Голові разової СВР з правом прийняття
до розгляду та проведення захисту
дисертації Семенова С.Ю.
д.т.н., проф. Швачичу Г.Г.
офіційного опонента
д.т.н., проф. Перекреста А.Л.

ВІДГУК

***офіційного опонента**, доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського Перекреста Андрія Леонідовича на дисертацію Семенова Сергія Юрійовича на тему «Програмно-алгоритмічне забезпечення інтелектуалізованої трансформації вимірювальних даних агромоніторингу на основі туманної архітектури» подану до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення»*

Відгук опонента, який викладено нижче, є результатом критичного аналізу змісту дисертації та наукових публікацій здобувача за темою дисертації

Актуальність теми дисертаційного дослідження. Розвиток сучасного сільського господарства неминуче стикається з викликами деградації ґрунтів та глобальних кліматичних змін. Швидкість потепління, за наведеними в роботі даними Національного управління океанічних та атмосферних досліджень, становить 0,2°C на десятиріччя, що вимагає розробки адаптивних технологій моніторингу. Застосування інформаційно-орієнтованого підходу до прогнозування врожайності визначено автором як пріоритетний напрям модернізації галузі. Запропонована парадигма туманних обчислень теоретично здатна зменшити навантаження на інфокомунікаційні мережі порівняно з класичними хмарними рішеннями. Здобувач Семенов С.Ю. стверджує, що така децентралізована архітектура мінімізує часові затримки під час агрегування вимірювальних даних із сенсорів. Обґрунтування актуальності багато в чому також спирається на аналіз макроекономічних показників Всесвітньої продовольчої та сільськогосподарської організації та Всесвітньої організації охорони здоров'я щодо продовольчої безпеки. Отже, обґрунтування тематики дисертації має виражений макроекономічний ухил, що методологічно, на мою думку, в достатній ступені надає аргументацію актуальності теми дисертаційного дослідження.

Дисертація спрямована на розв'язання задачі обробки агромоніторингових даних із використанням туманних обчислень та машинного навчання (ML). Дослідження обґрунтовується необхідністю створення масштабованих архітектур для предикативної аналітики в агропромисловому комплексі. Водночас, постановка проблеми здебільшого сфокусована на прикладних аспектах в контексті спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Ця дисертаційна робота виконана в рамках науково-дослідної роботи НТУ «Дніпровська політехніка» (№ держреєстрації 0124U004583) «Методи, моделі та технології обробки і аналізу даних в комп'ютеризованих системах». Тема дисертації має відповідність низці стратегічних документів, зокрема «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».

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових результатів та висновків, сформульованих у дисертації. Сформульовані в дисертаційній роботі наукові результати та висновки повною мірою відповідають установленим вимогам до досліджень відповідного рівня. Високий ступінь обґрунтованості, достовірності та об'єктивності наукових результатів і висновків дисертації забезпечується: застосуванням валідованих публічних наборів даних (FAO, World Bank); коректному використанні сучасних алгоритмів машинного навчання (Random Forest, Gradient Boosting, XGBoost та ін.) та метрик оцінки (RRMSE, R^2, RMSE, MAE, MAPE); застосуванні методу крос-валідації (K-Fold з k=5) та TimeSeriesSplit; коректному використанні бібліотек Python (scikit-learn, xgboost, pandas) для проведення експериментів та бібліотек пояснювального штучного інтелекту (XAI), таких як ELI5 та LIME.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження Семенова Сергія Юрійовича сформульована у вигляді п'яти пунктів, які стосуються туманної архітектури, методологічних засад формалізації, інформаційно-орієнтованого підходу до прогнозування, методів XAI та розробки вебзастосунку, а саме заявлено, що:

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.

З вище сформульованими автором положеннями згоден.

Практична цінність. Практичне значення одержаних результатів полягає у реалізації програмно-алгоритмічних компонентів, що забезпечують обробку даних агрокліматичного моніторингу. Розроблено структурно-компонентне забезпечення та базові модельні діаграми для прогнозування врожайності. Реалізовано програмні компоненти багаторівневої агрегації та предикативної аналітики кліматичних даних з використанням Python. Створено та протестовано вебзастосунок з інтерактивним інтерфейсом, який візуалізує результати агромоніторингу та інтерпретації моделей. Запропонована децентралізована архітектура потенційно підвищує автономність обчислень при прогнозуванні врожайності. Практичну цінність результатів підтверджено актами використання в науково-дослідній діяльності Донецької державної сільськогосподарської дослідної станції НААН України та в освітньому процесі НТУ «Дніпровська політехніка» для здобувачів за третім освітньо-науковим рівнем в галузі F Інформаційні технології. На даному етапі вважаю, що практична цінність зводиться до створення дослідницького прототипу, а не повноцінного промислового програмного продукту.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох основних розділів, висновків, списку використаних джерел зі 177 найменувань та чотирьох додатків. Загальний обсяг становить 222 сторінки, з яких основний текст займає 150 сторінок і містить 44 рисунки та 27 таблиць. Перший розділ присвячено аналізу стану науково-практичних розробок у галузі цифровізації рослинництва. Другий розділ зосереджений на формалізації процесу трансформації даних та обґрунтуванні туманної архітектури. У третьому розділі викладено результати розробки програмних компонент із застосуванням ML та XAI. Четвертий розділ присвячено створенню та тестуванню вебзастосунку як

