

**Іванишин В.В.**

Національний університет харчових технологій

**Мошенский А.О.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

## ОНТОЛОГІЧНА СТРУКТУРА ТА ПАРАМЕТРИ ВИМИРІВ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПАСІКОЮ

*Бджолина сім'я як складна соціальна система постійно взаємодіє з навколишнім середовищем, адаптуючись до його змін [1]. Базовими елементами ефективного управління пасікою є систематичний моніторинг стану бджолосім'ї та параметрів навколишнього середовища [2]. Такий процес є необхідним для створення оптимальних умов розвитку колонії для підвищення її продуктивності.*

*Частота вимірювання параметрів має бути оптимізована для балансу енергозбереження і залежить від динаміки життєвого циклу бджолосім'ї та сезонних змін у природному середовищі. У зимовий період, коли активність бджіл мінімальна, вимірювання можна здійснювати рідше. Натомість у весняно-літній сезон, коли бджолосім'ї демонструють високу активність, а робочі бджоли інтенсивно збирають нектар та пилок, частота вимірювань зазвичай зростає.*

*До основних вимірюваних параметрів, що можуть забезпечити реалізацію завдань системи керування пасікою належать: температура [3], вологість повітря [4], вага вулика [5], акустичний моніторинг [6], вміст CO<sub>2</sub> в вулику [7], активність льотної бджоли [8], рівень зовнішнього шуму та кліматичні параметри зовнішнього середовища.*

*Інтеграція цих параметрів в систему моніторингу забезпечить повноцінний аналіз стану бджолосімей та дозволить приймати науково обґрунтовані керівні рішення з оптимізації стану бджіл для підвищення продуктивності та здоров'я колоній, в тому числі в автоматизованому режимі. Використання сучасних технологій, зокрема бездротових сенсорів, дозволяє автоматизувати процеси збору даних та їх подальшого аналізу.*

*В статті запропонована онтологічна модель яка розкриває основні вимірювані параметри системи моніторингу, їх межі, сутність, взаємозв'язок і вплив на функціонування пасіки.*

*Розроблена онтологічна система управління пасікою слугує фундаментальною основою для подальших наукових досліджень і технологічних удосконалень в галузі автоматизації бджільництва. Її структурна універсальність дозволяє інтегрувати систему в масштабовані IoT-рішення, орієнтовані на сільськогосподарський сектор. Запровадження та практичне застосування запропонованої системи забезпечить істотне підвищення ефективності управління бджолиними господарствами, мінімізує ризики втрат колоній, оптимізує динаміку розвитку бджолосімей та сприятиме посиленню ефекту від запилення ентомофільних рослин, що має критичне значення для агроєкосистем і глобальної продовольчої безпеки.*

**Ключові слова:** бджільництво, система, онтологія, моніторинг бджолосімей, автоматизація пасіки, інтернет речей (IoT), сенсори температури, сенсори ваги, пасіка, апіарій.

**Постановка проблеми:** Бджільництво є важливою галуззю сільського господарства, яка забезпечує виробництво меду, прополісу, маточного молочка та інших продуктів, а також відіграє ключову роль у запиленні ентомофільних культур. З огляду на скорочення кількості бджолосімей та зниження виробництва виникає необхідність впровадження інноваційних технологій для ефективного управління пасіками та моніторингу стану бджіл [1].

Серед основних викликів сучасного бджільництва – високі витрати часу й ресурсів на обслу-

говування бджолосімей, що потребує постійної фізичної присутності пасічника. Це ускладнює управління великими пасіками та знижує продуктивність. Традиційні методи, як правило, не враховують можливості сучасних технологій, які здатні оптимізувати процеси моніторингу й управління [2]. З цієї метою було розроблено та впроваджено низку автоматизованих систем моніторингу стану бджолиних сімей [9–13]. Однак, більшість існуючих систем мають обмеження, такі як висока вартість, недостатня адаптація до місцевих умов та обмежений функціонал. Це зумовлює потребу

в розробці нової системи, яка б враховувала особливості українського ринку і була доступною для малих та середніх пасік.

