

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, кандидата технічних наук, доцента
МИРОНОВОЇ НАТАЛІ ОЛЕКСІЇВНИ
на дисертаційну роботу ВЕДМЕДЄВА Станіслава Руслановича
«Підтримка прийняття рішень при вирощуванні соняшнику на основі
цифрової технології фенотипування»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю
124 Системний аналіз

Актуальність теми дослідження

Стратегічні орієнтири концепції Agriculture 4.0 диктують необхідність формування якісно нового інформаційно-аналітичного базису для побудови цифрових двійників (Digital Twins) у рослинництві. Ключова наукова проблема, на розв'язання якої спрямовано дисертацію, полягає в подоланні системного розриву між високою потребою у віртуалізації біологічних об'єктів та фрагментарним характером первинних фенотипових даних, позбавлених уніфікованого семантичного контексту. Застосування апарату онтологічного моделювання дозволило створити єдиний концептуальний каркас предметної області, що виступає фундаментальною інфологічною основою для подальшого проєктування цифрового двійника рослини.

Наукова цінність роботи зумовлена вдалим інтеграційним поєднанням інструментів комп'ютерного зору (для програмного вилучення метричних ознак об'єктів мовою Python) та онтологічного інжинірингу (авторська модель HELIANTUS із розділенням рівнів TBox і ABox).

Такий алгоритмічний контур забезпечує систематизацію сирих даних та їх трансформацію у формалізовану базу знань із можливістю автоматичного логічного виведення рішень. Представлена дисертаційна робота є актуальною, має теоретичну та прикладну значущість і відповідає профілю спеціальності 124 «Системний аналіз».

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Робота виконана відповідно до планів науково-дослідних робіт Національного університету «Запорізька політехніка» у межах тем: ДБ05022 (РК 0121U113264) «Розвиток методів дослідження складних соціально-економічних систем на основі інтелектуальних технологій» та НДР № 05014 «Прийняття ефективних рішень на основі інтелектуальних технологій та відкритих даних».

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків й рекомендацій, сформульованих у дисертації

Наукова новизна одержаних результатів

1. Удосконалено структуру цифрової моделі рослини соняшнику на основі чотирирівневої архітектури Digital Phenotyping System, яка забезпечує інтеграцію процесів збору, збереження, обробки та аналізу різнорідних даних. Запропонована архітектура поєднує результати лабораторного та польового фенотипування з параметрами навколишнього середовища, агротехнологічними факторами та джерелами дистанційного моніторингу, що створює основу для побудови цифрового двійника рослини та реалізації предиктивного моделювання її розвитку.

2. Удосконалено предметну онтологічну модель агросистеми вирощування соняшнику HELIANTUS, яка забезпечує семантичну інтеграцію генетичних, фенотипових, агрокліматичних та технологічних даних у межах єдиного інформаційного простору. Запропонований підхід передбачає трансформацію результатів цифрового фенотипування у формалізовані знання на основі концепцій TBox та ABox, що створює можливість застосування механізмів логічного виведення для автоматизованого аналізу причинно-наслідкових зв'язків у системі «генотип – середовище».

3. Вперше розроблено метод цифрового фенотипування рослинних об'єктів на основі зображень, який реалізує оптимізацію параметрів реєстрації даних. Метод забезпечує автоматизоване виділення та високоточне оцінювання морфологічних, структурних і колірних характеристик насіння соняшнику за кількісними дескрипторами.

4. Удосконалено цифрову технологію фенотипування із формуванням інтегрованих наборів даних (datasets), яка забезпечує семантично узгоджене формування наборів даних відповідно до онтологічної моделі HELIANTUS та їх подальшу інтеграцію до бази знань.

Винесені на захист положення відображають наукові результати автора та є обґрунтованими. Обґрунтованість результатів роботи підтверджується використанням загальнонаукових та спеціальних методів дослідження: методи системного аналізу – для визначення архітектури системи цифрового фенотипування; формалізації задачі цифрового фенотипування рослинних об'єктів як оптимізаційної задачі вибору параметрів фотофіксації, що забезпечує найменшу похибку вимірювання морфологічних ознак, побудови методу цифрового фенотипування рослинних об'єктів на основі зображень; методи онтологічного моделювання – для концептуалізації предметної області дослідження, а саме вирощування соняшнику; методи дескриптивної логіки – для

побудови логічного каркаса онтологічної бази знань, для забезпечення автоматизованого логічного виведення й верифікації структури моделі; методи математичної статистики – для формулювання та перевірки статистичних гіпотез щодо значущості виявлених переваг певних наборів параметрів зйомки; методи цифрової обробки зображень та алгоритмізації – для програмної реалізації алгоритмів автоматизованого вимірювання фенотипових ознак насіння соняшнику.

