ВІДГУК

Рецензента, доктора технічних наук, професора, професора кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем НТУ «Дніпровська політехніка» Мороза Бориса Івановича на дисертаційну роботу Семенова Сергія Юрійовича «Програмно-алгоритмічне забезпечення інтелектуалізованої трансформації вимірювальних даних агромоніторингу на основі туманної архітектури», поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення».

Відгук складено на основі всебічного та критичного аналізу тексту дисертації, наукових праць, опублікованих здобувачем, а також документів, що підтверджують реалізацію та впровадження результатів дослідження.

Актуальність теми дисертаційної роботи

Сучасний етап розвитку прецизійного землеробства та смарт-агротехнологій нерозривно пов'язаний зі зростанням обсягів первинних спостережень, які генеруються розподіленими сенсорними мережами, автоматизованими метеостанціями та безпілотними літальними апаратами. Побудова високоефективного програмного забезпечення, здатного агрегувати, очищувати, трансформувати та аналізувати гетерогенні просторово-часові масиви даних у реальному або квазіреальному часі, становить одне з центральних науково-прикладних завдань сучасної інженерії програмного забезпечення.

Традиційні централізовані хмарні платформи за умов функціонування в реальному агросекторі дедалі частіше стикаються з критичними бар'єрами: значною вартістю оренди серверних ресурсів для первинного потокового аналізу, високими мережевими затримками під час передачі сирих даних та нестабільністю польових бездротових каналів зв'язку. У зв'язку з цим парадигма туманних обчислень розглядається світовою науковою спільнотою як перспективний базис децентралізації обчислювального навантаження, що дозволяє винести ресурсомістку первинну обробку та інференс предикативних моделей безпосередньо на периферійний та туманний рівні.

Водночас інтеграція методів машинного навчання та моделей пояснювального штучного інтелекту у контур програмних комплексів підтримки прийняття рішень вимагає розробки спеціалізованого програмно-алгоритмічного забезпечення, яке б гарантувало функціональну надійність, інтероперабельність компонентів та прозорість алгоритмічних вердиктів для кінцевого користувача. Науково-технічна задача створення такого цілісного комплексу, сформульована у рецензованій дисертації, беззаперечно має високий рівень наукової та практичної актуальності. З огляду на ці фактори, вважаю, що в сьогоденних умовах тема є актуальною та своєчасною.

Аналіз змістовного наповнення дисертації

Дисертація підпорядкована традиційній чотирироздільній академічній логіці кваліфікаційного дослідження і налічує 222 сторінки повного обсягу, з яких 150 сторінок відведено під основний текст. Робота супроводжується 44 рисунками, 27

таблицями та 4 додатками. Рукопис оформлено державною мовою, виклад матеріалу в цілому має логічну послідовність і науковий характер. Автор оперує сучасною термінологічною базою у сферах інформаційних технологій та машинного навчання, що надає тексту належної строгості.

У вступі лаконічно, але вичерпно розкрито актуальність теми у світлі глобальної цифровізації, сформульовано мету та задачі дослідження, обґрунтовано наукову новизну та практичну цінність, наведено дані щодо особистого внеску здобувача та апробації результатів.

Змістовне наповнення розділів роботи охоплює широке проблемне поле на стику інженерії програмного забезпечення, систем розподіленого збору даних та інтелектуальної прогнозної аналітики. Здобувачем детально розібрано життєвий цикл проходження вимірювальних даних від датчиків до інтерпретованого графічного відображення, а також здійснено порівняння різних регресійних алгоритмів машинного навчання. Логіка переходу від огляду сучасного стану в розділі 1 до концептуального моделювання в розділі 2 і подальшої програмної реалізації в розділах 3 і 4 загалом відповідає типовій структурі дисертаційних досліджень.

Загальні висновки повністю узгоджуються з поставленими завданнями, підтверджуючи досягнення поставленої мети в дисертації, а додатки надають необхідний контекст (від актів впровадження до лістингів Python-коду). Отже, можна зазначити, що дисертація Семенова Сергія Юрійовича є структурованим і змістовним дослідженням.

