

**ВІДГУК**  
**офіційного опонента**  
на дисертаційну роботу  
**Погорелова Артема Віталійовича**  
на тему «Обчислювальні методи визначення положення об'єктів у  
просторі за даними цифрових зображень»,  
подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за  
спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні  
методи

**Актуальність теми дослідження.**

Розробці та удосконаленню методів обробки цифрових зображень і їх практичному використанню в різних галузях науки і техніки сьогодні присвячено велику кількість досліджень. Значна увага, зокрема, приділяється проблемі визначення положення об'єктів на зображеннях, отриманих за результатами спостережень, в астрономічній галузі.

Проблема автоматичної комп'ютерної обробки цифрових кадрів астрономічних зображень є достатньо новою і набуває нові напрямки розвитку разом з вдосконаленням засобів цифрових спостережень. Точність обробки астрономічних даних та якість їх подальшого аналізу в значній мірі обумовлюється коректністю здійснення попередньої сегментації цифрових зображень астрономічних об'єктів. Необхідно відзначити, що існуючі методи сегментації зображень об'єктів на цифрових зображеннях та технології позиціонування астрономічних об'єктів не завжди враховують специфічні особливості астрономічних досліджень. При цьому важливими є питання оцінювання параметрів фонової підкладки цифрового зображення об'єкта при наявності аномальних пікселів.

Слід відзначити, що існуючі методи сегментації зображень об'єктів на цифрових зображеннях не завжди враховують специфічні особливості астрономічних зображень, що заважає досягнути потрібної точності визначення положення об'єктів.

Цим обумовлюється актуальність дисертаційної роботи Погорелова А.В., яка присвячена вирішенню науково-технічної задачі розробки ефективних обчислювальних методів сегментації цифрових зображень та оцінки кутового положення астрономічних об'єктів в просторі з урахуванням специфічних умов астрономічних спостережень та аналізу відповідних цифрових кадрів.



## **Зв'язок роботи з науковими програмами і темами**

Дослідження, що були виконані здобувачем, пов'язані з реалізацією планів і програм, що виконувалися в Харківському національному університеті радіоелектроніки (ХНУРЕ), 2014-2019 рр., а також з міжнародною програмою «Захист планети» (Planetary Defense) від Міжнародної Академії Астронавтики (International Academy of Astronautics – IAA); міжнародним проектом «The Space Emergency System» програми трансграницічного співробітництва Угорщина – Словаччина – Румунія – Україна (European Neighbourhood and Partnership Instrument – ENPI); програмами спостережень астероїдів під егідою Центру малих планет (Minor Planet Center – MPC) Міжнародного Астрономічного Союзу; міжнародною програмою Gaia-FUN-SSO (Gaia Follow-Up Network for Solar System Objects); НДР №307 «Динамічний інтелектуальний аналіз послідовностей нечіткої інформації за умов суттєвої невизначеності на основі гібридних систем обчислювального інтелекту» (№ДР 0116U002539), де здобувач брав участь як виконавець.

**Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.** Аналіз сучасних досліджень за темою дисертації дозволив здобувачеві визначити переваги та недоліки існуючих методів сегментації та визначення положення об'єктів в просторі за даними цифрових зображень (з урахуванням особливостей умов спостереження, що впливають на формування цифрових зображень астрономічних об'єктів) з подальшим обґрунтуванням мети та завдань дисертаційної роботи. Припущення, прийняті в теоретичних дослідженнях роботи, є коректними, а отримані результати не суперечать відомим уявленням теорії обробки зображень. Перевірка теоретичних результатів з використанням сучасних програмних засобів підтвердила високій ступінь їх адекватності для досліджуваного класу задач. Отримані ключові результати засновані на коректному застосуванні випробуваного математичного апарату теорії чисельних методів, морфологічної обробки зображень, теорії математичної статистики, параметричного оцінювання та теорії оптимізації, що дозволили розробити: обчислювальні методи сегментації зображень одиночних, яскравих, протяжних і компактних груп об'єктів на цифрових астрономічних зображеннях; оцінки параметрів зображення фонової підкладки на цифрових зображеннях при наявності аномальних пікселів; методів оцінки кутового

положення об'єктів в просторі при прямій і зворотній координатній редукції дискретних зображень та класичних методиках комп'ютерного моделювання.

Достовірність наукових положень, результатів та висновків, наведених в дисертації, підтверджується даними моделювання, експериментальними дослідженнями та застосуванням даних спостережень і обробки зображень за програмою автоматичного пошуку астероїдів та комет на серії цифрових кадрів CoLiTec, яка впродовж декількох років успішно використовується в обсерваторіях світу, відповідними актами впровадження, а також достатньою апробацією на міжнародних конференціях.

**Структура, обсяг роботи.** Дисертація загальним обсягом 206 сторінок (з них 175 сторінок основного тексту) складається із вступу, чотирьох розділів, списку використаних джерел з 229 найменувань і додатків, у які, зокрема, внесені документи, що підтверджують впровадження результатів роботи.

