

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Милованова Юрія Борисовича  
“Фізичні процеси в атмосферно-іоносферному радіоканалі,  
викликані дією високоенергетичних джерел”,  
подану на здобуття наукового ступеня  
кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – Радіофізика

**Актуальність теми дослідження.** Іоносферна плазма справляє суттєвий вплив на роботу радіотехнічних систем різноманітного призначення, включаючи дальній радіозв'язок, телекомунікацію, загоризонтну радіолокацію, системи глобальної навігації та таке інше. Тому для забезпечення необхідної точності та надійності таких систем потрібно прогнозувати умови поширення радіохвиль різних діапазонів через цей природний радіоканал. Натепер регулярна поведінка навколосемної плазми достатньо добре вивчена і створено кілька моделей цього середовища, що враховують внесок багатьох геогеліофізичних параметрів. В той же час вплив нерегулярних природних та антропогенних факторів на стан геокосмосу вивчений недостатньо. Автор дисертації поставив перед собою мету дослідити збурення в атмосфері й іоносфері, що викликаються двома високоенергетичними джерелами – потужним радіовипромінюванням і падінням великих метеороїдів. Розглянувши ефекти, що виникають в атмосфері й іоносфері Землі під дією потужного радіовипромінювання у широкому діапазоні частот, а також в результаті падіння Челябінського метеороїда, автором зроблено певний внесок в вирішення вищезначеної проблеми. Тому вважаю, що тема дисертації є актуальною та повністю відповідає спеціальності 01.04.03 – радіофізика.

**Зв'язок роботи з науковими програмами.** Автор дисертації брав участь у виконанні багатьох науково-дослідних робіт згідно наукових планів кафедри космічної радіофізики Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.

### **Структура та короткий зміст дисертаційного дослідження.**

Дисертаційна робота Ю. Б. Милованова містить вступ, п'ять розділів, висновки та список використаних джерел із 262 найменувань. Дисертація включає 68 рисунків та 21 таблицю. Основний текст дисертації складає 207 сторінок.

У Вступі надано загальну характеристику роботи; обґрунтовано актуальність теми дисертації; сформульовано задачі досліджень, а також наукова новизна та практична значущість отриманих у дисертації результатів; визначено особистий внесок здобувача.

Розділ 1 присвячений аналітичному огляду літератури за темою дисертації, описанню ефектів, що виникають в атмосфері й іоносфері Землі внаслідок взаємодії потужного радіовипромінювання з іоносферою та падіння великих космічних тіл, подібних Челябінському метеороїду.

У Розділі 2 проведено аналіз числового моделювання висотного розподілу збурень температури та концентрації електронів в залежності від частоти,

поляризації та ефективної потужності наземних радіосистем. Детально досліджено ефект самодіяння потужних радіохвиль у іоносферній плазмі. Оцінено умови пробою атмосфери радіоімпульсами гігаватної потужності та наносекундної тривалості.

Розділи 3 та 4 присвячені фізико-математичному моделюванню основних ефектів, викликаних падінням Челябінського метеороїду. Розраховано швидкість підймання, радіус і надлишок температури нагрітого утворення (терміка).

У Розділі 5 приведено результати експериментальних досліджень збурень хвильового типу, що спостерігалися в іоносфері внаслідок падіння Челябінського космічного тіла.

У Висновках сформульовано основні результати моделювання й експериментальних досліджень, що були отримані в дисертаційній роботі.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність і новизна.**

Більшість результатів, отриманих при виконанні дисертаційних досліджень, а також висновків і рекомендацій є обґрунтованими, тому що вони базуються на адекватних фізико-математичних моделях і зрозумілій фізичній інтерпретації отриманих результатів. В своїх дослідженнях автор спирається на добре апробовані методи, що зазвичай використовуються в космічній радіофізиці, статистичній радіофізиці та комп'ютерному моделюванні фізичних процесів.

**Наукове значення результатів дисертаційної роботи.** Вдосконалена фізико-математична модель та розроблені комп'ютерні програми дозволили провести детальний аналіз основних ефектів, що виникають внаслідок взаємодії потужного радіовипромінювання з атмосферою й іоносферою в широкому діапазоні частот і ефективних потужностей радіохвиль. Продемонстровано, що відносні збурення температури концентрації електронів можуть сягати кількох тисяч і сотень процентів відповідно. Показано, що радіоімпульси гігаватної потужності та наносекундної тривалості здатні призвести до пробою атмосфери на висотах стратосфери.

