fiziologicheskie efekty gipoksii razvivaushchikhsia i vzroslykh pchel Apis mellifera L. Evolyutsiya biokhimii i fiziologii. 2011. No. 6. S. 475–479.
17. Saukh, P. Yu. Personnel Management in the Agrarian Sector: Theory and Practice. Kyiv: National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 2018.
18. Moroz, O. I. Personnel Motivation in the Enterprise Management System. Kharkiv: Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, 2016.
19. Blyzniuk, V. I. Psychology of Effective Communication in Agrarian Collectives. Uman: Uman National University of Horticulture / FAO, 2020.
20. Developing capacities in digital agriculture. FAO eLearning Academy. Maru, A., & Ballantyne, P., 2018
21. Lozinskyi M. V., Hlevaskyi V. I., Yakovenko O. M., Ustynova H. L. Osnovy bdzhilnytstva: navchalnyi posibnyk dlia studentiv spets. 201 – Ahronomiia. Bila Tserkva, 2021. 148 s.
22. Dubovskyi O. R., Sotnikov D. O. Kontseptualni zasady systemy avtomatyzovanoho keruvannia pasikoiiu.
23. Bellman, R.E. and Zadeh, L.A. Decision Making in a Fuzzy Environment. Management Sciences, 1970, 17, 141-164. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.17.4.B141>.

Sotnikov D.O., Dubovskyi O.R. Development of a Comprehensive Information System for Apiary Management

The article presents the concept of developing a comprehensive information system for efficient management of an industrial apiary under modern economic and environmental challenges. The relevance

of the development is driven by the growing need for digitalization in beekeeping both in Ukraine, which is one of the leaders in honey exports, and globally, where active integration of IT technologies into agricultural production is taking place. The structure and functional modules of the system are described, covering key areas of beekeeping such as the accounting of quantitative and qualitative characteristics of bee colonies, monitoring their physiological state, planning technological operations, controlling honey collection, and analyzing expenditures. The main goal of the development is to optimize management processes, reduce labor intensity, and minimize risks by implementing modern IT solutions. A detailed analysis of problems affecting apiary productivity is carried out, taking into account biological, climatic, veterinary, and organizational aspects. A modular approach to system design is proposed, enabling forecasting of colony development and identification of potential threats based on the integration of large volumes of heterogeneous data. Particular attention is paid to the application of fuzzy logic as a tool for formalizing the expert experience and intuitive knowledge of beekeepers, which makes it possible to generate quantitative recommendations based on qualitative assessments. Examples of fuzzy rule applications are demonstrated for assessing colony strength, brood condition, swarming prediction, pesticide poisoning risk management, and disease diagnosis. It is shown that the developed system has the potential to integrate with IoT devices, sensor networks, and mobile applications for real-time data acquisition, opening opportunities for creating an intelligent decision support platform in industrial beekeeping to enhance productivity, economic efficiency, and production sustainability in a changing environment. The conclusions state that implementing such a system can significantly increase the profitability of apiary operations and reduce the impact of the human factor on critical production processes.

Keywords: *information system, automation, industrial apiary, fuzzy logic.*

Сотніков Данііл Олегович — аспірант кафедри комп'ютерно-інтегрованих систем управління, Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, asp-151-22-413@snu.edu.ua.

Дубовський Олександр Романович — аспірант кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, asp-122-22-430@snu.edu.ua.

Стаття подана 18.08.2025.