

ВІДГУК
офіційного опонента на дисертаційну роботу
ВЕДМЕДЄВА Станіслава Руслановича
«Підтримка прийняття рішень при вирощуванні соняшнику на основі
цифрової технології фенотипування»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
в галузі знань 12 Інформаційні технології
за спеціальністю 124 Системний аналіз

Актуальність теми дисертації. Сучасний етап розвитку світового агропромислового комплексу характеризується стрімким переходом до концепції Agriculture 4.0, яка передбачає всебічну цифровізацію, впровадження технологій комп'ютерного зору, інтернету речей та інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. Для України, де аграрний сектор є одним із ключових для економіки, а соняшник (*Helianthus*) – провідною високорентабельною олійною культурою, модернізація процесів його вирощування та селекції на основі новітніх інформаційних технологій має стратегічне значення.

Актуальність дисертаційного дослідження ВЕДМЕДЄВА Станіслава Руслановича зумовлена низкою фундаментальних прикладних факторів.

Традиційні емпіричні підходи до селекції та вирощування соняшнику в умовах високої стохастичності, кліматичних змін та постійних ризиків біотичного стресу вичерпали свій потенціал. Ефективне нівелювання цих ризиків потребує переходу до точних цифрових методів аналізу системи «генотип – середовище».

Розробка методів прецизійного цифрового фенотипування за допомогою комп'ютерного зору дозволяє подолати суб'єктивізм у фенотипуванні та автоматизувати цей процес, забезпечуючи високу точність та стандартизацію цифрових паспортів селекційного матеріалу.

На сьогодні в аграрній галузі спостерігається суттєве науково-практичне протиріччя: обсяги цифрових агротехнологічних даних стрімко зростають, проте вони у багатьох випадках залишаються фрагментарними, неструктурованими та семантично несумісними. Існуючі глобальні онтологічні системи не мають необхідного рівня деталізації для цифрової селекції соняшнику та не враховують специфіку вітчизняного землеробства, зокрема агроекологічних умов Південної та Східної України.

Дисертаційна робота ВЕДМЕДЄВА С.Р. спрямована на створення концептуальних засад побудови цифрових моделей рослин, розробку методів комп'ютерного фенотипування та впровадження предметної онтології соняшнику HELIANTUS. Ця робота є актуальною, своєчасною та практично значущою для розвитку інтелектуальних інформаційних технологій в агропромисловому комплексі України.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає у таких аспектах:

1. Удосконалено структуру цифрової моделі 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, яка забезпечує семантично узгоджене формування наборів даних відповідно до онтологічної моделі HELIANTUS та їх подальшу інтеграцію до бази знань.

Сформульовані положення наукової новизни відображають результати особистого внеску дисертанта при виконанні досліджень у обраному напрямі досліджень. Належна обґрунтованість та достовірність результатів забезпечена достатньою кількістю теоретичних та практичних досліджень, використанням різноманітних прийомів аналізу поставлених задач, достатньою джерельною базою та апробацією отриманих результатів.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

За своїм змістом дисертаційна робота ВЕДМЕДСВА С.Р. повністю відповідає стандарту вищої освіти зі спеціальності 124 Системний аналіз в галузі знань 12 Інформаційні технології та напрямам досліджень відповідно до

освітньо-наукової програми «Системний аналіз». Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, наведені результати та висновки свідчать про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Системний аналіз».

Робота не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату, запозичень або несанкціонованого використання результатів інших авторів. Використані дисертантом ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела. Робота ВЕДМЕДСВА Станіслава Руслановича відповідає принципам академічної доброчесності.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою. Текст роботи відзначається послідовністю та логічністю викладення матеріалу. Кожен розділ має чітку структуру, яка допомагає орієнтуватися у змісті дослідження. Стиль викладення є науковим, що відповідає вимогам до дисертаційних робіт. Автор використовує загальноприйнятну термінологію наукового напрямку, що полегшує розуміння тексту спеціалістами у відповідній галузі.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 247 сторінки, вона має 34 рисунки, 22 таблиці, 3 додатки, перелік використаних літературних джерел, що містить 232 бібліографічних найменування.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, задачі, об'єкт і предмет дослідження, описано методи дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, надано відомості про апробацію та публікації за темою дисертації.

У першому розділі «Процеси цифрової трансформації аграрної галузі» виконано комплексний системний аналіз сучасного стану цифровізації аграрних досліджень та визначено теоретико-методологічну базу для подальшої роботи. Досліджено сучасні світові підходи до цифрового фенотипування рослин, побудови цифрових двійників біологічних об'єктів, методів комп'ютерного зору, онтологічного моделювання та інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. Доведено необхідність переходу до методів на основі даних (data-driven) при вирощуванні та селекції соняшнику для нівелювання факторів невизначеності, стохастичності та біотичного стресу. Визначено нормативні межі на основі чинного законодавства України та профільних стандартів (ДСТУ 2240-93, ДСТУ 4138-2002, ДСТУ 7160:2020) щодо критеріїв якості насіння, які сформували базу обмежень для майбутнього математичного моделювання. Критично проаналізовано глобальні онтології та виявлено неврахування специфіки агроекологічних умов Південної та Східної України, що є основою обґрунтування потреби в розробці власної моделі знань.

