

ВІДГУК

*офіційного опонента ПАВЛІКОВА Володимира Володимировича
на дисертаційну роботу ЄГОРОВА Сергія Анатолійовича
«Компенсація спотворень при вимірюванні параметрів атомно-емісійних
спектрів, зареєстрованих багатоелементними оптичними сенсорами»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань
10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія»*

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Атомно-емісійний спектральний аналіз (далі – АЕСА) є методом аналізу газоподібних середовищ. Емісійне випромінювання вільних атомів у вигляді сонця та полярного сяйва здавна знайоме людству ще до виникнення наукового визначення цих явищ та понять. Розвиток науки і техніки поставив нові виклики для фахівців і науковців, що постійно стикаються з подібними середовищами, спостерігаючи за станом верхніх шарів атмосфери та космосу й намагаючись опанувати термоядерні реакції. Для прикладу: в ХАІ цей метод використовується для контролю процесів в середині плазмових двигунів, які розробляються вже багато років, а також при дослідженні процесів горіння у камерах згоряння авіаційних двигунів, які ведуться по гранту Horizon-2020. Іншим прикладом дослідження плазми є дослідження іоносфери, яка суттєво впливає на радіозв'язок.

Таким чином АЕСА – є широко відомим методом, що доволі часто використовується в прикладних роботах у радіотехніці, фізиці плазми і ін. Однак, не зважаючи на велику кількість наукових досліджень в цій галузі, на сьогодні так і не знайдено загального рішення, яке б дозволило за спектром реконструювати склад середовища або, навпаки, знаючи склад - точно прогнозувати вигляд спектра. Наразі цей метод все ще залишається набором окремих методик для вирішення обмеженого кола певних задач, що обумовлене, перш за все, міждисциплінарністю цього напрямку. Саме тому тема дисертаційної роботи про вдосконалення методу АЕСА є **актуальною**. Під час виконання дисертаційної роботи отримані важливі результати, що мають **значне науково-практичне значення**.

Метою наукових досліджень дисертаційної роботи є виявлення механізмів появи спотворень при реєстрації зображень багатоелементними

сенсорами, створення методик компенсації похибок при реєстрації зображень атомно-емісійних спектрів і розробка нової методики визначення параметрів резонансних спектральних ліній в умовах зашумлення сигналу та перетинання спектральних ліній.

2. Ступінь достовірності та обґрунтованості наукових положень і результатів дисертаційної роботи

Робота має велику експериментально-прикладну частину, яка відображає та узагальнює більш ніж 20-річний практичний досвід здобувача з розробки різного спектроаналітичного обладнання в рамках державних і прикладних науково-дослідних робіт на замовлення виробничих підприємств та наукових установ України.

Для отримання експериментальних даних було створено стенди, на яких виконані всі необхідні дослідницькі роботи щодо перевірки висунутих гіпотез та оцінки запропонованих методик і алгоритмів.

В дисертаційній роботі широко використовувалось комп'ютерне моделювання, шляхом якого за методом Монте-Карло були отримані оцінки точності запропонованих методик.

Всі результати, наукові положення та висновки дисертаційної роботи є **повністю обґрунтованими та достовірними**.

3. Повнота викладу результатів дисертаційної роботи в опублікованих працях

Список публікацій здобувача, на яких базується дисертаційна робота С. А. Єгорова, містить перелік наукових праць, до яких входять 5 статей в українських фахових виданнях і 1 стаття, опублікована в закордонному виданні, що індексується в міжнародних наукометричних базах даних Web of Science та Scopus. Крім того, матеріали дисертаційної роботи представлені тезами доповідей на 3-х міжнародних наукових конференціях і 5-ма статтями, що опубліковані у виданнях за суміжними спеціалізаціями. Всі наукові роботи автора є **оригінальними**. Результати дисертаційної роботи **повністю викладено** в наведених наукових фахових статтях.

4. Оцінка змісту дисертації та її завершеність

Підхід до структурування змісту роботи є логічним і методологічно правильним. Загальний обсяг дисертаційної роботи складає 215 сторінок,

список використаних джерел містить 201 посилання. Робота включає в себе: анотацію, вступ та оригінальну частину, що поділена на чотири розділи, які присвячені:

Перший розділ присвячено огляду літератури, що описує сучасний стан атомно-емісійного спектрального аналізу та існуючі методи обробки сигналів.

У *другому розділі* розглянуто нові методи обробки сигналів багатоелементних оптичних сенсорів, обґрунтовано вплив фізичних процесів на отримання зображення спектра багатоелементними оптичними сенсорами. Отримані методики обробки даних багатоелементних сенсорів спрямовані на поліпшення метрологічних показників результатів аналітичних вимірювань.

Третій розділ присвячено дослідженню впливу фізичних процесів впродовж реєстрації випромінювання й обробки зображень атомно-емісійних спектрів, отриманих багатоелементними лінійними фоточутливими сенсорами, та обробці спектральних зображень. Отримані кількісні характеристики спектральних ліній та їхні номенклатури є важливою передумовою для розв'язання зворотної задачі спектрального аналізу.