Наукова новизна отриманих результатів

Визначення наукової новизни в кваліфікаційній науковій праці за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення» вимагає чіткого розмежування між інженерно-прикладною розробкою програмного продукту та створенням нових наукових результатів – нових архітектурних стилів, алгоритмів розподілу навантаження, моделей синхронізації станів або оптимізованих процедур трансформації структур даних, тощо, що і було зроблено достатньо вдало здобувачем. У тексті дисертації наукова новизна представлена у формі п’яти структурованих положень, які охоплюють синтез туманної архітектури, формалізацію процедур агрегування, предикативне моделювання та XAI-інтерпретацію, де дисертант продемонстрував наскрізний повноцикловий підхід, що охоплює шлях від отримання первинних сигналів до кінцевої візуалізації через вебінтерфейс, а саме:

1. Уперше синтезовано повноциклову туманну архітектуру програмно-алгоритмічного забезпечення прогнозування врожайності агрокультур, що, на відміну від відомих рішень, комплексно враховує вплив агрокліматичних умов, типів вирощуваних агрокультур та застосовуваних практик їх захисту, а також реалізує наскрізну логіку виконання процедур агрегування, інтелектуалізованого опрацювання даних та підтримки прийняття рішень, які об’єктивно розподілені за функціональними рівнями, що дозволяє підвищити ефективність і масштабованість процесу трансформації результатів агромоніторингу.

2. Дістали подальшого розвитку концептуально-методологічні засади формалізації багатоетапної інтелектуалізованої трансформації результатів агромоніторингу, які відрізняються від відомих тим, що комплексно враховують просторово-часову гетерогенність агрокліматичних даних, а також механізми

людино-машинної та кросрівневої взаємодії компонент розробленого програмно-алгоритмічного забезпечення, що дозволило обґрунтувати підходи до побудови та валідації комп'ютерної технології прогнозування врожайності агрокультур.

3. Дістав подальшого розвитку інформаційно-орієнтований підхід до прогнозування врожайності агрокультур завдяки комплексній програмній реалізації процедур попередньої обробки, розвідувального аналізу і прогнозної аналітики даних та інтерпретації предикативних моделей у межах децентралізованої архітектури, що дозволило підвищити точність та адекватність прогнозування врожайності агрокультур шляхом досягнення відносної похибки прогнозування ±7,8 % і коефіцієнта детермінації 0,9904 у широкому діапазоні варіювання типів агрокультур і просторово-часових умов їх вирощування.

4. Дістали подальшого розвитку методи автоматизованої інтерпретації результатів прогнозної аналітики в комп'ютерних технологіях агромоніторингу завдяки програмній реалізації та інтеграції алгоритмів пояснювального штучного інтелекту до процесу багаторівневої трансформації даних, що, на відміну від відомих методів, забезпечує як глобальну оцінку впливу агрокліматичних факторів на врожайність агрокультур, так і локальне пояснення результатів прогнозів, підвищуючи прозорість і об'єктивність підтримки прийняття рішень.

5. Удосконалено теоретико-прикладні підходи до створення й застосування програмно-алгоритмічних рішень прогнозного агромоніторингу шляхом розробки та валідації вебзастосунку, який реалізує логіку на основі запитів під час трансформації часово-просторових даних у туманній архітектурі, що, на відміну від відомих рішень, одночасно поєднує децентралізовану предикативну аналітику й інтерпретацію, забезпечує сумісність із агроінформаційними системами та реалізує механізми оперативного сповіщення користувачів, що дозволяє підвищити практичну ефективність використання результатів прогнозування врожайності агрокультур під час управління агротехнологічними процесами.

Практичне значення отриманих результатів

Практичне значення дисертаційного дослідження визначається його здатністю вийти за межі академічних розрахунків і стати фундаментом для створення програмних продуктів або промислових сервісів автоматизації агротехнічних рішень. Здобувачем виконано помітний обсяг практичної роботи: наведено структуру коду для обробки та візуалізації агромоніторингових параметрів, побудовано графічний інтерфейс користувача та спроєктовано базові сценарії взаємодії клієнта із сервером (розділи 3, 4, додатки В, Г). Інтерактивний вебзастосунок для наочного представлення складних предикативних висновків заслуговує на схвалення.

Ступінь обґрунтованості наукових результатів і висновків

Сформульовані в дисертаційній роботі наукові результати та висновки повною мірою відповідають установленим вимогам до досліджень відповідного рівня. Автор чітко визначив мету, об'єкт та предмет дослідження, що дозволило сформувати чітку логіку наукового пошуку.

Достовірність положень дисертаційного дослідження в галузі інженерії програмного забезпечення визначається коректністю застосованого математичного апарату, строгістю валідації алгоритмічних моделей та чистотою експериментального

середовища. Автор спирається на сучасні підходи інтелектуального аналізу даних, класичні алгоритми машинного навчання (Random Forest, Gradient Boosting, XGBoost та ін.) та моделі пояснювального штучного інтелекту (LIME, ELI5), використовуючи верифіковану екосистему мови Python.

У теоретичній частині здобувач запропонував композиційний опис функціональних етапів трансформації даних, а в експериментальній частині виконав масштабні обчислювальні розрахунки на наборі даних, що об'єднує кліматичні та виробничі показники. Така послідовність дій створює позитивне враження щодо глибини виконаної роботи.