### **Загальна характеристика структури та змісту роботи**

У вступі автором подано загальну характеристику дисертації, актуальність теми, сформульовано об'єкт та предмет досліджень, визначені отримані результати та виділено їх наукову новизну та практичну значимість.

В першому розділі проведено аналіз сучасного стану розвитку методів та технологій за темою дисертації, охарактеризовано загальні проблеми, які виникають при вирішенні задач сегментації та визначення положення об'єктів в просторі за даними цифрових зображень. Сформульовано мету та обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, визначено завдання досліджень та математичний апарат для їх реалізації.

Другий розділ, який займає основне місце в роботі, присвячено розробці обчислювальних методів: сегментації зображень одиночних об'єктів на цифрових зображеннях з попереднім використанням згладжуваючого цифрового фільтру низьких частот та вирівнюванням яскравості цифрового кадру, та сегментації протяжних зображень об'єктів на цифрових зображеннях.

Використання запропонованих Погореловим А.В. методів дозволяє зменшити кількість помилкових виявлень об'єктів та маловимірних артефактів, та здійснювати сегментацію вхідних протяжних зображень, де присутні різні типи зображень локальних об'єктів (одиночних, компактної

групи, протяжних). Наведено доцільність спільного використання розглянутих методів для скорочення обчислювальних витрат та метода виділення зображень одиночних об'єктів як метод попередньої обробки для маркування зображення об'єктів.

Третій розділ присвячено розробці та удосконаленню методу оцінювання параметрів фонової підкладки цифрового зображення об'єкта при наявності аномальних пікселей та методу оцінки кутового положення об'єктів в просторі з використанням прямої та зворотної координатної редукції дискретних зображень. Запропоновані обчислювальні методи дозволяють враховувати умови астрономічних спостережень для покращення показників точності оцінки положення об'єктів у просторі, поліпшити якість апроксимації, підвищити точність визначення координат об'єктів.

У четвертому розділі запропоновано використання методів, представлених у другому та третьому розділах, для вирішення прикладних задач, зокрема, в рамках програмного комплексу автоматизованого виявлення астероїдів і комет CoLiTec. Аналіз оцінки показників якості оцінки положення об'єктів на цифрових зображеннях свідчить, що операція відбраковування аномальних пікселів значно покращує показники точності оцінки стану об'єктів із зображенням, що характеризується малим відношенням сигнал/шум.

У додатах наведено список опублікованих праць автора за темою роботи та документи впровадження результатів дисертації.

### **Наукова новизна результатів дисертації.**

Автором дисертації отримані такі наукові результати:

1. Вперше запропоновано обчислювальний метод сегментації зображень одиночних об'єктів на цифрових зображеннях з попереднім використанням згладжуваючого цифрового фільтру низьких частот та вирівнюванням яскравості цифрового кадру, а також здійсненням операції розмікання з додатковою морфологічною реконструкцією, що дозволило зменшити кількість помилкових виявлень об'єктів та артефактів.

2. Вперше запропоновано обчислювальний метод сегментації протяжних зображень об'єктів на цифрових зображеннях, що дозволяє здійснювати сегментацію вхідних протяжних зображень, де присутні різні

типи зображень локальних об'єктів (одиночних, компактної групи, протяжних) при обчислювальних витратах, близьких до мінімальних.

3. Удосконалено метод оцінювання параметрів фонової підкладки цифрового зображення об'єкта при наявності аномальних пікселів, що дозволяє враховувати умови астрономічних спостережень для покращення показників точності оцінки положення об'єктів у просторі.

4. Отримали подальший розвиток обчислювальні методи оцінки кутового положення об'єктів в просторі з використанням прямої та зворотної координатної редукції дискретних зображень, що дозволило поліпшити якість апроксимації аберрації для короткофокусних та довгофокусних оптических систем спостереження та підвищити загальну точність визначення координат об'єктів.

### **Обґрунтованість наукових результатів.**

Новизна одержаних автором наукових результатів підтверджується проведеними дослідженнями, які викладені значною кількістю публікацій у сучасних фахових наукових виданнях та апробаціями основних наукових положень роботи на науково-технічних конференціях.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

Отримані в дисертації теоретичні результати апробовані на практиці і впроваджені в блоці внутрішньокадрової обробки програмного комплексу автоматизованого виявлення астероїдів і комет CoLiTec, одним з розробників якого є здобувач. Розроблені методи та програмне забезпечення (ПЗ) CoLiTec, що їх реалізує, були використані в Науково-дослідному інституті «Астрономічна обсерваторія» Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова (Одеса), в лабораторії космічних досліджень при Ужгородському національному університеті (Ужгород). Впровадження розроблених дисертантом методів підтверджується відповідними актами (акт від 12.02.2020, акт від 28.01.2020). Запропоновані в роботі обчислювальні методи координатної редукції дозволили значно підвищити показники точності визначення кутових положень об'єктів (зокрема, отримані значення середньоквадратичного відхилення екваторіальних координат опорних зірок відповідають вимогам Центру малих планет до точності оцінки кутових положень астероїдів на цифрових зображеннях).