Ця робота спрямована на визначення та обмеження предметної області вимірювань системи керування пасікою та побудові і опису онтологічних взаємозв'язків для досягнення визначених цілей нової системи моніторингу бджолосімей, заснованої на сучасних бездротових технологіях і здатної забезпечити ефективний контроль за станом вуликів в реальному часі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сучасному етапі розвитку технологій для бджільництва існує багато різноманітних систем моніторингу стану бджолосімей, найбільш відомі: BroodMinder [9], Arnia [10], HiveTool [11], ApisProtect [12], BuzzBox [13]. Порівняльний аналіз яких [14] виявляє дефіцит науково обґрунтованих концепцій та відсутність системного підходу до інтегрованого розуміння складної системи моніторингу пасіки.

Важкість збору даних і велика тривалість досліджень у часі продукують ґрунт вузкоспрямованих досліджень окремих параметрів бджолиних сімей.

Важливість синтезу знань в галузі підтверджують дослідження науковців і біологів таких як В.О. Паливода, В.Ф. Соломка, Є.В. Руденко [15].

Онтологія у комп'ютерній лінгвістиці визначається як формалізований опис концептуалізації [16]. Її основне призначення – забезпечення обміну знаннями та їх повторного використання. У цьому контексті онтологія є формальною специфікацією концепцій та відносин, що існують у певній предметній області для конкретного агента або групи агентів. Це визначення поєднує дві ключові ролі онтології: як систематизованого набору визначень і як загального методу представлення знань.

Основні особливості онтології:

1) формалізація знань – онтологія чітко визначає концепції, об'єкти та відносини, що існують у конкретній сфері;

2) універсальність – семантика онтології не залежить від контексту або конкретного користувача, що дозволяє системам обмінюватися знаннями уніфікованим способом;

3) онтологічне зобов'язання – це домовленість використовувати визначений словниковий запас і формулювати запити відповідно до прийнятих правил онтології.

Таким чином, онтологія – це формальна і явна специфікація концептуалізації, яка забезпечує

структуроване представлення знань, необхідне для їх послідовного використання та обміну.

Поняття онтології знань набуває практичної цінності в галузях штучного інтелекту, управління знаннями та розробки складних інформаційних та автоматизованих систем. Зростаюча складність предметних областей вимагає від фахівців чіткої структуризації та систематизації знань, що стосується їхніх конкретних сфер дослідження.

**Постановка завдання.** Основна мета формалізації знань полягає у створенні концептуальної моделі предметної області, яка відображає ключові сутності, поняття та взаємозв'язки між ними. Така схема забезпечує єдине трактування інформації, полегшує аналіз, обмін знаннями та інтеграцію даних у межах інтелектуальних систем.

Концептуалізація є основою онтології та визначається як абстрактне уявлення про світ, яке відображає спрощену модель реальності для досягнення певної мети. Вона включає об'єкти, сутності та зв'язки між ними, які важливі у конкретній галузі інтересу. У будь-якій системі на основі знань концептуалізація може бути як явною, так і неявною [17].

**Формулювання завдання:** Створити формалізовану онтологічну схему, яка б описувала ключові параметри та їх взаємозв'язки в системі моніторингу бджолосімей, з метою інтеграції знань та оптимізації процесів керування пасікою. Проаналізувати важливі аспекти діяльності пасічників, що потребують моніторингу. Це може включати в себе фізичні параметри, такі як температура, вологість, вага вулика, а також біологічні та соціальні показники бджолосім'ї, такі як акустична активність, стан бджіл, розвиток матки та кількість розплоду. Визначити основні об'єкти та сутності системи моніторингу.

**Виклад основного матеріалу.** Онтологія, як філософська категорія, формує основу для розуміння природи системи, її елементів та взаємозв'язків. У контексті моніторингу бджолосімей онтологічний підхід дозволяє описати об'єкт дослідження – бджолосім'ю – не як ізольовану одиницю, а як складну біотехнічну систему, що перебуває у постійній взаємодії з природним і техногенним середовищем.

Філософія науки вказує на важливість системного підходу, де об'єкт дослідження вивчається у цілісності (Гегелівська діалектика) та з урахуванням динамічних змін його складових.

Формування онтології системи моніторингу є способом фіксації онтологічних статусів параметрів, які відображають сутність та закономірності

функціонування бджолосімей. Для бджолосім'ї найвпливовішими є:

1) температура вулика – як фундаментальний параметр, що вказує на терморегуляційні процеси, пов'язані з виживанням колонії;

2) вага вулика – як показник продуктивності та енергетичного балансу системи;

3) акустична активність – як відображення соціального стану колонії, що є аналогом комунікаційних процесів у складних системах.

