Голові разової спеціалізованої вченої ради з правом прийняття до розгляду та проведення захисту дисертації здобувача Семенова С.Ю. д.т.н., проф. Швачичу Г.Г. офіційного опонента д.т.н., проф. Бабічева С.А.

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора, професора кафедри фізико-математичних дисциплін та методики навчання Херсонського державного університету
Бабічева Сергія Анатолійовича
на дисертаційну роботу Семенова Сергія Юрійовича
на тему «Програмно-алгоритмічне забезпечення інтелектуалізованої трансформації вимірювальних даних агромоніторингу на основі туманної архітектури», що представлена на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 12 – інформаційні технології за спеціальністю 121 – інженерія програмного забезпечення

1. Актуальність дисертації.

Актуальність теми дисертації Семенова С.Ю. зумовлена зростанням ролі програмних та інформаційно-аналітичних технологій у забезпеченні сталого виробництва сільськогосподарської продукції за умов мінливості кліматичних і агротехнологічних факторів, обмеженості ресурсів та підвищених вимог до ефективності агротехнологій. Продуктивність вирощування культур в умовах відкритого ґрунту визначається комплексною взаємодією ґрунтокліматичних процесів, біологічних властивостей культур і технологій їх вирощування, що зумовлює необхідність використання інтелектуальних засобів обробки та прогнозування агромоніторингових даних для підтримки рішень протягом усього вегетаційного циклу. Враховуючи високий світовий рівень розвитку програмно-алгоритмічних технологій агромоніторингу, варто зазначити, що наявні методи і засоби переважно не забезпечують комплексної інтелектуалізованої обробки даних із одночасним урахуванням динаміки агрокліматичних умов, особливостей культур і практик їх захисту в децентралізованому середовищі. Водночас світовий досвід засвідчує перспективність цифрових та інтелектуальних систем, що поєднують збір, багаторівневу трансформацію й аналітику агромоніторингових даних з автоматизованою підтримкою агротехнічних рішень.

Таким чином, вважаю, що сформульована здобувачем у його дисертації науково-практична задача, яка полягає в розвитку інформаційних і комп'ютерних технологій агротехнічного призначення шляхом створення програмно-алгоритмічного забезпечення комплексної інтелектуалізованої трансформації агромоніторингових даних на основі туманної архітектури для прогнозування врожайності з урахуванням мінливості агрокліматичних умов, типів культур і технологій їх захисту, є актуальною. Її розв'язання визначає наукову та практичну значущість дисертаційного дослідження.

2. Ступінь об'єктивності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх новизна та достовірність.

Сформульовані в дисертації положення наукової новизни, практичні рекомендації та висновки характеризуються належним рівнем обґрунтованості, внутрішньою узгодженістю та логічною взаємопов'язаністю, а їх достовірність підтверджується сукупністю результатів теоретичних і експериментальних досліджень. Об'єктивність одержаного науково-прикладного доробку забезпечено коректним використанням підходів до розробки імітаційних, структурних та математичних моделей, а також методів штучного інтелекту й машинного навчання із верифікацією й валідацією отриманих результатів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у такому:

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 компонентів 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.

Вважаю, що зазначені вище положення наукової новизни загалом є коректно сформульованими та достатньо обґрунтованими в дисертації.

3. Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами і темами.

Робота виконана на кафедрі програмного забезпечення комп'ютерних систем Національного технічного університету «Дніпровська політехніка». Дослідження безпосередньо пов'язані з науковою діяльністю закладу та відповідають вітчизняним напрямкам стратегічного розвитку, які визначено в документах «Стратегія цифрового розвитку інноваційної діяльності України (WINWIN) до 2030 року», «Закон України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки», «Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 31 грудня року, наступного після припинення або скасування воєнного стану в Україні», а також секторальній стратегії розвитку ЄС «Common agricultural policy». Дослідження цієї дисертації виконано в межах науково-дослідної роботи Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» «Методи, моделі та технології обробки і аналізу даних в комп'ютеризованих системах» (№ державної реєстрації 0124U004583).

4. Практичне значення роботи.