Відсутність порушень академічної доброчесності

Дисертаційна робота виконана з дотриманням принципів академічної доброчесності. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів у роботі належним чином процитовано, відповідні джерела зазначено у списку використаних джерел та супроводжено посиланнями безпосередньо в тексті. Особистий внесок здобувача є самостійним і детально зазначений у вступній частині.

Ознак академічного плагіату чи інших порушень норм наукової етики під час ознайомлення з повним текстом дисертаційної роботи та науковими публікаціями не виявлено.

Достовірність і ступінь апробації результатів

Список публікацій Семенова С.Ю. включає 10 наукових праць, серед яких є публікація у провідному міжнародному виданні першого квартиля (Elsevier, Scopus, Web of Science, Q1) «Applied Soft Computing», три статті у фахових виданнях категорії «Б» України та низка матеріалів на міжнародних конференціях. Формально кількість та зміст опублікованих праць відповідають актуальним вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії».

Тематика публікацій відповідає змісту дисертації та охоплює основні напрями проведених досліджень. Отже, результати дисертаційної роботи пройшли належну наукову апробацію та достатньо повно представлені в опублікованих працях.

У додатку Б здобувач надає два акти: про впровадження у виробничу діяльність Донецької державної сільськогосподарської дослідної станції НААН України та в навчальний процес кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем НТУ «Дніпровська політехніка». Наявність таких документів підтверджує інтерес до результатів роботи як з боку аграрної науки, так і з боку вищої школи.

Зауваження та дискусійні положення

Поряд із загальною позитивною оцінкою дисертаційної роботи вважаю за доцільне висловити декілька зауважень і положень, які можуть бути предметом наукової дискусії під час захисту на разовій СВР:

1. Обґрунтування актуальності в розділі 1 надмірно перевантажене макроекономічними та агрономічними показниками. На мою думку, натомість слід було більше уваги приділити системному аналізу актуальних проблем розробки розподіленого програмного забезпечення для обробки потоків польових даних.

2. Здобувач декларує відповідність роботи Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки», проте не конкретизує належність до визначеного переліку середньострокових пріоритетних напрямів інноваційної діяльності загальнодержавного рівня.

3. В статті, що опублікована в журналі «Applied Soft Computing», автор також використовував метрику RRMSE та метод Time-Series Split, однак в основному тексті дисертації вони чомусь не відображені.

4. Практична цінність отриманих результатів для українського фермера є обмеженою через те, що датасет не враховує локальних агрокліматичних зон України (Степ, Лісостеп, Полісся), а оперує середніми показниками країн світу.

5. Наявне часткове графічне дублювання: рис. 2.6, 2.7 та 2.8 демонструють одні й ті самі зв'язки між польовим, туманним та хмарним рівнями.

6. У роботі не продемонстровано вирішення типових задач розподіленого інжинірингу, а саме, не показано, як вебзастосунок справляється з реальними польовими протоколами передачі вимірювань та як гарантується збереження даних при збоях живлення на туманному шлюзі, що обмежує на даному етапі реальний потенціал безпосереднього впровадження системи у виробничі процеси сучасних агропідприємств.

Слід зазначити, що наведені вище пункти мають переважно дискусійний та рекомендаційний характер, не заперечують основних результатів дисертаційної роботи та не знижують її загальної позитивної оцінки.

Загальна оцінка дисертаційної роботи

Підсумовуючи результати всебічної експертизи дисертаційного дослідження Семенова Сергія Юрійовича на тему «Програмно-алгоритмічне забезпечення інтелектуалізованої трансформації вимірювальних даних агромоніторингу на основі туманної архітектури», слід зазначити, що представлена робота є значною за обсягом, актуальною та завершеною кваліфікаційною науковою працею. Здобувач продемонстрував високий рівень володіння сучасними інструментами аналізу даних, технологіями машинного навчання та методами проєктування вебінтерфейсів. Отримані ним результати вносять помітний доробок у розвиток систем інтелектуального моніторингу в сільському господарстві. Робота виконана на високому науковому рівні та не порушує принципів академічної доброчесності.

Висновок

На підставі викладеного вище констатую, що за актуальністю теми, обсягом і рівнем виконаних досліджень, науковою новизною та практичною цінністю одержаних результатів ця дисертаційна робота повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що затверджені наказом МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі 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 від 12.01.2022 р. № 44.

Вважаю, що **Семенов Сергій Юрійович** заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії (PhD) за галуззю знань 12 «Інформаційні технології» та спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення».

Офіційний рецензент
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри програмного
забезпечення комп'ютерних систем
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка» *МОРОЗ Б.І.*