Таким чином, онтологія виступає механізмом репрезентації реальності у структурованому вигляді, що відповідає об'єктивним науковим методам.

Філософія техніки наголошує на тому, що будь-яка технологічна система є результатом експлікації знання про об'єкт дослідження. Побудова онтології дозволяє розрізнити суттєві та несуттєві параметри (на підставі онтологічної значущості та визначити логічні та причинно-наслідкові зв'язки між параметрами.

Гносеологічний аналіз через чітке визначення взаємозв'язків дозволяє здійснити інтерпретацію даних, що отримуються системою моніторингу, та забезпечити прогнозування поведінки системи.

Діалектичний підхід, сформульований у працях класиків філософії (Гегель, Маркс), дозволяє зрозуміти динаміку розвитку системи через категорії наступні категорії:

1) єдність та боротьба протилежностей – стабільність бджолосім'ї підтримується балансом між активністю колонії та впливом зовнішніх факторів;

2) перехід кількісних змін у якісні – незначні відхилення параметрів (наприклад, температури або вологості) можуть призвести до критичних станів системи;

3) заперечення заперечення – онтологія дозволяє побудувати механізми корекції (зворотний зв'язок), які «знімають» суперечності та забезпечують оптимальне функціонування системи.

Сучасна філософія техніки розглядає технічні системи як інструменти розширення людських можливостей (Гуссерль, Хайдеггер). У випадку моніторингу бджіл система стає інтерфейсом між людиною і природою, що забезпечує підвищення ефективності управлінських рішень, зменшення антропогенного впливу завдяки автоматизованому аналізу та мінімізації людського втручання та створення умов для гармонійної коеволюції технічних систем і біологічних об'єктів.

Побудова онтології в практичному вимірі має ключове значення для проектування систем при-

йняття рішень, оскільки вона сприяє формалізації знань про процеси в вулику, лежить в основі розробки алгоритмів обробки даних за допомогою машинного навчання і штучного інтелекту й створює умови для побудови експертних систем, які забезпечують своєчасну діагностику проблем та прогнозування стану бджолосімей.

З позицій філософії впровадження систем моніторингу бджолосімей є стратегічним інструментом для вирішення глобальних екологічних та технологічних викликів сучасності: воно сприяє збереженню біорізноманіття шляхом підтримки бджіл як ключових елементів екосистем, забезпечує раціональне використання ресурсів через оптимізацію продуктивності з мінімальними витратами та дозволяє контролювати техногенний вплив, мінімізуючи негативні наслідки промислової діяльності для довкілля.

Також, побудова онтології дозволяє легко адаптувати систему моніторингу до нових вимог або технологічних змін. Наприклад, при появі нових сенсорів можна додати їх у вже існуючу структуру, не змінюючи основну логіку системи та ґрунтовно визначити значущість нових параметрів і інтегрувати їх у систему прийняття рішень.

Опис онтології предметної області здійснюється через розробку терміносистеми, яка є організованим набором термінів, що відображають специфіку певної галузі знань. Така терміносистема створюється експертами на основі теоретичних положень і характеризується системністю, повнотою, несуперечливістю, відносною стабільністю, відкритістю та динамічністю [18].

Першим етапом розробки онтології предметної області «система керування пасікою» є формування термінологічного словника. Для цього ключові дефініції онтології представлені у структурованому вигляді в Таблиці 1.

Наступним етапом у процесі створення онтологічної системи є розробка базової графічної моделі семантичної мережі. Цей етап проілюструємо на прикладі фрагмента семантичної структури Рисунок 1.

Після ідентифікації ключових концептів доцільно побудувати ієрархію предметної області, базисом якої є терміносистема, а у вузлових елементах – відповідна номенклатура параметрів Рисунок 2.