Вперше розв'язано зворотну задачу, стосовно падіння Челябінського космічного тіла, та отримано основні фізичні параметри процесів, що супроводжували це явище.

### **Наукова новизна дисертаційного дослідження**

1. Удосконалено фізико-математичну модель та виконано комп'ютерне моделювання взаємодії потужного радіовипромінювання різних діапазонів з іоносферою.
2. Удосконалено фізико-математичну модель амплітудного самодіяння потужних радіохвиль в іоносфері. Встановлено, що ефект самопросвітлення плазми є яскраво вираженим у нижній іоносфері, в той час як на більших висотах він поступово змінюється ефектом самопомутніння плазми. Вперше виявлено немонотонну частотну залежність множника самодіяння незвичайної радіохвилі.

3. Проведено комп'ютерне моделювання взаємодії радіоімпульсів гігаватної потужності та наносекундної тривалості з атмосферним газом та іоносферною плазмою. Виявлено, що енергія радіоімпульсу для пробую атмосферного газу на висотах стратосфери складає порядку 1–100 Дж.
4. Вперше отримано висотні та часові залежності швидкості та гальмування Челябінського метеороїду. З використанням рівнянь метеорної фізики розраховані висотні та часові залежності маси, міделю, інтенсивності випромінювання та температури поверхні випромінювання. Оцінено коефіцієнт динамічного опору, а також коефіцієнт і питома енергія абляції.
5. З використанням фізико-математичної моделі, що описує висотні та часові залежності швидкості підйому, радіусу та надлишку температури в терміку, встановлено, що швидкість підйому терміку змінюється немонотонно та може досягати 10–180 м/с в залежності від його розміру. Основні висновки моделі підтверджуються результатами спостережень за підйомом терміку, утвореного під час вибуху Челябінського метеороїду.
6. Вперше за даними мережі радіоприймальних пристроїв системи глобального позиціонування оцінено основні параметри хвильових збурень, згенерованих під час польоту та вибуху Челябінського метеороїду.

#### **Практичне значення результатів дисертаційної роботи**

1. Вдосконалена фізико-математична модель взаємодії потужного радіовипромінювання з атмосферою й іоносферою, розроблені комп'ютерні програми можуть використовуватися іншими дослідниками для оцінки можливих збурень параметрів атмосфери й іоносфери, створення моделей збуреного атмосферно-іоносферного радіоканалу й аналізу впливу цих збурень на роботу радіоліній різного призначення.
2. Вдосконалена фізико-математична модель збурень, що виникають в атмосфері внаслідок падіння великих космічних тіл, розроблені комп'ютерні програми можуть використовуватися для розрахунку величини збурень параметрів атмосфери й іоносфери та створення моделей збуреного атмосферно-іоносферного.

#### **Повнота викладення отриманих результатів у наукових працях.**

Основні результати за темою дисертаційної роботи опубліковано в 7 наукових роботах, серед яких 7 статей у наукових фахових виданнях та 3 тези доповідей у матеріалах наукових конференцій.

Зміст автореферату повністю відповідає основним положенням дисертації.

#### **Зауваження та недоліки дисертації та автореферату.**

Зрозуміло, що як кожна дисертація, робота Ю. Б. Милованова не вільна від недоліків. На жаль, їх кількість дуже велика і тому я приведу лише частину з них.

1. Стиль викладу та граматики залишають бажати кращого. Наприклад, використовуються такі звороти: “Запропоновано рівняння балансу заряджених частинок з використанням електронів,...”; “Побудована модель пояснює ...

оцінку умов для іонізації... атмосфери потужним випромінюванням”; “величина нагріву електронів” (стор. 75 і далі по тексту).