У *четвертому розділі* розглянуто практичне використання запропонованих підходів і перевірка запропонованих методик на практиці. Показано, що комбінація фіксованої апаратної функції та передбачуваність положення зустрічається не тільки в АЕСА а, в тому числі і в астрономії. Подібність характеру сигналів, отриманих зі строки матричного сенсора телескопа з емісійними спектрами, дає можливість використовувати подібні підходи в астрономії з метою підвищення точності фотометрування зірок у великому полі зору, де рухомість зірок може вважатись відсутньою.

Одержані результати достатньо повно висвітлені у висновках до розділів і узагальнюючих висновках щодо всієї роботи.

Треба відзначити, що обсяг і зміст дисертаційної роботи свідчать про ретельне вивчення проблеми дослідження та завершеність і обґрунтованість самої роботи.

5. Наукова новизна і практична значущість результатів дисертаційної роботи

Слід відзначити цілу низку цікавих підходів, що підкреслюють наукову новизну та практичну значущість дисертаційної роботи С. А. Єгорова:

- Використання фізичних явищ і конструктивних особливостей, що, як правило, вважаються негативними явищами. Зокрема: залежність шуму від температури – добре відомий факт, який обмежує точність вимірювань, але за рахунок використання цього фізичного явища автору вдалось компенсувати певні нелінійності, що позитивним чином позначилось на підвищенні точності.
- Також слід відмітити оригінальне використання ефекту блюмінга для розширення динамічного діапазону, використовуючи зустрічне транспортування.
- Використання апріорної інформації щодо положення точкового джерела та апаратної функції для редукції системи інтегральних рівнянь до системи лінійних рівнянь, які елементарно вирішуються за допомогою методів лінійної алгебри – цінне з практичної точки зору.

Таким чином, **практична значущість роботи** здобувача полягає в тому, що завдяки саме практичним завданням, покладеним в основу робіт, які лягли в основу дисертаційної роботи, було запропоновано підходи від виправлення нелінійності багатоелементних оптичних сенсорів до фотометрування спектральних ліній в умовах перетинання та шумів. Крім того було запропоновано оригінальні підходи щодо використання особливостей сигналів сенсорів для вимірювання температури кристала, а також використано ефект блюмінга для розширення динамічного діапазону в декілька разів. Також було запропоновано прийом використання апріорних даних для подвоєння роздільної здатності сенсора при реєстрації рухомих зображень.

6. Відомості про дотримання академічної доброчесності. Представлені в дисертаційній роботі С.А. Єгорова результати не порушують правил академічної доброчесності. Запозичені результати інших авторів мають посилання на відповідне першоджерело.

7. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

Дисертаційна робота С. А. Єгорова, як і будь яка робота такого рівня, не позбавлена певних недоліків:

1. Завелика сфокусованість на одній галузі використання АЕСА - технологічному контролі складу металів. Сам по собі метод є взагалі значно більш широким і деякі підходи можуть бути використані не тільки в АЕСА, але і для аналізу не спектральних зображень, наприклад в астрономії.

2. Деякі з запропонованих в роботі оригінальних підходів (наприклад, використання зустрічного транспортування зарядів) описані якісно і не завжди доведені до рівня формальних алгоритмів, що ускладнює їхнє використання на практиці.

3. В роботі не достатньо повно викладені перспективи подальшого розвитку та продовження започаткованих у роботі нових наукових напрямків.

4. Використання усталених у науковому колективі визначень, яке частково можна пояснити міждисциплінарністю роботи та майже повною відсутністю в Україні середовища розробників спектроаналітичного обладнання, потребує додаткових зусиль для розуміння викладеного матеріалу.

8. Висновок щодо відповідності дисертації встановленим нормам

Виявлені недоліки, зауваження та неточності, в цілому, не знижують значущості отриманих С. А. Єгоровим результатів і не псують загального **позитивного враження** від дисертаційної роботи. Робота написана науковою мовою високого рівня, чітко структурована та має відповідні посилання на першоджерела. Зміст анотації **повністю відповідає** основним положенням дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота С. А. Єгорова є **завершеною науковою працею**, в якій відображені та обґрунтовані цінні науково-практичні надбання автора за більш ніж 20-тирічний період досліджень і вирішення науково-практичних завдань.

Вважаю, що дисертаційна робота Єгорова С. А. «Компенсація спотворень при вимірюванні параметрів атомно-емісійних спектрів, зареєстрованих багатоелементними оптичними сенсорами» є завершеною науковою працею, яка містить низку нових, актуальних і достовірних

результатів, що свідчать про її складність, систематичність та важливе значення для робіт з розробки нових спектроаналітичних комплексів і подальших перспектив використання методу атомно-емісійного спектрального аналізу. Дисертація повністю відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертацій» (з наступними 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 № 44 від 12 січня 2022 р., а її автор, Єгоров Сергій Анатолійович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Офіційний опонент

**Доктор технічних наук, професор,
проректор з наукової роботи
Національного аерокосмічного
університету ім. М.Є. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут"**



Володимир ПАВЛІКОВ