Основні параметричні дані в системі надходять від датчиків температури, вологості і ваги. Періодичність вимірювань визначається динамікою розвитку бджолосім'ї та сезонними умовами. Вимірювання можуть бути менш частими

Мінімальний термінологічний словник для уявлення наповнення онтології «система керування пасікою»

Термін	Дефініція	Онтологічна значущість	Властивості зв'язків	Властивості даних	Тип даних	Приклади індивідів
Бджолосім'я	Біологічна спільнота, що функціонує як єдиний організм з соціальною і функціональною ієрархією.	Центральний об'єкт онтології, що взаємодіє з природним середовищем та технічним оснащенням системи.	<b>Зв'язок:</b> знаходиться_у_вулику, <b>Відношення:</b> впливає_на_медозбір, пов'язана_з_температурою.	<b>Параметри:</b> кількість_бджіл, стан_матки, активність_літної_бджоли.	Ціле число, Реальне	Бджолосім'я_2025-01, Колонія_A1
Вулик	Технічна конструкція, що забезпечує життєдіяльність бджолосім'ї.	Матеріальний об'єкт системи моніторингу.	<b>Зв'язок:</b> містить_бджолосім'ю, має_сенсори, забезпечує_захист.	<b>Параметри:</b> вага, температура_всередині, рівень_вологості.	Реальне, Ціле число	Вулик_Дадан№1, Вулик_Лангстрот №2
Датчик	Технічний пристрій для збору параметрів стану вулика.	Засіб отримання даних для моніторингу.	<b>Зв'язок:</b> встановлений_у_вулику, передає_дані_системі.	<b>Параметри:</b> тип_датчика, точність_вимірювання, частота_вимірювань.	Текст, Реальне	Темп_Датчик_1, Акустичний_Сенсор_2
Температура вулика	Показник теплового стану внутрішнього середовища вулика.	Відображає терморегуляційні процеси колонії, критичний для виживання.	<b>Відношення:</b> впливає_на_активність_бджіл, залежить_від_сезону.	<b>Параметри:</b> значення_температури, межі_коливань.	Реальне	Температура_35°C, Температура_25°C
Акустична активність	Рівень звукової активності, що відображає соціальний стан колонії.	Параметр, що інтерпретує комунікаційні процеси всередині бджолосім'ї.	<b>Зв'язок:</b> корелює_з_температурою, сигналізує_про_стан_сім'ї та активність маток	<b>Параметри:</b> частоти_шуму, інтенсивність_вібрації, акустична картина	Реальне	Акустика_200Гц, Акустика_500Гц
Вага вулика	Загальна маса вулика, що включає мед, бджіл та запаси.	Індикатор продуктивності та енергетичного балансу бджолосім'ї.	<b>Відношення:</b> залежить_від_медозбору, сигналізує_про_запаси та хворобливий стан	<b>Параметри:</b> значення_ваги, зміни_ваги_з_часом.	Реальне	Вага_50кг, Вага_60кг
Стан бджолосім'ї	Комплексний показник, що визначає здоров'я та активність колонії.	Ключовий узагальнений параметр для оцінки функціонування системи.	<b>Зв'язок:</b> визначається_параметрами, впливає_на_продуктивність.	<b>Параметри:</b> індекс_здоров'я, критичні_показники.	Реальне	Стан_Нормальний, Стан_Критичний
Пасічник	Суб'єкт, що здійснює управління системою моніторингу бджолосім'ей.	Людський фактор як елемент антропоцентричної системи.	<b>Відношення:</b> керує_системою, приймає_рішення, отримує_дані.	<b>Параметри:</b> досвід, кількість_вуликів_в_управлінні.	Текст, Ціле число	Пасічник_Іван, Пасічник_Марія
Моніторинг	Процес безперервного збору та аналізу даних про стан бджолосім'ї.	Центральний процес онтології, що забезпечує зворотний зв'язок та інтерпретацію даних.	<b>Зв'язок:</b> збирає_дані, аналізує_параметри, передає_інформацію.	<b>Параметри:</b> частота_збору_даних, кількість_контрольованих_параметрів.	Ціле число, Реальне	Моніторинг_День1, Моніторинг_Тиждень2
Медозбір	Процес накопичення нектару та виробництва меду бджолами.	Показник ефективності діяльності колонії.	<b>Зв'язок:</b> залежить_від_сезону, пов'язаний_із_активністю_бджіл.	<b>Параметри:</b> кількість_меду, тривалість_медозбору.	Реальне	Медозбір_10кг, Медозбір_20кг
Запилення	Процес перенесення пилку бджолами на рослини для їх запліднення.	Ключовий екологічний параметр, що визначає роль бджолосім'ей у біосфері.	<b>Зв'язок:</b> залежить_від_активності, підвищує_врожайність_рослин.	<b>Параметри:</b> інтенсивність_запилення, площа_оброблених_культур.	Реальне	Запилення_Поле1, Запилення_Поле2





