

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи

Національного університету

«Запорізька політехніка», д.т.н., проф.

Вадим ШАЛОМЄЄВ

18 червня 2026 р.



ВИТЯГ

з протоколу №17

розширеного засідання кафедри системного аналізу та обчислювальної математики факультету комп'ютерних наук і технологій Національного університету «Запорізька політехніка» (НУ «Запорізька політехніка»)

від 18 червня 2026 р.

ПРИСУТНІ:

Головуюча на засіданні – Бакурова А.В. – професор кафедри системного аналізу та обчислювальної математики, д.е.н., професор;

Секретар – Потапова Ю.А., старший лаборант кафедри системного аналізу та обчислювальної математики.

4 співробітники кафедри системного аналізу та обчислювальної математики:

Терещенко Е.В. – завідувачка кафедри системного аналізу та обчислювальної математики, к.ф.-м.н., доцент;

Бахрушин В.Є. – професор кафедри системного аналізу та обчислювальної математики, д.ф.-м.н., професор;

Рябенко А.Є. – доцент кафедри системного аналізу та обчислювальної математики, к.ф.-м.н., доцент;

Широкорад Д.В. – доцент кафедри системного аналізу та обчислювальної математики, к.ф.-м.н., доцент;

Ведмедєв С.Р. – аспірант кафедри системного аналізу та обчислювальної математики.

5 запрошених:

Васильєва О.О. – д.е.н., професор, декан факультету бізнес-технологій та економіки, НУ «Запорізька політехніка» (м. Запоріжжя);

Досин Д.Г. – д.т.н., професор, завідувач кафедри інформаційних систем та мереж Інституту комп'ютерних наук та інформаційних технологій Національний університет «Львівська політехніка» (м. Львів);

Гнатієнко Г.М. – к.т.н., доцент, заступник декана факультету інформаційних технологій з наукової роботи Київського національного університету ім. Тараса Шевченка (м. Київ);

Миронова Н.О. – к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій електронних засобів НУ «Запорізька політехніка» (м. Запоріжжя);

Ведмедева К.В. – к.біол.н., старший науковий співробітник, заступник директора з наукової роботи, завідувач лабораторії генетики та генетичних ресурсів, голова вченої ради Інституту олійних культур НААН України (м. Запоріжжя).

ПОРЯДОК ДЕННИЙ

1. Про попередній розгляд дисертації.

СЛУХАЛИ:

1. Про попередній розгляд дисертації.

Доповідач: аспірант 4 року навчання кафедри системного аналізу та обчислювальної математики С.Р. Ведмедева по завершенню дисертаційної роботи на тему «Підтримка прийняття рішень при вирощуванні соняшнику на основі цифрової технології фенотипування» (науковий керівник: к.ф.-м.н., доцент, завідувачка кафедри системного аналізу та обчислювальної математики Національного університету «Запорізька політехніка» Е.В. Терещенко).

Під час обговорення учасники засідання поставили доповідачу 22 запитання:

Досин Д. Г.: На 9 слайді згадані цифрова та онтологічна моделі. Яка саме різниця між ними?

Ведмедєв С.Р.: Цифрова модель у нашій роботі — це первинний рівень даних: структурований набір числових і метричних дескрипторів об'єкта, який фіксує його параметри, але позбавлений семантичного контексту. Онтологічна модель — це модель знань вищого рівня. Вона задає семантичну структуру предметної області через класи, підкласи, властивості та аксіоми логіки (TBox). Таким чином, дані цифрової моделі інтегруються в онтологію як її екземпляри (ABox), що трансформує розрізнені числа у зв'язану базу знань і дозволяє запускати механізми автоматичного логічного виведення.

Досин Д.Г.: Ви будете онтологічну модель за допомогою редактора Protégé вручну чи як?

Ведмедєв С.Р.: Для розробки онтологічної моделі HELIANTUS використано середовище Protégé, оскільки воно забезпечує повну підтримку стандартів семантичного вебу (зокрема мови OWL та правил SWRL) та інтеграцію з сучасними машинами логічного виведення. Процес побудови є гібридним: концептуальна структура (класи, властивості та аксіоми) проектується в Protégé вручну, тоді як масове наповнення онтології екземплярами біоматеріалу (ABox) автоматизовано за допомогою розроблених програмних скриптів на мові Python, що дозволяє імпортувати метричні дані безпосередньо з модулів комп'ютерного зору.

Досин Д.Г.: Яка розмірність вхідних даних? Скільки параметрів у рядок величини ви оцінюєте?

Ведмедєв С.Р.: Загалом розроблена система дозволяє розділяти фенотипи соняшнику за 50 параметрами.

Досин Д.Г.: Яка точність оцінювання за цими параметрами та яка допускається девіація?