Тільки у переліку умовних позначень 6 помилок - “теплопровідности”, “становлення”, “коефіцієнт”, “відносна”, “зіткнені” та “іонізації” замість “теплопровідності”, “становлення”, “коефіцієнт”, “відносна”, “зіткненні” та “іонізації”. На стор. 4 3 помилки - “коефіцієнтами”, “поляризацій” та “іонізації” замість “коефіцієнтами”, “поляризацій” та “іонізації”. Далі не краще - “зокремо” замість “зокрема” та “менше” замість “менше” і знову “поляризацій” замість “поляризацій” (стор. 5); “радар часткових відображень” (стор. 47) замість “радар часткових відбиттів”; “ставився” замість “належав” (стор. 52); “Уявімо точки траєкторії в геоцентричній системі координат, рис. 3.1, за відомими формулами” (стор. 120) замість “зобразимо” або “запишемо”. У підписах до рис. 2.7-2.11 “електронів” російською - “электронов”. Цей перелік можна продовжити і це неабияк бентежить – адже є, щонайменше, можливість перевірки правопису засобами редактора WORD. Нехтування знаками пунктуації та в деяких місцях дієсловами, а також непотрібні абзаци затрудняють розуміння написаного. Автор зловживає словом “глобальний” - ...глобальної телекомунікації, глобального похилого зондування, глобального зворотньо- похилого зондування... (стор. 34), - для мене незрозуміло, що означають ці словосполучення.

Деякі вислови зовсім незрозумілі. На стор. 101 є таке “Додамо, що збільшення ефективної потужності на порядок за рахунок ефекту самопомутніння середовища призводить до зменшення на 0.10–0.15 *и* 0.30–0.40 в нічний та денний час відповідно.”, де, по-перше, “и” замість “і”, а по-друге, невідомо що зменшується. Незрозуміло, що автор хотів сказати таким висловом: “Зовнішні сили в порівнянні з силою опору повітря досить слабкі: сили інерції та сила тяжіння” (стор. 109). Бентежить така фраза на стор. 120 – “Ці зміни динаміки руху вздовж траєкторії вимагали використовувати для апроксимації траєкторії регресію кусково-поліноміальну модель.” На стор. 111 написано “Коефіцієнт динамічного опору  $C_d$  вказує на механізм зіткнень молекул повітря з поверхнею метеороїда.” По-перше, незрозуміло, що таке “коефіцієнт динамічного опору” – є аеродинамічний коефіцієнт або коефіцієнт опору повітря. По-друге, як цей коефіцієнт може вказувати на “ механізм зіткнень молекул повітря з поверхнею метеороїда”? А взагалі, які бувають механізми таких зіткнень? Насправді цей коефіцієнт лише характеризує силу опору повітря. Незрозуміло, на що вводиться “поправка” на стор. 112. Також досить непереконливо пояснюється процедура регуляризації на стор. 119-120 – складається враження, що використовувався звичайний метод добору.

Певний подив викликає вираз на стор. 132 – “Кожна втрата енергії призводить до гальмування метеороїда та зменшення його швидкості.”, - адже

гальмування і є зменшення швидкості. Це ж стосується і вислову на стор. 135 – "...набігаючого потоку повітря, що набігає".

Кілька разів намагався зрозуміти вислів "Властивості цих параметрів багато в чому перекриваються та незалежне визначення їх значень, без додаткової інформації, важко обрахувати." (стор. 131), але марно. Вважаю, цих прикладів досить

2. Дисертація оформлена недбало. Деякі пояснення занадто докладні, а інші навпаки потребують уточнень. Наприклад, на стор. 37 детально пояснюється, що одночасне використання 10 передавальних модулів дозволяє збільшити загальну потужність в 10 разів (незрозуміло тільки, яке значення при цьому має частота). В той же час про який "аномальний ефект" йдеться мова на стор. 49 залишається лише здогадуватися.

На мою думку, табл. 4.1 та 4.2 є непотрібними, адже дані, що вони містять, отримані через дуже прості вирази і тому приводити величини характерної швидкості та часу терміку для різних розмірів і температури не має сенсу.

На стор. 58 написано, що "Перші відомості про параметри орбіти, які необхідно розглядати як попередні, наведено в табл. 1.1,...", але їх там нема, вони наведені, напевно, в табл. 1.8. З великими труднощами можна здогадатися, що рис. 3.4, б є збільшений фрагмент рис. 3.4, а. На стор. 119 після рис. 3.5 якийсь незрозумілий уривок фрази з маленької літери – "і магнітуда  $M_V$  видимої зоряної величини (рис. 3.6)." Щодо розкиду "...координат, пов'язаних з похибкою вимірювань,..." автор посилається на рис. 3.4 замість 3.5. В дисертації 2 рисунки з номерами 3.7, внаслідок чого незрозуміло, до якого апелює автор в тому чи іншому випадку.