Рис. 1. Спрощена графічна модель семантичної мережі

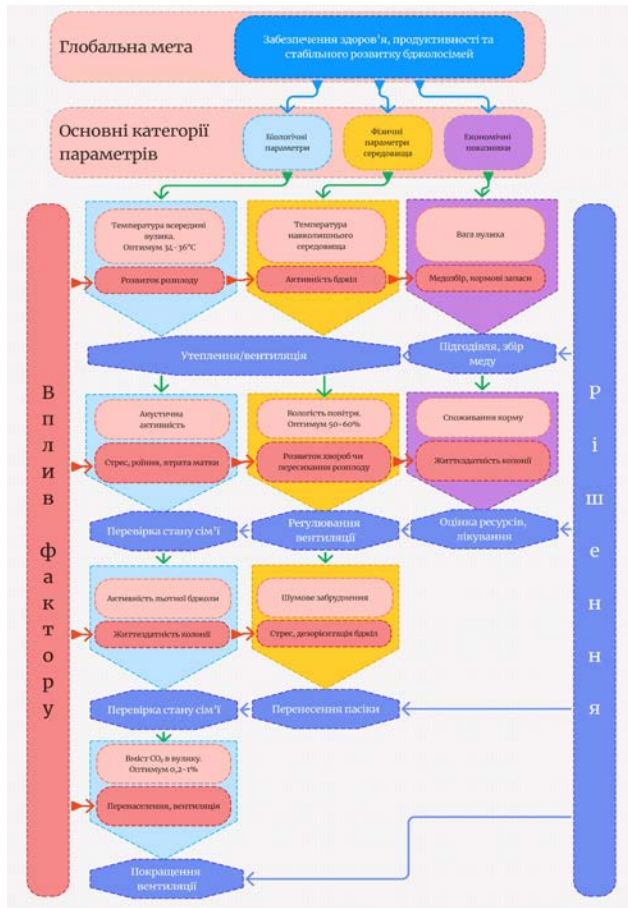


Рис. 2. Ієрархія предметної області онтології «система керування пасікою»

через низьку активність бджіл, тоді як у весняно-осінній період частота вимірювань зростає через інтенсивну діяльність бджіл.

Критичним показником стану бджолоосім'ї є температура гнізда, яка є показником здоров'я і продуктивності. Оптимальний температурний режим забезпечує:

1) розвиток личинок – стабільна температура є необхідною для нормального росту; аномалії призводять до порушень розвитку;

2) терморегуляцію гнізда – бджоли активно підтримують температуру, а контроль дозволяє вчасно виявити дисбаланс;

3) активність бджіл – температурний режим впливає на роботу бджіл, включно зі збором нектару та пилку.

Оптимальна періодичність вимірювань встановлена емпірично: у літній період температуру слід контролювати кожні 15 хвилин, а взимку – два рази на добу.

Наступним показником по важливості є вага вулика. Контроль ваги дозволяє:

1) контролювати запаси меду – вагові зміни дають змогу оцінити кількість меду, планувати його відбір та своєчасно забезпечити підгодівлю;

2) оцінювати розвиток бджолоосім'ї – добові коливання ваги свідчать про активність бджіл під час збору нектару та ефективність їхньої роботи;

3) прогнозувати стан бджолоосім'ї – різке падіння ваги може сигналізувати про хвороби чи нестачу кормових запасів, що потребує оперативного реагування;

4) оптимізувати процес годування – дані про вагу допомагають визначати необхідність підгодівлі та регулювати її обсяги;

5) визначати потребу у весняному годуванні – зимові вимірювання дають змогу оцінити запаси корму та підготувати бджолоосім'ю до весняного розвитку і почати його в оптимальний момент.

Оптимальна періодичність вимірювань встановлена емпірично: у літній період вагу слід контролювати щогодини, а взимку – один раз на добу.

Третім критичним показником є вологість в гнізді. Контроль вологості є важливим для запобігання грибкових захворювань, підтримання оптимальних умов для розвитку личинок та забезпечення продуктивності бджолоосім'ї. Оптимальний рівень вологості забезпечує:

1) терморегуляцію – вища вологість підвищує ефективність охолодження гнізда;

2) збереження меду – запобігає кристалізації меду та втраті його поживних властивостей;

3) поведінку бджіл – низька вологість викликає стрес і знижує активність бджіл;

4) здоров'я личинок – надмірна вологість сприяє утворенню плісняви, що шкодить личинкам.