У дисертації розроблено та підтверджено ефективність програмно-алгоритмічних, модельних і архітектурних рішень для повноциклової інтелектуальної трансформації агромоніторингових даних і прогнозування врожайності сільськогосподарських культур на основі туманної архітектури. Реалізовано засоби багаторівневої обробки та прогнозної аналітики агрокліматичних даних із використанням машинного навчання та пояснювального штучного інтелекту, а також вебзастосунок для візуалізації й інтерпретації прогнозів, інтеграції із зовнішніми системами та оперативного інформування користувачів. Запропонована децентралізована архітектура забезпечує масштабованість і автономність агромоніторингу в умовах динамічних агрокліматичних факторів.

Практичну значущість підтверджено впровадженням розроблених рішень у науково-виробничу діяльність Донецької державної сільськогосподарської дослідної станції НААН України для підтримки планування агротехнологічних і селекційних процедур, а також в освітній процес НТУ «Дніпровська політехніка» під час підготовки здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня за спеціальностями галузі F «Інформаційні технології».

5. Оцінка змісту дисертації, стилю викладення та повноти викладення положень, висновків та рекомендацій в опублікованих наукових працях.

Дисертаційна робота Семенова С.Ю. має послідовну й логічну структуру, що відповідає поставленій меті та завданням. Стиль викладення є науковим. Дисертація викладена за такою структурою: вступ, чотири основні розділи, загальні висновки, список використаних літературних джерел зі 177 найменувань та 4 додатки. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 222 сторінки, з яких основний текст – 150 сторінок, включаючи 44 рисунки та 27 таблиць.

У вступі автором обґрунтовано важливість і актуальність теми досліджень, сформульовано основну мету й завдання роботи, визначено об’єкт і предмет дослідження, наведено застосовані методи досліджень, сформульовано наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, вказано інформацію щодо апробації, публікацій та особистого внеску здобувача.

Перший розділ присвячено аналізу й узагальненню характеристик сучасного стану світових і вітчизняних результатів науково-практичних досліджень і розробок у сфері цифровізації та інтелектуалізації рослинництва відкритого ґрунту.

У другому розділі викладено результати розв’язання дослідницьких завдань, пов’язаних із формалізацією процесу інтелектуалізованої трансформації часово-просторових даних агромоніторингу під час прогнозування врожайності агрокультур. Обґрунтовано доцільність використання туманної архітектури, розроблено структурно-

функціональну організацію, інформаційну модель та базові модельні діаграми програмно-алгоритмічного забезпечення.

У третьому розділі дисертації викладено результати розв'язання завдань щодо розробки та дослідження ефективності програмних компонентів повноциклової трансформації даних агромоніторингу, що реалізують етапи збору, попередньої обробки, розвідувального аналізу, предикативної аналітики та інтерпретації моделей прогнозування врожайності із застосуванням методів статистичного й кореляційного аналізу, машинного навчання та пояснювального штучного інтелекту, що дозволило автору синтезувати деталізовану потокову модель функціонування досліджуваного програмно-алгоритмічного забезпечення.

У четвертому розділі висвітлено результати створення, тестування та валідації комп'ютерної технології інтелектуалізованої трансформації даних агромоніторингу в межах туманної архітектури у вигляді вебзастосунку з інтерактивним користувацьким інтерфейсом, засобами інтерпретації прогнозних моделей, інтеграції із зовнішніми агроінформаційними системами та механізмами сповіщення користувачів. Також у цьому розділі автором локалізовано основні обмеження реалізованого програмно-алгоритмічного забезпечення та обґрунтовано напрями його розвитку й використання запропонованих рішень.

Основні положення дисертації повною мірою висвітлені в 10 опублікованих працях здобувача. Серед них 1 статтю опубліковано у журналі «Applied Soft Computing Journal», що індексується в наукометричних базах Scopus і Web of Science (Q1), а також 3 статті у профільних фахових виданнях України категорії Б.

6. Відсутність або наявність порушення академічної доброчесності.

Аналіз дисертаційної роботи та наукових публікацій Семенова С.Ю. свідчить про дотримання автором принципів академічної доброчесності. Робота є самостійним дослідженням. Всі використані ідеї, цитати та дані з праць інших авторів супроводжуються належними посиланнями на першоджерела. Текст дисертації пройшов перевірку на наявність текстових запозичень, результати якої підтверджують оригінальність наукового доробку. Фактів плагіату, в т. ч. самоплагіату, фальсифікації чи фабрикації даних не виявлено.