Ведмедєв С.Р.: Гранична похибка розробленого методу комп'ютерного зору під час вимірювання метричних параметрів насіння не перевищує 2–3%. Такий високий рівень точності досягається завдяки попиксельній обробці контурів біологічних об'єктів на цифровому зображенні. Що стосується допустимої біологічної девіації (мінливості) ознак, то в межах одного генотипу вона є значно ширшою, це може бути зафіксовано в **SWRL-правилах** для забезпечення стійкості класифікації.

Досин Д.Г.: Який об'єм навчальної вибірки? Скільки зразків (насінин) треба поміряти для ідентифікації фенотипу?

Ведмедєв С.Р.: Загалом у дослідженні було виміряно 3000 насінин. Для повного аналізу одного конкретного зразка вимірюється не менше 30 насінин.

Досин Д.Г.: Який об'єм правил логічного виведення (SWRL) представлено в онтології?

Ведмедєв С.Р.: В онтології наразі прописано та зафіксовано 18 правил логічного виведення (детально представлено на 33 слайді).

Васильєва О.О.: Назва роботи пов'язана з підтримкою прийняття рішень, але в меті акцент стоїть на фенотипуванні та онтологіях. Яке саме рішення повинен приймати користувач системи і який механізм його формування?

Ведмедєв С.Р.: Система орієнтована на два рівні рішень: оперативне технологічне прийняття рішень щодо сортової сертифікації та кондиційності, а також стратегічне прийняття рішень щодо доцільності включення конкретного генотипу до схеми гібридизації на основі прогнозу його адаптивного потенціалу.

Васильєва О.О.: В чому полягає саме алгоритмічна новизна вашого методу цифрового фенотипування порівняно з існуючими?

Ведмедєв С.Р.: Вперше розроблено метод цифрового фенотипування рослинних об'єктів на основі зображень, який, на відміну від існуючих

підходів комп'ютерного зору, базується на оригінальній математичній постановці як оптимізаційної задачі.

Критеріальним результатом реалізації методу є аналітичне визначення та адаптивний вибір такого оптимального набору параметрів цифрової зйомки, який забезпечує точність формування масиву морфометричних даних на рівні, що є не гіршим за показники традиційних інструментальних вимірювань при фенотипуванні. Наукова новизна методу полягає у формалізації наскрізної послідовності етапів оптимізації умов зйомки, статистичної верифікації та автоматизованого створення структурованого датасету в цілісну, детерміновану технологію фенотипування біологічних об'єктів.

Васильєва О.О.: У чому перевага запропонованої вами архітектури Digital Phenotyping System над існуючими рішеннями? Чи проводилися порівняння з міжнародними платформами?

Ведмедєв С.Р.: Було удосконалено структуру та архітектурні етапи побудови цифрової моделі рослини соняшнику з урахуванням взаємодії "генотип — середовище". Це досягнуто шляхом розробки послідовної чотирирівневої системи інтеграції різномірних даних (Digital phenotyping system). Зверніть увагу на загальну структурну схему (Слайд 11): вона наочно демонструє, як розрізнені раніше процеси ми об'єднали в єдиний, логічно керований технологічний ланцюжок, який охоплює: 1) Рівень апаратної реєстрації (Data Collection gadget): де реалізовано наш оригінальний метод оптимізації параметрів зйомки для прецизійної фіксації мікроознак насіння; 2) Рівень FAIR-сумісного збереження (DATA Base) накопичених структурованих датасетів; 3) Рівень інтелектуальної обробки (DATA Processing): де залучено класичні методи комп'ютерного зору для автоматичного розрахунку дескрипторів форми та кольору; 4) Рівень предиктивного моделювання (Digital phenotype model): де наше семантичне ядро на базі онтології HELIANTUS та машини логічного виведення трансформує числові датасети у готові логічні дедуктивні висновки для підтримки прийняття рішень. Таким чином, удосконалення полягає в створенні наскрізного інформаційного каналу, який перетворює сирі дані на модель знань під конкретні агроекологічні умови України.

Васильєва О.О.: У цифровій моделі рослини враховано взаємодію «генотип—середовище—фенотип». Як кількісно оцінюється внесок кожного з цих компонентів в кінцевий результат моделювання?

Ведмедєв С.Р.: У рамках дослідження взаємодія «генотип—середовище—фенотип» реалізована на рівні інформаційно-логічної структури цифрової моделі. В онтології HELIANTUS закладено архітектуру зв'язків для фіксації цих факторів, проте безпосередній розрахунок кількісного внеску кожного компонента (наприклад, генетичної дисперсії чи коефіцієнтів успадкованості) не проводився. Розроблена цифрова технологія проектувалася як інструментальний засіб для експертів галузі.

Васильсва О.О.: На 14 слайді серед біохімічних та фізико-хімічних параметрів згадано «силу руйнування оболонки насіння». Як саме вона вимірюється?