Проведено SWOT-аналіз впровадження цифрових технологій у селекції соняшнику в умовах концепції Agriculture 4.0. Виявлено ключову суперечність між великим обсягом агрономічних даних та їх низькою семантичною

сумісністю. На цій основі чітко визначено завдання для наступних розділів, зокрема, удосконалення моделей соняшнику, розробка методів комп'ютерного зору для фенотипування та створення технології формування сумісних наборів даних.

У другому розділі «Концептуальні засади та інструментарій побудови цифрових моделей рослини соняшнику» представлено ґрунтовне теоретико-методологічне обґрунтування архітектури цифрової моделі досліджуваної культури, в основу якої покладено фундаментальну взаємодію «генотип – середовище». Удосконалено структуру та визначено ключові архітектурні етапи побудови цифрової моделі рослини соняшнику. Запропоновано послідовну чотирирівневу систему інтеграції різнорідних даних (Digital phenotyping system), яка охоплює процеси від первинної апаратної реєстрації даних за предиктивним моделюванням. Сформовано комплексну структуру, що об'єднує підсистеми фенотипових ознак із параметричними матрицями зовнішнього впливу. Для кожної підсистеми визначено джерела даних та методи їх агрегування. Доведено, що застосування предметних онтологій та апарату семантичних правил є ключовою системною умовою для трансформації розрізнених і декомпонованих результатів фенотипування у формалізоване, FAIR-сумісне середовище знань. Визначено концептуальний базис та критерії метричного аналізу онтологій.

У третьому розділі «Онтологічне моделювання вирощування соняшника» здійснено комплексний системний аналіз, формалізацію та оцінку структурно-семантичної якості розробленої бази знань онтології соняшнику HELIANTUS. Проведено детальну формалізацію вимог до онтологічної моделі та детермінацію інформаційних потреб кінцевого користувача. Модернізовано предметну модель агросистеми HELIANTUS, що забезпечує семантичну інтеграцію генетичних, фенотипових, агрокліматичних та технологічних даних у межах єдиного інформаційного простору. Здійснено семантичну оцінку якості онтологічної моделі. Виконано оцінку якості структури онтологічної моделі на основі математико-топологічних метрик. У розділі підсумовуються результати структурно-семантичного аналізу онтології HELIANTUS та визначено перспективні напрями її масштабування через автоматизацію наповнення простору фактів з відкритих наукових репозиторіїв.

У четвертому розділі «Цифрова технологія фенотипування та формування datasets» представлено вдосконалену цифрову технологію фенотипування та формування інтегрованих датасетів. Запропоноване рішення базується на принципах семантичної узгодженості з онтологічною моделлю HELIANTUS, що забезпечує їхню коректну подальшу інтеграцію до загальної бази знань. Наукову цінність розділу становить розроблений метод цифрового фенотипування рослинних об'єктів на основі аналізу зображень, для якого створено повну програмно-алгоритмічну реалізацію. Ефективність та життєздатність створеного цифрового інструментарію доведено шляхом комплексних експериментальних випробувань і валідації результатів під час обробки реального біологічного матеріалу. Описано розроблене автором прикладне програмне забезпечення для

вивчення морфологічних ознак насінини соняшнику за фотозображеннями. Експериментальна валідація створеного інструментарію на репрезентативній вибірці насіння соняшнику з різними типами текстурних візерунків підтвердила ефективність методу для мінімізації мінливості цифрових даних. Практична цінність розробленої технології підтверджується її успішним впровадженням у селекційно-генетичну практику Інституту олійних культур НААН України.

Загальні висновки дисертаційної роботи Ведмедева С.Р. є логічним підсумком проведеного дослідження, повністю відображає вирішення поставлених завдань і має наукову та практичну цінність.

Узагальнюючим науковим здобутком роботи є розробка концептуальних та технологічних засад створення цілісного інтелектуального інформаційного середовища цифрової селекції соняшнику. Автор успішно поєднав цифрові моделі рослин, онтологічне представлення знань та методи комп'ютерного зору, що є вагомим внеском у вирішення фундаментальної науково-практичної проблеми інтеграції та автоматизованого використання великих масивів агротехнологічних даних. Належної оцінки заслуговує також удосконалення цифрової моделі соняшнику, в основу якої покладено фундаментальну взаємодію «генотип – середовище».

Важливе практичне значення має розроблений метод цифрового фенотипування рослинних об'єктів на основі зображень. Вагомим прикладним внеском є удосконалення цифрової технології фенотипування із формуванням інтегрованих наборів даних. Технологія гарантує наскрізну синтаксичну та семантичну стандартизацію результатів експериментів відповідно до вимог онтології HELIANTUS, перетворюючи розрізнену інформацію у структуровані ресурси, повністю придатні для інтелектуального аналізу даних та предиктивного моделювання.