7. Зауваження та дискусійні положення.

Дисертаційне дослідження Семенова С.Ю. загалом вирізняється належним науковим рівнем, ґрунтовністю опрацювання матеріалу та достатньою завершеністю. Водночас його аналіз дає підстави сформулювати окремі зауваження і дискусійні положення, що потребують додаткового обговорення:

1. У першому розділі дисертації автор навів достатньо широкий огляд механістичних, геоінформаційних та інтелектуальних підходів до прогнозування

врожайності, однак критерії їх порівняння переважно мають якісний характер. Отже, доцільно було б чіткіше формалізувати систему критеріїв, за якими визначено переваги саме запропонованого підходу.

2. У другому розділі автор детально описав структурно-функціональну й інформаційну моделі, які визначають взаємодію компонентів та послідовність трансформацій даних. Однак дискусійним залишається питання формального критерію ефективності запропонованої структури. Яким чином здійснювався вибір складу функціональних рівнів і розподіл процедур між ними?

3. Розроблений вебзастосунок, який детально описаний автором у четвертому розділі, демонструє практичну реалізацію запропонованої технології. Однак автор зосередив основну увагу на функціональній перевірці працездатності основних сценаріїв взаємодії користувача із системою. Доцільною була б також оцінка продуктивності системи за різної кількості одночасних запитів, зміни обсягів вхідних даних та навантаження на серверні компоненти.

4. У своєму дослідженні автор обирає дев’ять алгоритмів машинного навчання задля розробки прогнозної моделі, проте такий вибір є недостатньо обґрунтованим. Робота потребує більш чіткого теоретичного обґрунтування саме такої сукупності досліджуваних алгоритмів.

5. У роботі відсутня інформація щодо оптимізації гіперпараметрів моделей машинного навчання.

6. Оцінка статистичної значущості отриманих результатів також відсутня. Наприклад, різниця між R^2=0,9903 для Random Forest і R^2=0,9904 для Bagging Regressor становить лише 0,0001. Без розподілу результатів за фолдами або повторними розбиттями неможливо стверджувати, що Bagging справді кращий. Найімовірніше, ці моделі слід вважати статистично еквівалентними в межах похибки експерименту. Це також стосується порівняння результатів інших моделей.

7. У тексті перед таблицею 3.17 зазначено, що значення R^2 є результатом усереднення за п’ятьма фолдами. Але в коді: модель навчається на X_train; прогноз виконується на X_test; усі значення таблиці записуються на основі y_test та y_pred; крос-валідація запускається окремо лише для виведення scores. Середнє значення mean_score не додається до таблиці. Тобто судячи з наведеного коду, R^2 у таблиці 3.17 є результатом одноразового поділу даних на навчальну та тестову вибірки, а не середнім результатом 5-кратної крос-валідації.

Загалом ці зауваження не ставлять під сумнів наукову та практичну цінність дисертації, а радше визначають питання, які можуть бути предметом наукової дискусії під час захисту.

8. Загальний висновок щодо дисертаційної роботи.

Дисертація **Семенова Сергія Юрійовича** на тему «Програмно-алгоритмічне забезпечення інтелектуалізованої трансформації вимірювальних даних агромоніторингу на основі туманної архітектури» є завершеною кваліфікаційною науковою працею, яка містить нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують важливу науково-прикладну задачу розвитку інформаційних і комп'ютерних технологій агротехнічного призначення шляхом створення програмно-алгоритмічного забезпечення комплексної інтелектуалізованої трансформації агромоніторингових даних на основі туманної архітектури для прогнозування врожайності з урахуванням мінливості агрокліматичних умов, типів культур і технологій їх захисту.

Робота за своїм змістом, рівнем виконання, науковою новизною та практичною значущістю задовольняє вимогам, що передбачені наказом Міністерства освіти та науки від 12.07.2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 «Про затвердження порядку присудження ступеня доктора філософії» (пункти 5, 6, 8).

Вважаю, що автор дисертації **Семенов Сергій Юрійович** заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення».

Офіційний опонент:

Доктор технічних наук, професор, професор кафедри фізико-математичних дисциплін та методики навчання Херсонського державного університету



Сергій Бабічев