Ведмедєв С.Р.: Емпіричні дані щодо фізико-механічних властивостей насіння, зокрема сили руйнування його оболонки, отримано в лабораторії Інституту олійних культур НААН України. Вимірювання здійснювалися на унікальній експериментальній установці, яка розроблена науковцями інституту спеціально для оцінювання міцнісних характеристик лущиння.

Васильсва О.О.: Яким чином розроблена онтологія може бути масштабована на інші сільськогосподарські культури? Які елементи є універсальними, а які специфічними?

Ведмедєв С.Р.: Універсальні елементи формують верхній рівень абстракції моделі TBox і можуть бути перенесені на інші культури – це верхньорівнева таксономія класів; система об'єктних властивостей (Object Properties). Специфічні елементи локалізовані на нижньому рівні онтології і підлягають заміні або розширенню при масштабуванні: підкласи та екземпляри; матриця дескрипторів; база SWRL-правил: предикативна логіка рішень є унікальною, оскільки порогові значення закладені на основі експертної бази Інституту олійних культур НААН саме для соняшнику.

Васильсва О.О.: На слайдах зазначено коефіцієнт когезії онтології 74,5%. Це багато чи мало, і що це гарантує?

Ведмедєв С.Р.: Це свідчить, що коефіцієнт перебуває на достатньому рівні. Когезія на рівні 74,5 % гарантує, що при автоматичному відображенні даних у простір фактів за допомогою SWRL-правил, інформація буде поширюватися по всьому графу знань, не створюючи «ізольованих островів», які Reasoner не зміг би обробити.

Васильсва О.О.: Який прикладний економічний та практичний ефект від впровадження ваших досліджень?

Ведмедєв С.Р.: прикладний ефект розробленої технології з технологічної точки зору забезпечує прискорення процесу у приблизно у 50разів (до 1 хвилини на партію замість 40–60 хвилин ручної праці). Завдяки автоматичному розрахунку дескрипторів, точність раннього виявлення сортових домішок зростає на 12%, що повністю нівелює людський фактор. Також, оптимізація витрат завдяки проведенню експрес-автентифікації насіння на первинних етапах без залучення дорогих лабораторних біохімічних чи ДНК-тестів, що мінімізує операційні ризики селекційного процесу.

Васильсва О.О.: Чи може ваша цифрова модель стати основою для створення повноцінного «цифрового двійника» рослини?

Ведмедєв С.Р.: Розроблена онтологічна модель та архітектура інтеграції датасетів є логіко-семантичною основою для побудови Цифрового Двійника (Digital Twin) процесу вирощування соняшнику. Наша онтологія виступає як інтелектуальне ядро — так званий "статичний" двійник (Digital Twin

Prototype), який повністю описує структуру знань, класифікацію фенотипів та правила взаємодії об'єктів. Для трансформації цієї системи у "динамічний" цифровий двійник (Digital Twin Instance) у перспективі необхідно доповнити поточну базу знань потоками даних у реальному часі. Сама архітектура нашої технології повністю готова до такого масштабування та інтеграції динамічних даних.

Миронова Н.О.: Ви сказали, що можлива побудова цифрового двійника. Які будуть в подальшому необхідні дані для побудови цифрового двійника насінини соняшника?

Ведмедєв С.Р.: Для побудови повноцінного цифрового двійника необхідно інтегрувати дані генетичного моніторингу, наприклад, цифрові матриці успадкування метричних ознак у наступних поколіннях для прогнозування стабільності фенотипу, динамічні фізіолого-біохімічні показники: показники інтенсивності дихання, вологовіддачі та зміни ферментативної активності насіння в процесі зберігання й проростання; просторові дані (3D-морфологія).

Миронова Н.О.: Чи міркували ви над тим, чи можна побудувати 3D-модель на основі ваших даних?

Ведмедєв С.Р.: експериментальна база вже містить цифрові фотографії насіння у взаємно перпендикулярних (ортогональних) проєкціях. Математично та алгоритмічно цих даних достатньо для побудови прецизійної 3D-моделі геометричної форми насінини безпосередньо в середовищі PyCharm. Це можна застосовувати для автоматичної генерації повнотекстурних 3D-поверхонь насіння для аналізу рельєфу лущиння. Архітектура нашої онтологічної моделі дозволяє додавання таких тривимірних просторових дескрипторів.

Миронова Н.О.: Що ви розумієте під своєю цифровою технологією і чим вона відрізняється від класичного поняття інтелектуальної інформаційної технології?