Коливання вологості в різні періоди року слугує вирішенню різних завдань. Так у весняно-літній період пріоритетом вимірювання вологості є підтримка активності бджіл та терморегуляції

гнізда. В осінній період вимірювання вологості дозволяє визначити умови зберігання корму і допомагає оптимізувати підготовку зо зими.

Небезпечні зміни вологості дозволяють системі шляхом сповіщення, або в автоматизованому режимі запобігти плісняві і оптимізувати терморегуляцію.

Вологість слід узгоджувати з температурними показниками для енергозбереження та здоров'я бджіл. Оптимальна періодичність вимірювань встановлена емпірично: один замір на годину взимку (грудень-лютий) та два заміри на годину в інші сезони.

Окрім наведеного оптимальний стан бджолосім'ї великою мірою залежить від зовнішніх метеорологічних параметрів. Для поліпшення прогностичної якості системи керування слід контролювати основні атмосферні параметри: температуру і вологість. Також можуть поліпшити наукові пошуки та якість системи такі метеорологічні параметри як атмосферний тиск, кількість опадів, сонячна активність.

Періодичність вимірювання метеорологічних факторів відповідає усталеному у галузі і становить один замір на 15 хвилин.

**Висновки.** Вперше запропонована побудова онтології процесу моніторингу бджолосімей, що не лише є технічним етапом, а фундаментальним філософсько-науковим завданням. Вона забезпечує системне пізнання, структурування знань, інтеграцію технічних і біологічних аспектів та формує основу для створення адаптивних інтелектуальних систем, що працюють у гармонії з природою. Таким чином, онтологія є ключовим елементом для розуміння та управління складними природно-технічними системами, якими є бджолосім'ї в умовах сучасного світу.

З позицій філософії впровадження систем моніторингу бджолосімей є стратегічним інструментом для вирішення глобальних екологічних та технологічних викликів сучасності: воно сприяє збереженню біорізноманіття шляхом підтримки

бджіл як ключових елементів екосистем, забезпечує раціональне використання ресурсів через оптимізацію продуктивності з мінімальними витратами та дозволяє контролювати техногенний вплив, мінімізуючи негативні наслідки промислової діяльності для довкілля.

Нове рішення по аналізу параметрів і їх взаємозв'язків дає розуміння необхідності контролю на пасіках – температури, ваги та вологості – що є критичним для підтримання здоров'я та продуктивності бджолосімей. Температура гнізда забезпечує стабільний розвиток личинок, ефективну терморегуляцію та оптимальну активність бджіл. Встановлено, що в літній період її слід вимірювати кожні 15 хвилин, а взимку – двічі на добу. Вага вулика є ключовим показником запасів меду, розвитку бджолосім'ї та прогнозування її стану. Добові коливання ваги дозволяють оцінити ефективність збору нектару, вчасно виявити критичні зміни, такі як нестача корму чи хвороби, та оптимізувати процес годування. У літній період вагу слід контролювати щогодини, а взимку – один раз на добу.

Вологість гнізда впливає на терморегуляцію, збереження меду, активність бджіл і розвиток личинок. Підтримання оптимального рівня вологості дозволяє запобігти утворенню плісняви, яка є шкідливою для личинок. Взимку рекомендовано вимірювати вологість щогодини, а в інші періоди – двічі на годину. Окрім внутрішніх параметрів, важливо контролювати зовнішні метеорологічні умови, такі як температура, вологість, атмосферний тиск, кількість опадів і сонячна активність, що покращує прогностичну якість системи. Оптимальна періодичність вимірювань метеорологічних факторів становить 15 хвилин. Систематичний моніторинг цих показників забезпечує ефективний контроль стану бджолосімей та підвищує загальну продуктивність пасіки.

Тож можна вважати доцільним подальшу розробку онтологічної моделі «система керування пасікою» і реалізація її засобами спеціалізованого програмного забезпечення, зокрема Protégé [19].