**Рекомендації щодо використання результатів дисертації.** Область практичних застосувань результатів роботи, на мій погляд, не обмежується розглянутими у ній впровадженнями. Основні результати дисертації можуть бути використані в науково-дослідницьких установах, напрямки роботи яких пов'язані з автоматизацією обробки, інтерпретацією та візуалізацією цифрових зображень. Розроблені здобувачем обчислювальні методи можуть бути використані в програмних комплексах обробки цифрових зображень для сегментації і позиціонування об'єктів в просторі з високою точністю (зокрема, в програмних комплексах для зоряної фотометрії та для контролю космічного простору). Крім того, запропоновані методи мають перспективи їх практичного використання для сегментації і визначення кутових положень інших типів об'єктів (наприклад, об'єктів на супутниковых цифрових знімках).

На мій погляд, результати дисертаційного дослідження Погорелова А.В. варто впровадити в навчальний процес за відповідними спеціальностями, зокрема, галузі 12 – Інформаційні технології.

**Повнота публікації основних результатів в наукових виданнях та їх апробація.** За результатами досліджень здобувачем опубліковано 22 статті (з них 10 статей у наукових фахових виданнях України, 6 статей у виданнях, що індексуються у базі Scopus, та 6 статей в інших виданнях) та 20 тез доповідей конференцій (1 конференція індексується у базі Scopus).

Рівень публікацій та апробації результатів дисертаційної роботи відповідають необхідним вимогам.

**Відповідність автореферату та дисертації.** Оформлення автореферату за своїм обсягом, структурою та змістом відповідає чинним вимогам. Зміст автореферату є ідентичним змісту розділів дисертаційної роботи, а автореферат в цілому адекватно відображає її основні результати. При загальній оцінці дисертаційної роботи Погорелова А.В. слід зазначити, що вона є завершеним науковим дослідженням з чіткою структурою і логічним викладом матеріалу, написана сучасною науково-технічною мовою. Оформлення дисертації відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів». Стиль викладення наукових положень, висновків та рекомендацій дисертації забезпечує доступність її сприйняття.

## **Зауваження щодо змісту та оформленню дисертаційної роботи та автореферату.**

1. В першому розділі слід було б навести кількісні дані щодо оцінювання якості сегментації зображень досліджуваного класу об'єктів з використанням існуючих методів. Це дало б змогу в подальшому більш аргументовано довести перевагу розроблених в дисертації методів.

2. В роботі використовується термін «обчислювальні затрати, близькі до мінімальних», але не наводяться пояснення відносно фактичного рівня таких затрат.

3. Наведені в другому розділі UML-діаграми обчислювальних методів сегментації зображень (с. 98, с.113, с. 116) доцільніше було б винести до додатків.

4. В роботі не розглянуто можливість вирішення задач сегментації зображень досліджуваного класу об'єктів з використанням згорткових нейронних мереж, що останнім часом отримали поширення в задачах комп'ютерної обробки зображень.

5. Результати оцінювання показників якості визначення положення об'єктів в просторі за розробленими методами доцільно було б біль докладно відобразити в авторефераті.

6. Дисертаційна робота не позбавлена невдалих формулювань та друкарських помилок

Наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку отриманих в роботі результатів, що характеризуються зазначеною вище науково- практичною значимістю.

### **Загальний висновок .**

Розглянувши дисертаційну роботу Погорелова Артема Віталійовича «Обчислювальні методи визначення положення об'єктів у просторі за даними цифрових зображень», автореферат, опубліковані праці та акти впровадження, можна зробити висновки:

- за темою та змістом дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні

методи (п. 1 – розробка або розвиток теорії математичного моделювання реальних явищ, об'єктів, систем чи процесів як сукупності формалізованих дій (операцій) для складання ефективних математичних описів об'єктів, що досліджуються.; п.2 – розвиток та ефективне використання методів обчислюальної математики стосовно до вирішення проблем дослідження, проектування, виготовлення та експлуатації об'єктів нової техніки та нових технологій.

- Спрямованість тематики роботи є актуальною, корисною для суспільства та перспективною для продовження розпочатих досліджень;
- Дисертація є завершеною, оригінальною та самостійною кваліфікаційною науковою працею.

Вважаю, що за актуальністю обраної тематики, новизною виконаних досліджень, обґрунтованістю наукових положень та науково-практичною значимістю результатів дисертація відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженими Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 №567 зі змінами, № 656 від 19.08.2015 та № 1159 від 30.12.2015, які висуваються до кандидатських дисертацій, а її автор, Погорелов Артем Віталійович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислюальні методи.

**Офіційний опонент:**

завідувач кафедри  
інформаційних технологій та систем  
Національної металургійної академії України  
МОН України (м. Дніпро),  
доктор технічних наук, професор *Гнатушенко* Вікторія ГНАТУШЕНКО

Підпис Гнатушенко В.В. засвідчує.

Вчений секретар

Національної металургійної академії України

кандидат технічних наук, професор

Олег ПОТАП