Ведмедєв С.Р.: Під цифровою технологією ми розуміємо комплекс методів і програмних засобів, який забезпечує весь цикл роботи з фенотипічними даними — від їх автоматизованого отримання за допомогою комп'ютерного зору до семантичного подання в онтології та використання для підтримки селекційних рішень. Її відмінність від класичної інтелектуальної інформаційної технології полягає в тому, що вона не лише аналізує готові структуровані дані, а й забезпечує автоматизоване формування знань із первинних біологічних даних та їх інтеграцію в онтологічну модель HELIANTHUS.

Рябенко А.Є.: На слайді 42 показана модель розрахунків метричних характеристик насінини, що вимірювання лінійних розмірів йде за діагоналями вписаного ромба. Чому ромб, а не класичний описувальний прямокутник чи еліпс?

Ведмедєв С.Р.: Насіння соняшнику часто має крайові дефекти (сколи оболонки, залишки плодоніжки), які при використанні класичного `cv2.boundingRect` створюють суттєву похибку, штучно збільшуючи габарити. Модель вписаного ромба, орієнтованого за стійкими внутрішніми екстремумами контуру, є робастною (стійкою до шумів) та апроксимує реальну форму насінини і дозволяє через геометрію 4 внутрішніх трикутників оцінювати локальну асиметрію.

Бакурова А.В.: Чи можна за допомогою вашої цифрової технології фенотипування здійснювати підтримку саме селекційних рішень (наприклад, як рекомендаційну систему)?

Ведмедєв С.Р.: Розроблена цифрова технологія запланована як інтелектуальна рекомендаційна система для підтримки селекційних рішень. У логічній структурі нашої онтології для цього передбачено базові класи «Селекція» та «Генотип». Логіку SWRL правил мають визначити експерти-селекціонери. Логіка формування рекомендацій працює на основі аналізу сортової автентифікації та добору батьківських пар для схем гібридизації. Через класи та об'єктні властивості «Селекція» система аналізує адаптивний потенціал генотипів у синергії з факторами середовища. На основі логічних предикатів селекціонер отримує обґрунтовану рекомендацію щодо доцільності включення конкретного зразка до селекційного процесу. Таким чином, технологія перетворює первинні геометричні та колірні ознаки рослини на прикладне аналітичне рішення для селекціонера.

Бакурова А.В.: У вас представлені три моделі (концептуальна, онтологічна, предикативна) та метод фенотипування. Яким чином вони всі пов'язані між собою — це окремі блоки чи ні?

Ведмедєв С.Р.: це єдиний наскрізний системний контур, детально представлений на слайді 35. Зв'язок між ними реалізовано як послідовний ланцюжок трансформації даних у знання та рішення. Метод фенотипування є первинним. Концептуальна модель задає теоретичні межі системи та логіку взаємодії елементів «генотип — середовище». Онтологічна модель упорядковує ці сирі числові дані, трансформуючи їх у структуровану базу знань (класи, властивості, екземпляри). Предикативна модель використовує семантично зв'язані онтологією знання і через SWRL-правила видає кінцеве управлінське чи селекційне рішення. Таким чином, метод фенотипування постачає дані, концептуальна модель — структуру, онтологічна — контекст, а предикативна — результат для підтримки прийняття рішень.

Бакурова А.В.: Чи можна розв'язувати задачі прогнозування за допомогою вашої технології (наприклад, врожайності чи термінів цвітіння) і чи представлені в онтології відповідні предикативні правила?

Ведмедєв С.Р.: В поточній версії онтології розроблено правила для прогнозування для термінів цвітіння, для загальної врожайності ще не представлені.

ВИСТУПИЛИ:

▪ **Науковий керівник**, завідувачка кафедри системного аналізу та обчислювальної математики, к.ф.-м.н., доцент **Терещенко Е.В.**, відзначила актуальність проведеного наукового дослідження, теоретичне і практичне значення результатів, дала позитивну оцінку аспіранту. Науковий керівник надав позитивну характеристику особі здобувача та його науковій діяльності, відзначив широту набутих компетентностей та сформованих навичок дослідника. Було підкреслено, що дисертаційна робота відповідає вимогам щодо дисертацій доктора філософії за спеціальністю 124 – «Системний аналіз» і може бути рекомендована до подання у разову спеціалізовану вчену раду на розгляд.

▪ Доктор економічних наук, професор **Васильєва О.О.**: Представлена дисертаційна робота присвячена актуальній науково-практичній проблемі цифрової трансформації аграрної галузі та розробці моделей, методів і цифрової технології фенотипування для підтримки прийняття рішень при вирощуванні соняшника. Особливої актуальності ця тематика набуває в умовах необхідності підвищення конкурентоспроможності аграрного сектору України, забезпечення продовольчої безпеки держави та впровадження сучасних цифрових технологій в агровиробництво.

Робота має комплексний міждисциплінарний характер, поєднуючи методи системного аналізу, онтологічного моделювання, комп'ютерного зору та цифрового представлення даних. Запропоновані підходи спрямовані на підвищення ефективності використання ресурсів, покращення якості управлінських рішень у сільському господарстві та створюють передумови для розвитку цифрового землеробства, що повністю відповідає принципам сталого розвитку та сучасним світовим тенденціям цифровізації аграрної економіки.