### Список літератури:

1. Winston M., The biology of the honey bee. London, England: First Harvard University Press, 1991.
2. Мікла І. А., Кісь В. М. Система контролю стану бджолої сім'ї. *Матеріали МНІК «Інноваційні розробки в аграрній сфері», ХНТУСГ, ННІ МСМ.* 12–13 грудня 2019 року. С. 122–123.
3. Southwick E. E., Moritz R. F. A. Social Control of Thermoregulation in Honeybee Colonies. *Naturwissenschaften*, 1987.
4. Human, H. Influence of Temperature and Humidity on the Development of the Honeybee. *Journal of Apicultural Research*, 2006.
5. Meikle, W. G., et al. Monitoring Honeybee Colonies Using Digital Technologies. *Apidologie*, 2016.
6. Ferrari, S., et al. Monitoring of Honeybee Sounds. *Journal of Apicultural Science*, 2008.
7. Stalidzans, E. CO<sub>2</sub> Concentration as an Indicator of Colony Condition. *Biosystems Engineering*, 2017.

8. Reyes, A. E. Impact of Pesticides on Bee Foraging Behavior. *Environmental Entomology*, 2019.
9. Broodminer. URL: <https://broodminder.com/> (дата звернення: 19.12.2024).
10. Arnia Remote Hive Monitoring. URL: <http://www.arnia.co.uk/> (дата звернення: 19.12.2024).
11. HiveTool.Net. URL: <http://hivetool.net/> (дата звернення: 19.12.2024).
12. ApisProtect. URL: <https://apisprotect.com/> (дата звернення: 19.12.2024).
13. BuzzBox. URL: <https://www.osbeehives.com/> (дата звернення: 19.12.2024).
14. Іванишин В., Мошенський А., Концепція автоматизованої системи моніторингу пасіки на основі технології LORA з використанням сенсорів реального часу. Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки, Том 35 (74) № 5, частина 1. 2024. С. 149–153.
15. Руденко Є., Маслій І., Немкова С., Основні напрями та шляхи розвитку бджільництва. Вісник аграрної науки. 2006. № 5. С. 40–42.
16. Gruber, T. Ontology. In: Liu, L., Özsu, M. (eds) *Encyclopedia of Database Systems*. Springer, New York, 2016.
17. Сілагін О. В., Денисюк В. О. Онтологічне моделювання бази знань з організації подорожей. Український журнал інформаційних технологій. 2022, т. 4, № 1. С. 44–52.
18. Іленков А. Термінологія та її роль у представленні знань / Анжей Іленков. *Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка»*. Серія «Проблеми української термінології», 2009. № 648. С. 24–29.
19. Protégé URL: <https://apisprotect.com/> (дата звернення: 19.12.2024).

### **Ivanyshyn V.V., Moshensky A.O. ONTOLOGICAL STRUCTURE AND PARAMETERS OF THE APIARY CONTROL SYSTEM MEASUREMENTS**

*The bee family as a complex social system constantly interacts with the environment, adapting to its changes. The basic elements of effective apiary management are the systematic monitoring of the state of the bee colony and environmental parameters. This process is necessary to create optimal conditions for colony development to increase its productivity.*

*The frequency of parameter measurements should be optimized for the balance of energy saving and depends on the dynamics of the bee colony life cycle and seasonal changes in the environment. In the winter, when bee activity is minimal, measurements can be made less frequently. Instead, in the spring and summer season, when bee colonies are highly active and worker bees are intensively collecting nectar and pollen, the frequency of measurements usually increases.*

*The main measured parameters that can ensure the realization of the tasks of the apiary management system include: temperature, air humidity, hive weight, acoustic monitoring, CO<sub>2</sub> content in the hive, flight bee activity, external noise level and climatic parameters of the environment.*

*The integration of these parameters into the monitoring system will provide a full analysis of the state of bee colonies and allow for scientifically based management decisions to optimize the condition of bees to increase productivity and colony health, including in an automated mode. The use of modern technologies, in particular wireless sensors, allows to automate the processes of data collection and their subsequent analysis.*

*The article proposes an ontological model that reveals the main measurable parameters of the monitoring system, their limits, essence, interconnection and level of influence on the functioning of the apiary.*

*The developed ontological apiary management system serves as a fundamental basis for further research and technological improvements in the field of beekeeping automation. Its structural versatility allows the system to be integrated into scalable IoT solutions focused on the agricultural sector. The implementation and practical application of the proposed system will significantly improve the efficiency of bee farm management, minimize the risk of colony loss, optimize the dynamics of bee colonies and enhance the effect of pollination of entomophilous plants, which is critical for agroecosystems and global food security.*

**Key words:** *beekeeping, system, ontology, bee colony monitoring, apiary automation, Internet of Things (IoT), temperature sensors, weight sensors, apiary.*