комп'ютерної технології інтелектуалізованої трансформації. Структура загалом відповідає логіці розв'язання поставлених завдань від аналізу до програмної реалізації. Проте третій розділ є дещо перевантаженим статистичними графіками (Рис. 3.6, 3.7), які доцільніше було б винести в додатки. Таким чином, структура та обсяг цієї дисертації відповідають чинним вимогам та нормам.

Повнота викладу основних положень дисертації в опублікованих наукових працях. Основні наукові результати дисертації викладено у 10 наукових працях. Серед них 1 стаття опублікована у міжнародному виданні Applied Soft Computing Journal, що індексується у базах Scopus та Web of Science і належить до квартиля Q1. Також здобувачем опубліковано 3 статті у фахових наукових виданнях України категорії Б. Крім того, наявні 6 публікацій апробаційного характеру у матеріалах міжнародних конференцій, одна з яких індексується у Scopus (CEUR Workshop Proceedings – 1st International Workshop on Advanced Applied Information Technologies, AdvAIT–2024). Тематика публікацій охоплює формалізацію архітектури, компаративний аналіз програмних рішень, кросрівневу взаємодію, а також застосування ML та XAI для прогнозування. Зазначений обсяг публікацій формально перевищує мінімальні вимоги МОН України щодо кількості праць для здобуття ступеня доктора філософії. Кількість та зміст опублікованих праць відповідають актуальним вимогам пп. 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 січня 2022 р. № 44, а також дають підстави вважати, що основні науково-прикладні результати дисертаційної роботи, які опубліковано в періодичних наукових виданнях, охоплюють усі наукові положення, що виносяться на захист.

Упровадження та використання результатів дисертаційного дослідження. Практичне впровадження результатів дисертаційної роботи декларується автором через впровадження в науково-дослідну та виробничу діяльність Донецької державної сільськогосподарської дослідної станції НААН України. Автор стверджує, що результати використано як засоби підтримки прийняття рішень під час планування та виконання агропроцедур. Також розробку впроваджено в освітній процес НТУ «Дніпровська політехніка» для підготовки здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня за спеціальностями галузі «Інформаційні технології». Скан-копії документів, що підтверджують ці факти, містяться у Додатку Б.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності та дотримання принципів академічної доброчесності. За своїм змістовним наповненням дисертація здобувача Семенова С.Ю. повністю відповідає ОНП для третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Дисертація Сергія Юрійовича Семенова являє собою завершену науково-дослідну кваліфікаційну працю, яка містить результати розробки програмно-алгоритмічного забезпечення агромоніторингу. Дослідження охоплює всі етапи від аналізу предметної області до програмної реалізації ML алгоритмів та проектування вебзастосунку. Текст структуровано логічно, з дотриманням базових вимог щодо оформлення наукових праць, анотації українською та англійською

мовами відповідають змісту. З формальної точки зору, робота відповідає вимогам МОН України щодо оформлення дисертацій. Також виконані норми щодо кількості публікацій та проходження апробації. Обсяг виконаних завдань і програмного коду є достатнім для констатації завершеності етапу прототипування.

На підставі перевірки дисертаційної роботи та наукових публікацій на наявність ознак академічної недоброчесності можна зробити висновок, що дисертація і наукові публікації Сергія Юрійовича Семенова є результатом самостійних і оригінальних досліджень та не містять елементів фабрикації, фальсифікації, плагіату, самоплагіату та текстових запозичень. Використані ідеї, результати й тексти інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

Мова та стиль викладення результатів. Дисертаційна робота написана державною мовою з дотриманням більшості норм формального академічного стилю. Стиль викладення матеріалу є чітким, логічним і лаконічним. Текст структурований, використовується безособова форма викладу, що характерно для наукових праць. Автор використовує загальноприйняту термінологію у галузі інформаційних технологій (туманна архітектура, машинне навчання, пояснювальний штучний інтелект, вебзастосунок). Присутні англомовні акроніми з відповідними розшифровками (IoT, XAI, ML, CNN, LSTM). Змістовний виклад супроводжується достатньою кількістю графічного матеріалу (графіки розподілу, матриці кореляцій) та формул, оформлених згідно зі стандартами. Присутні надмірно об’ємні багатослівні речення (на 5-6 рядків), що ускладнює сприйняття логіки. Анотації українською та англійською мовами адекватно відображають зміст роботи.