Доповідь є змістовною та логічно структурованою, основні результати дослідження представлені достатньо переконливо. Разом з тим, під час доопрацювання дисертації, на мою думку, доцільно більш чітко акцентувати увагу на науковій новизні запропонованих методів, деталізувати механізм прийняття рішень на основі розробленої цифрової моделі, а також ширше висвітлити питання експериментальної валідації отриманих результатів.

Загалом робота справляє позитивне враження, має важливе значення для розвитку цифрових технологій в аграрному секторі України, сприяє реалізації завдань сталого розвитку та може бути рекомендована до подальшого розгляду після врахування висловлених зауважень і рекомендацій.

▪ Доктор технічних наук, професор **Д.Г. Досин** охарактеризував роботу як цілісну, завершену, з вагомими науковими результатами, які вже пройшли належну апробацію та широко опубліковані у наукових виданнях. Відзначив високу наукову доцільність та актуальність використання саме постреляційних онтологічних моделей, оскільки вони дозволяють гнучко розширювати базу знань. Наголосив, що побудова логічно цілісної, несуперечливої бази знань— це дуже містка, складна та цінна практична робота, яка може бути масштабована на інші галузі рослинництва.

Порадив здобувачу під час захисту поводитися більш впевнено, чітко артикулювати свій особистий внесок через доконані дієслова («розроблено», «доведено», «показано»), а також розмістити під відповідними слайдами презентації дрібним шрифтом бібліографічні дані власних статей, які ілюструють ці результати. Було рекомендовано доопрацювати матеріали доповіді з посиленням акцентів на наукових результатах. Підтримав роботу та рекомендував винести її на захист за спеціальністю 124 «Системний аналіз».

▪ Кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник **Ведмедєва К.В.** високо оцінила значення впровадження результатів та програмного комплексу в наукову практику інституту. Розробка дозволила успішно виконати бюджетне завдання МОН України з фенотипування насіння соняшнику. Повідомила про плани масштабування розробленої методики на наступну п'ятирічку для формування цифрових репозиторіїв інших культур (сафлор, рапс, кунжут, рицина), а також для аналізу геометричних параметрів листя та квіток рослин. Наголосила на високій цінності переходу від суб'єктивного візуального оцінювання селекціонерів до точних цифрових дескрипторів у багатьох повтореннях, що кардинально підвищує ефективність селекційного відбору.

▪ Кандидат технічних наук, доцент **Миронова Н.О.** засвідчила, що дисертація є повністю «дисертабельною», завершеною та відповідає всім встановленим вимогам.

УХВАЛИЛИ:

1. Прийняти такий висновок щодо дисертаційної роботи Станіслава ВЕДМЕДЄВА

ВИСНОВОК

наукового семінару кафедри системного аналізу та обчислювальної математики факультету комп'ютерних наук і технологій НУ «Запорізька політехніка» про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації на тему «Підтримка прийняття рішень при вирощуванні соняшнику на основі цифрової технології фенотипування» здобувача ступеня доктора філософії Станіслава ВЕДМЕДЄВА за спеціальністю 124 Системний аналіз (галузь знань 12)

▪ **Актуальність теми.**

Сучасний розвиток аграрного виробництва характеризується активним впровадженням концепції Agriculture 4.0, яка передбачає широке використання цифрових технологій, засобів моніторингу, штучного інтелекту та аналітики даних для підвищення ефективності виробництва сільськогосподарської продукції. Одним із пріоритетних напрямів цифрової трансформації аграрної галузі є селекція рослин, де результативність прийняття рішень значною мірою залежить від повноти, достовірності та інтегрованості інформації про генотипові, фенотипові, агротехнологічні, кліматичні та екологічні характеристики досліджуваних об'єктів.

Особливої актуальності зазначені питання набувають у селекції соняшнику, яка потребує оброблення значних обсягів різнорідних даних, отриманих із польових експериментів, систем моніторингу та результатів фенотипування. Незважаючи на стрімке зростання обсягів даних, накопичення відбувається у розрізних інформаційних ресурсах, набори даних відрізняються структурою, форматами подання та рівнем деталізації, що ускладнює їх комплексне використання в цифровій селекції.

У зв'язку з цим виникає науково-практична суперечність між потребою ефективного використання великих обсягів цифрових агротехнологічних даних у процесах вирощування та селекції соняшнику і недостатнім рівнем їх структурованості, стандартизації та семантичної сумісності для автоматизованого опрацювання. Одним із найбільш перспективних підходів до подолання цієї суперечності є застосування онтологічного моделювання, яке забезпечує формалізоване представлення предметної області та інтеграцію різнорідних джерел знань у єдиному інформаційному просторі.

