

Голові разової спеціалізованої вченої ради
ДФ 58.082.107
Західноукраїнського національного університету
доктору технічних наук, професору
Диваку Миколі Петровичу

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора, професора кафедри комп'ютерних наук

Мельника Андрія Миколайовича

на дисертаційну роботу Мачуляка Михайла Володимировича на тему:

«Математичні та програмні засоби моніторингу урожайності зернових культур із використанням геоінформаційних технологій»

на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології»
за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення»

Актуальність теми дослідження. Актуальність теми дисертаційного дослідження зумовлена сучасними викликами цифрової трансформації аграрного сектору, необхідністю підвищення ефективності використання ресурсів та забезпечення продовольчої безпеки в умовах кліматичної нестабільності й економічної незалежності.

Сучасне точне землеробство базується на інтенсивному використанні інформаційно-комунікаційних технологій, геоінформаційних систем, сенсорних мереж та безпілотних літальних апаратів (БПЛА), які забезпечують високодеталізований моніторинг стану посівів. Аналіз вегетаційних індексів (NDVI, MTCI та інших) дозволяє виявляти просторові аномалії розвитку рослин, дефіцит азоту, водний стрес, неоднорідність ґрунтів, ущільнення та інші фактори, що впливають на формування врожайності.

Разом із тим, попри наявність великих обсягів просторово-часових даних, більшість сучасних програмних рішень обмежується фіксацією поточного стану агроценозу та візуалізацією карт індексів. Вони відповідають на запитання «що відбувається зараз», але не забезпечують достатньо обґрунтованої відповіді на питання «яким буде кінцевий результат» і «який економічний ефект матиме

коригуючий вплив». Таким чином, виникає системне протиріччя між можливостями збору даних та рівнем їх інтелектуальної інтерпретації.

Тому, тема та завдання дисертаційної роботи Мачуляка М.В. «Математичні та програмні засоби моніторингу урожайності зернових культур із використанням геоінформаційних технологій», є актуальною, оскільки вона пов'язана із є розроблення адаптивних математичних моделей та програмних засобів, які забезпечують інтеграцію дискретних і неперервних оцінок динаміки розвитку рослин із прогнозуванням кінцевої урожайності та автоматизованою генерацією рекомендацій щодо агротехнічних заходів.

Особистий внесок дисертанта в отриманні наукові результати. Дисертаційне дослідження Мачуляка М.В. є завершеною науковою працею, яке виконане ним особисто на високому науковому рівні, в якому отримано нові результати, що в сукупності розв'язують основне завдання роботи, яке полягає у створенні математичного та програмного забезпечення для автоматизованого збору, інтеграції, аналізу та прогнозування урожайності зернових культур із використанням геоінформаційних технологій.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій. Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи Мачуляка М.В. достатньо повно та на належному рівні обґрунтовані, підтверджуються використанням широкої та сучасної інформаційної бази наукових публікації, нормативних документів, звітів, рекомендації вітчизняних та закордонних вчених за напрямком дослідження.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження. У дисертаційній роботі сформульовано ряд наукових положень, висновків і рекомендацій, які мають належне обґрунтування, характеризуються науковою новизною та мають практичну цінність. Наукові положення сформульовані здобувачем особисто та свідчать про особистий внесок здобувача у розвиток наукового напрямку – інженерія програмного забезпечення.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

- розроблено двокомпонентну адаптивну модель динаміки вегетаційних індексів, яка на відміну від існуючих підходів забезпечує інтеграцію дискретної адаптивної складової, сформованої на основі поєднання поточних та історичних даних, і неперервної апроксимаційної складової, побудованої на основі моделі Моно. Це дозволило сформувати нелінійну неперервну модель динаміки вегетаційних індексів із підвищеною адаптивністю та прогностичною здатністю;
- запропоновано відкриту сервісно-орієнтовану архітектуру програмної системи підтримки прийняття агротехнічних рішень, яка на відміну від відомих рішень передбачає інтеграцію моделей динаміки вегетаційних індексів, моделей ущільнення ґрунтів, механізмів визначення оптимальних періодів оцінювання та модуля аналізу ефективності агротехнічних заходів, що забезпечує побудову масштабованих програмних засобів підвищення урожайності.

Набули подальшого розвитку:

- метод ідентифікації моделі Моно для процесів насичення та редукції, який, на відміну від існуючих, враховує монотонність модельованих процесів при формуванні початкових оцінок параметрів, що забезпечує узгодженість апроксимаційних властивостей із точністю вхідних даних;
- метод ідентифікації дворівневої адаптивної моделі урожайності, який, на відміну від традиційних підходів, використовує параметризовані моделі динаміки вегетаційних індексів як пояснюючі змінні, що підвищує адаптивність та прогностичну ефективність оцінювання кінцевої урожайності.

Повнота опублікування основних положень дисертації.