Структура та зміст дисертації

Дисертація складається з анотації, переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків.

У вступі розкрито актуальність наукової проблематики, чітко сформульовано мету й підпорядкований їй комплекс дослідницьких завдань, окреслено об'єкт та предмет розробки. Автор наводить систематизований опис методологічного інструментарію, висвітлює елементи наукової новизни, викладає практичну цінність одержаних результатів, а також подає вичерпну інформацію щодо апробації положень роботи та їх висвітлення у фахових публікаціях.

У першому розділі «Процеси цифрової трансформації аграрної галузі» закладено концептуальний базис роботи на основі аналізу світового досвіду з фенотипування, цифрових двійників, комп'ютерного зору, онтологічного інжинірингу та ІСППР. Обґрунтовано імператив data-driven підходу в селекції соняшнику та визначено граничні обмеження для моделювання відповідно до ДСТУ 2240-93, ДСТУ 4138-2002 і ДСТУ 7160:2020. Доведено неадаптованість глобальних онтологій до агроекологічних умов Півдня та Сходу України, а проведений SWOT-аналіз виявив ключову суперечність між масштабністю агроданих та їхньою семантичною роз'єднаністю, що й зумовило постановку подальших завдань дослідження.

У другому розділі «Концептуальні засади та інструментарій побудови цифрових моделей рослини соняшнику» представлено теоретико-методологічне проектування архітектури цифрової моделі соняшнику з урахуванням фундаментальної детермінації «генотип – середовище». Автором запропоновано та деталізовано чотирирівневу систему інтеграції гетерогенних даних (Digital phenotyping system), яка забезпечує повний цикл опрацювання інформації – від первинного

апаратного знімання сигналів до побудови предиктивних моделей. Сформовано структурований каркас, що поєднує підсистеми фенотипічних параметрів із матрицями зовнішніх впливів, із чітким визначенням джерел і методів агрегації даних. Доведено, що використання предметних онтологій і семантичних правил є критичною умовою трансформації фрагментарних результатів фенотипування у формалізоване середовище знань, яке відповідає міжнародним принципам FAIR. Також викладено концептуальні засади й критерії метричної оцінки побудованих онтологій.

У третьому розділі «Онтологічне моделювання вирощування соняшника» здійснено математико-логічну формалізацію, побудову та перевірку якісних характеристик онтологічної бази знань HELIANTUS. Здобувач детально формалізував вимоги до моделі й детермінував інформаційні потреби користувачів, після чого модернізував предметну модель агросистеми, забезпечивши семантичний синтез генетичних, фенотипових, агрокліматичних і технологічних даних. Важливим здобутком є проведення семантичного оцінювання та визначення топологічної якості структури розробленої онтології за допомогою математичних метрик. Розділ логічно узагальнюється висновками щодо структурно-семантичної спроможності моделі HELIANTUS та окресленням перспектив її розширення шляхом автоматизації наповнення простору фактів із відкритих наукових джерел.

У четвертому розділі «Цифрова технологія фенотипування та формування datasets» висвітлено вдосконалену цифрову технологію фенотипування й алгоритми генерації інтегрованих датасетів, семантично узгоджених із моделлю HELIANTUS для їх безперешкодної імплементації в базу знань. Наукове та прикладне значення має розроблений авторський метод цифрового фенотипування на основі традиційного комп'ютерного зору, що отримав повну програмно-алгоритмічну реалізацію. Працездатність розробленого програмного забезпечення для аналізу морфології насіння за фотозображеннями підтверджено серією випробувань на репрезентативних вибірках із різноманітними текстурними характеристиками, що довело спроможність методу мінімізувати варіативність цифрових даних. Практичну значущість технології повністю засвідчено її успішним впровадженням у селекційну практику Інституту олійних культур НААН України.

Загальні висновки дисертаційної роботи підсумовують ключові наукові та прикладні здобутки дослідження, у повній мірі відображають виконання усіх поставлених завдань і підтверджують високий теоретичний та практичний рівень виконаного наукового пошуку.