У зв'язку з цим актуальним науковим завданням є розроблення онтологічної моделі соняшнику та цифрової технології формування семантично сумісних наборів даних як інформаційної основи інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень в умовах Agriculture 4.0.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційну роботу виконано на кафедрі системного аналізу та обчислювальної математики Національного університету «Запорізька політехніка» у безпосередньому зв'язку з планами науково-дослідних робіт установи: науково-дослідна робота з номером державної реєстрації 0121U113264, 2021–2024 рр. «Розвиток методів дослідження складних соціально-економічних систем на основі інтелектуальних технологій» та науково-дослідна робота 2024-2027 рр. 05014 «Прийняття ефективних рішень на основі інтелектуальних технологій та відкритих даних».

Дисертаційне дослідження присвячено вирішенню науково-практичної проблеми підтримки прийняття рішень при вирощуванні соняшнику на основі цифрової технології фенотипування. Вирішення цієї проблеми пов'язане з подоланням розбіжності між стрімким зростанням обсягів первинних цифрових агротехнологічних даних та низьким рівнем їх системної типізації й логічної структурованості для автоматизованого прийняття рішень.

▪ Наукова новизна отриманих 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.

▪ **Методи дослідження.**

Для вирішення поставлених задач у роботі використано:

- **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 шляхом визначення таксономічної структури класів, задання семантичних зв'язків між ними та типізації параметрів цифрових двійників рослин;
- **методи дескриптивної логіки** — для побудови логічного каркаса онтологічної бази знань шляхом розмежування термінологічної складової (TBox, що визначає систему класів, обмежень та аксіом роз'єднаності) і концептуальних тверджень про конкретні об'єкти (ABox, що описує властивості та метрики реальних зразків соняшнику), а також 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 з метою обґрунтування їхнього статусу як «оптимальних» при цифровому фенотипуванні;
- **методи цифрової обробки зображень та алгоритмізації** — для розробки, оптимізації та програмної реалізації (із використанням мови Python) алгоритмів автоматизованого виділення, сегментації та вимірювання морфометричних ознак насіння соняшнику.

- **Практичне значення одержаних результатів.**

Практичне значення одержаних результатів полягає у створенні алгоритмічного, програмного та семантичного інструментарію, який забезпечує підтримку прийняття рішень при вирощуванні соняшнику на основі цифрової технології фенотипування. Створено інформаційне середовище прийняття рішень на основі механізмів автоматизованого логічного виведення в онтології HELIANTUS. Практична реалізація онтологічної моделі агросистеми вирощування соняшнику дозволила об'єднати різноманітні дані (генетичні, фенотипові, агрокліматичні, технологічні) в єдину базу знань. Це дає змогу виявляти причинно-наслідкові зв'язки в системі «генотип — середовище» та приймати обґрунтовані рішення щодо оптимізації технологій вирощування соняшнику. На основі розробленого методу обробки цифрових зображень створено програмний комплекс (мовою Python), який автоматизує виділення, сегментацію та аналіз морфометричних і колірних характеристик насіння соняшнику. Це забезпечує селекціонерів та агрономів об'єктивними кількісними дескрипторами для прийняття рішень щодо якості насіннєвого матеріалу, ідентифікації зразків та відбору ліній незалежно від умов зйомки й освітлення. Впровадження чотирирівневої архітектури Digital Phenotyping System забезпечує практичну можливість консолідації даних лабораторного, польового фенотипування та дистанційного моніторингу з факторами довкілля, що може стати технологічною основою для побудови «цифрових двійників» рослини. Створена структура даних є основою для предиктивного моделювання розвитку культури та інтелектуальної підтримки прийняття рішень на різних етапах вегетації.

- **Впровадження результатів дисертації.**

Результати досліджень, зокрема розроблений програмне забезпечення, що містить модулі для визначення геометричних (фенотипових) характеристик та кольору насіння соняшника, впроваджено на кафедрі «Системний аналіз та обчислювальна математика» НУ «Запорізька політехніка» у межах кафедральної НДР № 05014 «Прийняття ефективних рішень на основі інтелектуальних технологій та відкритих даних». Матеріали дисертації використовуються як лекційні курси та практичні приклади під час проведення лабораторних занять з дисциплін «Теорія прийняття рішень», «Аналіз даних», «Основи системного аналізу» та «Моделювання соціально-економічних систем», а також інтегровані як змістовні задачі у курсове та дипломне проєктування здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів вищої освіти спеціальності 124 «Системний аналіз» (Акт впровадження від 28.11.2025 р.).