Результати дисертаційної роботи повністю опубліковано у 7 наукових працях, з них 4 – у фахових періодичних виданнях, 1 з яких опубліковано журналі, що входить до міжнародних наукометричних баз Scopus чи Web of Science, що засвідчує їх визнання міжнародною науковою спільнотою. З 3 тез доповідей, 1 індексується у міжнародній базі Scopus.

Результати роботи достатньо апробовані на міжнародних наукових конференціях закордоном та на наукових семінарах кафедри комп'ютерних наук та кафедри кібербезпеки Західноукраїнського національного університету.

Результати аналізу публікацій здобувача за темою дисертаційної роботи підтверджують повний виклад основних наукових положень, дотримання здобувачем принципів академічної доброчесності у процесі підготовки дисертації.

Теоретична та практична значущість отриманих результатів дослідження.

Практичне значення дисертаційного дослідження полягає у створенні математичного та програмного забезпечення для автоматизованого моніторингу, прогнозування та оптимізації урожайності зернових культур в умовах точного землеробства.

Розроблені моделі та програмні засоби забезпечують:

- інтеграцію історичних (грунтові характеристики, кліматичні показники, попередня врожайність) та поточних даних дистанційного моніторингу (вегетаційні індекси, просторові карти поля);

- моделювання динаміки вегетаційних індексів у дискретній та неперервній формах;

- прогнозування кінцевої урожайності з урахуванням адаптивного оновлення параметрів упродовж вегетаційного періоду;

- виявлення зон ризику втрати врожаю;

- формування обґрунтованих рекомендацій щодо термінів та обсягів внесення добрив із урахуванням прогнозованого економічного ефекту;

- аналіз впливу ущільнення ґрунтів на формування врожайності.

Реалізоване програмне забезпечення побудоване на основі сервісно-орієнтованої (мікросервісної) архітектури, що забезпечує його масштабованість, модульність та можливість інтеграції з існуючими геоінформаційними та аграрними інформаційними системами.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в науково-дослідну діяльність та освітній процес, що підтверджується відповідними актами впровадження. Запропоновані методи можуть бути використані

агропідприємствами, компаніями, що надають послуги агромоніторингу, а також розробниками інформаційних систем для точного землеробства.

Оцінка структури дисертації, мови та стилю викладення матеріалу.

Дисертаційна робота складається з анотації, списку опублікованих дисертантом праць, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Зміст дисертації відповідає поставленим меті та завданням дослідження. Рукопис дисертації характеризується структурною логічністю, повним викладенням наукових та практичних результатів, а також завершеністю.

Дискусійні положення та зауваження до дисертаційного дослідження.

Не зважаючи на загальну позитивну оцінку роботи, вважаю за необхідне звернути увагу на ряд дискусійних питань:

1. У роботі наведено переконливе обґрунтування адаптивних математичних моделей, однак для повноти аналізу доцільно було б подати більш розширене порівняння отриманих результатів із сучасними методами машинного навчання, що використовуються у задачах прогнозування урожайності. Це дозволило б додатково підкреслити переваги запропонованого підходу.

2. Експериментальні дослідження підтверджують працездатність моделей, проте перспективним напрямом подальших досліджень є їх перевірка на ширшому наборі польових даних та в різних агрокліматичних умовах.

3. Запропонована сервісно-орієнтована архітектура є сучасною та логічно обґрунтованою, однак у роботі можна було б дещо детальніше висвітлити питання продуктивності та обробки великих обсягів даних дистанційного моніторингу.

4. У роботі декларується економічна доцільність запропонованих рекомендацій, проте доцільним було б подати формалізовану модель економічної оцінки ефективності (з урахуванням ризиків, вартості ресурсів та ринкової волатильності), що дозволило б кількісно оцінити переваги запропонованого підходу.

5. З огляду на використання даних БПЛА, які можуть містити певні вимірвальні похибки, перспективним є більш детальний аналіз стійкості моделей до шумів та неточностей початкової інформації.

Вказані зауваження не впливають істотно на загальну позитивну оцінку дисертації та не знижують її наукову та практичну цінність.

Висновок про відповідність роботи встановленим вимогам.
Дисертаційна робота «Математичні та програмні засоби моніторингу урожайності зернових культур із використанням геоінформаційних технологій» за актуальністю обраної теми, обсягом і рівнем проведених досліджень, повнотою розв'язання поставлених наукових і практичних завдань, науковою новизною та обґрунтованістю отриманих результатів, практичною значущістю висновків і рекомендацій, повнотою їх висвітлення у наукових публікаціях, а також дотриманням вимог академічної доброчесності відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 6. – 9 «Про затвердження 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 її автор, Мачуляк Михайло Володимирович, заслуговує присудження йому ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

Рецензент:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри
комп'ютерних наук Закарпатського
національного університету



Андрій МЕЛЬНИК

33880129

Підпис: *А. Мельник*

Завіряю:
НАЧАЛЬНИК
ЗАГАЛЬНОГО ВІДДІЛУ *А. Семенко*