Сформульовані автором висновки повністю корелюють із метою дисертації, є цілком обґрунтованими, логічно послідовними та належним чином підтверджуються результатами експериментальних досліджень та актами практичного впровадження.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог Міністерства освіти і науки України.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Основні положення дисертації відображені у 16 наукових працях, з яких 4 статті у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у науковому виданні іншої держави, 9 тез наукових доповідей, 1 матеріали міжнародної конференції, що індексовані у *Scopus*.

Публікації повною мірою висвітлюють наукові результати, що виносяться на захист. Вони мають достовірну наукову базу та є результатом самостійних

досліджень. Наукові положення та висновки дисертації, що виносяться на захист, належать здобувачу і повністю висвітлені у наукових публікаціях.

Зауваження та побажання до дисертаційної роботи

1. У першому розділі автором обґрунтовано потребу в залученні високопродуктивних обчислювальних ресурсів для обробки великих національних баз даних. У третьому розділі дисертації наводиться аналіз структурно-топологічних метрик онтології HELIANTUS та зазначається, що обрана планарно-вертикальна архітектура дозволяє оптимізувати часові витрати машин логічного виведення. Водночас у роботі не висвітлено питання обчислювальної складності та швидкодії системи, застосування машин логічного виведення (Pellet, HermiT тощо), які виявлять найвищу ефективність в умовах масштабування простору фактів.

2. У четвертому розділі дисертаційної роботи декларується створення спеціалізованих наборів даних за фотозображеннями насіння соняшнику та обґрунтування технології їхнього формування. Проте із тексту дисертації та опублікованих праць залишається незрозумілим, чи були зазначені датасети оприлюднені у відкритих міжнародних або національних репозиторіях наукових даних, зокрема, Zenodo, GitHub тощо. Розміщення цих матеріалів у відкритому доступі із забезпеченням постійних ідентифікаторів (DOI) повною мірою відповідало б сучасним принципам Відкритої науки, які є невіддільною частиною парадигми Agriculture 4.0.

3. Деякі рисунки, наведені у дисертаційній роботі, можна було зробити більш чіткими та розбірливими. Адже лише в окремих випадках підвищення якості рисунків є фізично неможливим. Дисертаційна робота від цього безумовно виграла б.

4. У дисертаційній роботі немає необхідності використовувати трирівневу нумерацію рисунків на кшталт Рис.2.2.1, Рис.2.2.2 тощо – достатньо було б обмежитися дворівневою нумерацією рисунків. Трирівнева нумерація таблиць також є недоцільною, оскільки кількість наведених таблиць та загальний обсяг роботи дозволяють використовувати їх дворівневу нумерацію.

5. Недоцільно наголошувати на тому, яка кількість використаних джерел налічується кириличним шрифтом, а яка – латиною. Така деталізація є очевидно надлишковою.

6. Деякі умовні скорочення застосовано необґрунтовано, оскільки вони зустрічаються в тексті дисертації лише кілька разів.

7. При безумовній практичній цінності результатів, у роботі бракує чітких рекомендацій щодо розгортання онтології соняшнику HELIANTUS у реальному секторі. Здобувач окреслює загальні галузі застосування технології фенотипування, проте прикладні вимоги до інтеграції семантичного ядра з діючою інформаційною інфраструктурою Інституту олійних культур НААН

України чи органів сертифікації сортів залишилися поза увагою, що ускладнює оцінку готовності системи до швидкого впровадження.

Однак, наведені зауваження не є визначальними, вони не зменшують загальну наукову новизну та практичну значущість результатів роботи, не впливають на загальну позитивну оцінку представленої дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

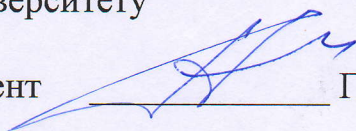
Дисертаційна робота ВЕДМЕДСВА С.Р. «Підтримка прийняття рішень при вирощуванні соняшнику на основі цифрової технології фенотипування» є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому отримано нові науково обґрунтовані результати, що мають істотне значення для застосування інформаційних технологій при здійсненні селекційної діяльності та при вирощуванні соняшнику.

За рівнем наукової новизни, теоретичної обґрунтованості, практичної значущості та повноти оприлюднення результатів дисертація відповідає вимогам пунктів 6–9 «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 від 12.01.2022 № 44.

Дисертація повністю відповідає вимогам до кваліфікаційних робіт відповідного рівня, а її автор ВЕДМЕДСВ Станіслав Русланович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 124 Системний аналіз.

Офіційний опонент:

Заступник декана з наукової роботи
факультету інформаційних технологій
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка,
кандидат технічних наук, доцент



Григорій ГНАТИЧЕНКО



ПРОРЕКТОР
З НАУКОВОЇ РОБОТИ
У С. ЖИЛІНСЬКА