Практичне значення отриманих результатів

Практична значущість результатів дослідження зумовлена створенням комплексного програмного, алгоритмічного та онтологічного інструментарію підтримки прийняття рішень при вирощуванні та селекції соняшнику. Авторське прикладне ПЗ забезпечує автоматизоване вилучення об'єктивних морфометричних характеристик насіння з цифрових зображень. Сформована на основі онтології HELIANTUS база знань уможлиблює виявлення причинно-наслідкових залежностей у системі «генотип – середовище», а чотирирівнева архітектура Digital Phenotyping System створює належний інформаційний базис для розбудови цифрових двійників рослини.

Прикладна цінність результатів дисертаційного дослідження Ведмедева С. Р. засвідчена серією успішних впроваджень у освітній процес Національного університету «Запорізька політехніка» на кафедрі системного аналізу та обчислювальної математики у викладання фахових дисциплін (акт впровадження від 28.11.2025 р.); у наукову та селекційну практику Інституту олійних культур НААН України для створення приладу фенотипування насіння, формування бази морфологічних ознак ліній (акт № 448 від 20.12.2023 р.), а також для виконання фундаментальних завдань за програмами ПНД 17 та ПНД 25 щодо створення джерел і донорів цінних господарських ознак (акт № 162 від 18.06.2026 р.).

Відомості про дотримання академічної доброчесності

Дисертаційна робота та наукові публікації Ведмедева Станіслава Руслановича повністю відповідають встановленим стандартам академічної доброчесності.

Зауваження до змісту та оформлення дисертації

Позитивно оцінюючи науково-теоретичний рівень дисертаційної роботи Ведмедева С. Р., її прикладну значущість, системну цілісність та обґрунтованість сформованих моделей, вважаю за доцільне висловити такі дискусійні зауваження та рекомендації.

1. Здобувач обґрунтував концептуальний інформаційно-семантичний базис для створення цифрових двійників рослин, але не в повній мірі деталізував у тексті роботи перелік даних, необхідних для переходу від 2D-фенотипування до повноцінного тривимірного цифрового двійника. Доцільно було б більш розгорнуто висвітлити вимоги до інтеграції

динамічних фізіолого-біохімічних показників, а також чіткіше окреслити математико-алгоритмічний потенціал побудови прецизійних 3D-моделей на основі наявних в онтології просторових дескрипторів.

2. У теоретичному обґрунтуванні розробленої «цифрової технології фенотипування та формування датасетів» бажано було б більш чітко розмежувати класичне поняття «інтелектуальної інформаційної технології» та «цифрової технології», підкресливши її ключову відмінність в забезпеченні повного предметного циклу – від безпосереднього автоматизованого вилучення первинних дескрипторів із біологічного об'єкта засобами комп'ютерного зору до їх семантичного узгодження в онтології.

3. Для більш наочної демонстрації практичної цінності розробленої системи у тексті роботи бажано було б навести формалізовані сценарії прийняття рішень за сквозною схемою: вхідні дані (трансфер первинних метрик від Python-модулів комп'ютерного зору на рівень екземплярів ABox), що передаються до роботи Reasoner (логічне виведення на основі аксіом та SWRL-правил), на підставі чого формуються вихідні рекомендації для інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень

4. Для оптимізації сприйняття основного матеріалу дисертації, зокрема у третьому розділі, доцільно було б винести об'ємні табличні представлення метрик оцінки якості побудованої онтології з основного тексту дисертації у Додаток. В основній частині роботи варто було залишити лише підсумкові інтерпретаційні висновки щодо структурно-семантичної спроможності та логічної повноти бази знань.

Висловлені зауваження та рекомендації мають науково-консультативний та спрямовуючий характер, торкаються перспектив подальшого розвитку дослідження та жодним чином не знижують загальну високу позитивну оцінку дисертаційної праці.

Висновок щодо відповідності дисертації встановленим нормам

Дисертація Ведмедєва Станіслава Руслановича «Підтримка прийняття рішень при вирощуванні соняшнику на основі цифрової технології фенотипування» є завершеною самостійною науковою працею, яка містить нові, актуальні наукові результати, які в сукупності забезпечують розв'язання важливої науково-практичної проблеми розбіжності між стрімким зростанням обсягів первинних цифрових агротехнологічних даних та низьким рівнем їх системної типізації й логічної структурованості для автоматизованого прийняття рішень.

Дисертація повністю відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (з наступними змінами) та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р., а її автор Ведмедєв Станіслав Русланович заслуговує присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 124 «Системний аналіз».

Кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інформаційних
технологій електронних засобів
Національного університету
«Запорізька політехніка»

06.08.2026


Наталя МИРОНОВА