Розроблену систему цифровізації візуальної інформації для дослідження фенотипу соняшнику впроваджено в лабораторії генетики та генетичних ресурсів Інституту олійних культур Національної академії аграрних наук України у межах виконання наукового проєкту ДБ05022 (РК 0121U113264) «Розвиток методів дослідження складних соціально-економічних систем на основі інтелектуальних технологій». Матеріали

дослідження застосовано у процесах розробки приладу фенотипування насіння соняшнику та для побудови бази даних морфологічних ознак ліній соняшнику (*Акт впровадження № 448 від 20.12.2023 р.*).

Результати дисертаційної роботи, а саме метод цифрового фенотипування об'єктів агросистем на основі аналізу цифрових зображень та онтологічну модель вирощування соняшнику, впроваджено в наукову діяльність Інституту олійних культур Національної академії аграрних наук України (лабораторія генетики та генетичних ресурсів). Розроблені цифрові технології використовуються для фенотипування насіння соняшнику, а також для виконання фундаментальних завдань НААН у межах науково-дослідних робіт: ПНД 17 «Генетичні ресурси рослин» (РК 0120U105673) та ПНД 25 «Формування, використання і збереження генетичних ресурсів рослин» (РК 0126U001156В) з метою формування колекцій олійних культур, виділення та створення джерел і донорів цінних господарських ознак (*Акт впровадження від 18.06.2026 р. № 162*).

▪ **Повнота викладення матеріалів дисертації в публікаціях та особистий внесок у них автора.**

Матеріали дисертації викладені у 6 публікаціях, зокрема опубліковано 3 статті у наукових виданнях по спеціальності 124 Системний аналіз, включених до Переліку наукових фахових видань України, та 1 стаття в Українському фаховому журналі спеціальностей агрономія та агроінженері, 1 публікації включено у міжнародну наукометричну базу Scopus.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ВЕДМЕДЕВА С.Р. ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Ведмедєв, С. (2024). Розробка програмного забезпечення для збирання фенотипічних даних насіння соняшнику. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 4, 53–60, <https://doi.org/10.32782/IT/2024-4-7> ISSN: 2786-5088 (Online) <https://journals.politehnica.dp.ua/index.php/it/article/view/707/634>
2. Ведмедєв С.Р., Терещенко Е.В. (2025) Цифрова модель рослини соняшника для фенотипування в задачах селекції. *Інформаційні технології та суспільство*. Випуск 3 (18). 2025. С.32-39. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2025.3.4https://journals.maup.com.ua/index.php/it/article/view/5153/5474> - сторінка статті ISSN (Online): 2786-5479
3. Ведмедєв С. Терещенко Е. Фенотипування на основі зображень: ідентифікація оптимальних параметрів отримання зображень для аналізу морфології насіння // *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security* вип.2, 2026. С. 45-54.

Матеріали конференцій Scopus

1. Bakurova A., Vedmedeva K., Vedmedev S., Tereschenko E. Ontological Model of Helianthus Cultivation in Ukrainian Conditions // *Proceedings of the 7th*

International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems. Volume II: Computational Linguistics Workshop, Kharkiv, Ukraine, April 20-21, 2023. CoLinS 2023 P.130-140. ISSN 1613-0073 <https://ceur-ws.org/Vol-3396/paper10.pdf>

Статті у іноземних фахових журналах

1. Aliiev E., Vedmedeva K., Machova T., Vedmedev S. Study of the distribution of phenotypic characteristics of sunflower seeds in a head of different genotypes. Bulgarian Journal of Crop Science, 62, No 4, 2024 p.73-89. <https://doi.org/10.61308/JIXX8922>

Статті в Українських фахових журналах Б спеціальностей агрономія та агроінженерія

1. Махова Т. В., Ведмедєв С. Р., Поляков О. І. Створення баз даних фенотипових ознак та добір ліній соняшнику особливого призначення. Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН. Запоріжжя, 2024. Випуск 35. С.51-62 http://www.bulletin.imk.zp.ua/pdf/2023/35/Makhova_35.pdf

▪ Оцінка мови та стилю дисертації.

Дисертаційна робота є завершеним і цілісним дослідженням, її матеріал є досить добре структурованим і логічно викладеним. Роботу написано з використанням сучасної науково-технічної термінології. Оформлення дисертації відповідає встановленим вимогам до докторських дисертацій згідно «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а також вимогам МОН України до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії. Застосована в роботі наукова термінологія є загальноновизнаною, стиль викладення наукових положень, результатів роботи та висновків логічний, обґрунтований та забезпечує доступність їх сприйняття та використання.

▪ Апробація результатів дисертації.