Аналіз змістовного наповнення дисертації. У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, наукове завдання та задачі дослідження, визначено об’єкт і предмет дослідження, наведено методи дослідження, сформульовано наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, окреслено особистий внесок здобувача та апробацію результатів, наведено зв’язок роботи з державними і відомчими науковими програмами.

Перший розділ формує якісний теоретичний бекграунд, містить огляд сучасних моделей оцінки врожайності (DSSAT, APSIM, NDVI) та аналіз статистичних трендів. Другий розділ присвячено UML-моделюванню (діаграми послідовності, руху даних) та математичному опису конвеєра обробки даних. Третій розділ є суто експериментальним: описано збір та очищення датасету, проведення Exploratory Data Analysis (EDA), застосування алгоритмів ML (Random Forest, XGBoost, SVR, MLP та ін.) і використання LIME/ELI5 для XAI. Етап EDA містить стандартні операції (гістограми, матриці кореляцій), але не використовує методи просторової статистики або аналізу часових рядів (наприклад, ADF-тест на стаціонарність). Результати третього розділу було опубліковано у міжнародному рецензованому виданні Applied Soft Computing Journal, що індексується у базах Scopus та Web of Science і належить до квартиля Q1, і питань до результатів прогнозування немає. У четвертому розділі виконано побудову архітектури та валідацію комп’ютерної технології у вигляді вебзастосунку з дотриманням принципів Model-View-Controller.

У загальних висновках викладено узагальнені якісні та кількісні результати досліджень дисертаційної роботи. Отримані результати відповідають поставленим

меті та задачам. Додатки містять список наукових публікацій за темою дисертації, а також програмні компоненти та акти впровадження.

Отже, можна зазначити, що дисертація Сергія Юрійовича Семенова є чітко структурованим і змістовним дослідженням.

Зауваження, коментарі та дискусійні положення щодо змісту дисертації.

Під час детального ознайомлення з результатами досліджень, які викладено в дисертаційній роботі Семенова С.Ю., було визначено наступні зауваження, коментарі та дискусійні положення:

1. Найбільш дискусійним, на мою думку, аспектом поданого дисертаційного дослідження є недостатня обґрунтованість доцільності застосування туманної архітектури під час розв'язання визначеної автором науково-прикладної задачі. Адже в загальній практиці туманна архітектура покликана вирішувати проблеми високої частоти опитування польових IoT-сенсорів, зниження обсягів трафіку до хмари та локальної реакції.

2. Прогноз на рівні цілої країни (середня температура і опади по країні) не є показовим для точного землеробства, де клімат варіюється в межах кількох кілометрів.

3. Відсутня симуляція роботи децентралізованих вузлів (наприклад, у середовищах iFogSim або EdgeCloudSim) для підтвердження зниження затримок, про які йдеться у Розділі 2.

4. Алгоритми пояснювального штучного інтелекту LIME та ELI5 для часових рядів є відносно нестабільними, а отже, автору необхідно було б приділити увагу дослідженню метрик стійкості пояснень при малих збуреннях вхідних даних.

5. Відсутня оцінка економічної доцільності розгортання складних ML-моделей на пристроях рівня туманних обрахунків для прогнозування, яке виконується зі значним кроком дискретизації даних.

Вищезазначені зауваження, коментарі та дискусійні положення жодним чином не знижують загальної позитивної оцінки дисертації Сергія Юрійовича Семенова, а лише можуть слугувати предметом наукової дискусії під час захисту.

Загальний висновок щодо дисертаційної роботи. З урахуванням актуальності, наукової новизни, практичної цінності, публікаційного доробку, ступеня достовірності та обґрунтованості одержаних результатів і висновків вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії СЕМЕНОВА Сергія Юрійовича на тему «Програмно-алгоритмічне забезпечення інтелектуалізованої трансформації вимірювальних даних агромоніторингу на основі туманної архітектури» є оригінальним, самостійним та завершеним науковим дослідженням, у якому вирішено актуальну науково-практичну задачу. Робота виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є завершеним науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує поставлене наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 12 «Інформаційні технології».

На підставі вищезазначеного можна стверджувати, що дисертація Семенова С.Ю. відповідає вимогам, що передбачені наказом Міністерства освіти та науки України від 12.07.2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової

установи про присудження ступеня доктора філософії» (п. 5, 6, 8), затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Вважаю, що здобувач СЕМЕНОВ Сергій Юрійович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення».

Офіційний опонент
завідувач кафедри комп'ютерної
інженерії та електроніки
Кременчуцького національного університету
імені Михайла Остроградського,
доктор технічних наук, професор Андрій ПЕРЕКРЕСТ