Основні результати дисертаційного дослідження були оприлюднені та апробовані на таких наукових заходах:

7th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems, Volume II: Computational Linguistics Workshop (Kharkiv, Ukraine, April 20–21, 2023);

XI Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій» (м. Запоріжжя, 12–14 грудня 2022 р.);

Всеукраїнській інтернет-конференції «Економічна кібернетика: інструменти, моделі і методи інтелектуальної підтримки прийняття рішень» (м. Дніпро, 1–2 березня 2023 р.);

Науково-технічній конференції «Тиждень науки – 2023» (м. Запоріжжя, 24–28 квітня 2023 р.);

XXV Міжнародному науково-практичному семінарі імені А. Я. Петренюка «Комбінаторні конфігурації та їхні застосування» (Запоріжжя – Кропивницький, 14–16 червня 2023 р.);

Міжнародній науковій інтернет-конференції «Олійні культури: сьогодення та перспективи» (м. Запоріжжя, ІОК НААН, 21 березня 2023 р.);

I (VII) Міжнародній науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Інформаційні технології: теорія і практика» (м. Дніпро, 20–22 березня 2024 р.);

XXVII Міжнародному науково-практичному семінарі «Комбінаторні конфігурації та їхні застосування», присвяченому 125-річчю Національного університету «Запорізька політехніка» (Запоріжжя – Кропивницький – Київ, 4–6 червня 2025 р.);

Науково-практичній конференції «Тиждень науки – 2025» (Факультет комп'ютерних наук і технологій, м. Запоріжжя, 14–18 квітня 2025 р.);

Міжнародній науковій конференції «Актуальні питання біотехнології, екології та природокористування» (Державний біотехнологічний університет, м. Харків, 16–17 квітня 2026 р.);

XXVIII Міжнародному науково-практичному семінарі «Комбінаторні конфігурації та їхні застосування» (Кропивницький – Запоріжжя – Київ, 7–9 травня 2026 р.).

УХВАЛИЛИ:

Дисертація Ведмедєва Станіслава Руслановича на тему «Підтримка прийняття рішень при вирощуванні соняшнику на основі цифрової технології фенотипування» є завершеною науковою працею, у якій розв'язано актуальну науково-практичну проблему підтримки прийняття рішень при вирощуванні соняшнику на основі цифрової технології фенотипування. Вирішення цієї проблеми пов'язане з подоланням розбіжності між стрімким зростанням обсягів первинних цифрових агротехнологічних даних та низьким рівнем їх системної типізації й логічної структурованості для автоматизованого прийняття рішень. У 6 наукових публікаціях повністю відображені основні результати дисертації, зокрема опубліковано 3 статті у наукових виданнях по спеціальності 124 Системний аналіз, включених до Переліку наукових фахових видань України, та 1 стаття в українському фаховому журналі спеціальностей агрономія та агроінженерія, 1 публікацію включено у міжнародну наукометричну базу Scopus. Дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова КМУ від 12 січня 2022 р. № 44). З урахуванням наукової зрілості та професійних якостей Станіслава Руслановича Ведмедєва на тему «Підтримка прийняття рішень при вирощуванні соняшнику на основі

цифрової технології фенотипування» рекомендується для подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді.

2. Присутні на розширеному засіданні кафедри системного аналізу та обчислювальної математики НУ «Запорізька політехніка» подають Вченій раді закладу пропозицію щодо кандидатур до складу разової спеціалізованої вченої ради для розгляду та захисту дисертаційної роботи Станіслава Руслановича Ведмедєва на тему «Підтримка прийняття рішень при вирощуванні соняшнику на основі цифрової технології фенотипування» у такому складі:

Голова ради:

▪ ВАСИЛЬЄВА Олена Олексіївна, доктор економічних наук, професор, декан факультету бізнес-технологій та економіки Національного університету «Запорізька політехніка» (м. Запоріжжя).

Опоненти:

▪ ДОСИН Дмитро Григорович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних систем та мереж Інституту комп'ютерних наук та інформаційних технологій Національного університету «Львівська політехніка» (м. Львів);

▪ ГНАТІЄНКО Григорій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, заступник декана факультету інформаційних технологій з наукової роботи Київського національного університету ім. Тараса Шевченка (м. Київ).

Рецензенти:

▪ МИРОНОВА Наталія Олексіївна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій електронних засобів Національного університету «Запорізька політехніка» (м. Запоріжжя);

▪ РЯБЕНКО Антон Євгенович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри системного аналізу та обчислювальної математики Національного університету «Запорізька політехніка» (м. Запоріжжя).

Результати голосування за рекомендацію до захисту дисертації
Ведмедєва Станіслава Руслановича на тему «Підтримка прийняття рішень при вирощуванні соняшнику на основі цифрової технології фенотипування»:
«За» 12; «Проти» 0; «Утрималось» 0.

Голова засідання
професор кафедри системного аналізу
та обчислювальної математики
д.е.н., професор,

Анна БАКУРОВА

Секретар,
ст. лаб. кафедри системного аналізу
та обчислювальної математики

Юлія ПОТАПОВА