З запису формули 3.23 не видно, які саме параметри залежать від часу, тому незрозуміло, від чого береться часова похідна.

У підпису до рис. 3.32 вказується, що "суцільна крива – розрахункова швидкість згідно (3.20)". Але формула (3.20) визначає оптичну поправку, а не швидкість.

На стор. 150 написано, що "Далі система нелінійних диференційних рівнянь (4.8) – (4.10) і (4.11) – (4.13) розв'язувалася числовими методами". Але ж (4.8) – (4.10) і (4.11) – (4.13) є просто різні форми запису однієї й той же системи рівнянь – навіщо розв'язувати обидві?

Табл. 5.1 приведено дуже далеко від місця першого згадування про неї. Це по-перше. По-друге, вона не містить даних про "географічні координати підіоносферних точок в момент початку та закінчення досліджуваного хвильового збурення (X3)", як це стверджується на стор. 161.

Незрозуміло, що автор мав на увазі виразом "В якості системи координат використовувалася система координат із зазначенням північної широти та східної довготи в градусах." (стор. 163). Адже, як на мене, це звичайна географічна система координат.

3. Деякі ствердження виглядають сумнівними та часом суперечать одне одному. Наприклад, як можна збурювати D-область іоносфери вночі, якщо в цей час її не існує.

Не варто було приводити абсолютне значення прискорення на рис. 3.9 оскільки виникає певний дисонанс – швидкість зменшується, а прискорення збільшується. Крім того, не зовсім зрозуміло наступне. З рис. 3 витікає, що швидкість поблизу висоти 20 км змінюється майже лінійно. Отже, прискорення повинно бути постійним. Але ж на рис. 3.9 воно дуже швидко змінюється. Як це можна пояснити?

На стор. 146 стверджується, що “Відносна похибка загального енергетичного балансу не перевищує 2%.”, але не дається жодних пояснень, як ця оцінка була отримана.

На стор. 151 стверджується, що “Зростання  $r$  припиняється при  $x \approx 250 - 100$  для  $R_0 = 10 - 1000$  м відповідно.”, але з рис. 4.2, де представлено відповідні графіки, цього не видно.

На стор. 156 стверджується, що “Як вже зазначалося, в рамках зроблених припущень модель процесів, що описуються співвідношеннями (1–3), (4–6) та (7–9), є точною”. По-перше, будь-яка модель є точною в рамках зроблених припущень. По-друге, в дисертації нема співвідношень (1–3), (4–6) та (7–9).

На стор. 156 стверджується, що “отримані розв’язки вихідної системи рівнянь справедливі при підйомі терміку на висоті не більші за висоту однорідної атмосфери, яка близька до 8 км.” Тоді виникає питання, як радіус терміка може збільшуватися до 10 км, як стверджується на стор. 155.

Верхня межа оцінки швидкості руху підіоносферної точки в 500 м/с (стор. 163) здається суттєво завищеною. Насправді, вона близько 100 м/с.

На стор. 163 є таке – “Додамо, що через відносно малу швидкість сканування ( $\sim 100$  м/с) збуреної області іоносфери діагностика середовища носить просторово-часовий характер.” Не зрозуміло, що таке “просторово-часовий характер” та “швидкість сканування”.

На стор. 164 стверджується, що “Оскільки падіння метеороїда мало місце вже після сходу Сонця в іоносфері над м. Челябінськ і ефекти ранкового термінатора вже не виявлялися, варіації ПЕВ обумовлені в першу чергу просторовими структурами концентрації електронів.”. По-перше, це бездоказове твердження, оскільки ефекти ранкового термінатора можуть спостерігатися протягом кількох годин. По-друге, якщо нема часових варіацій, то звідки беруться збурення взагалі? По-третє, на наступній сторінці (стор. 165) стверджується, що “Для спостереження збурень, викликаних вибухом космічного тіла, важливо відокремити ефекти сонячного термінатора”. Виникає питання – “ефекти ранкового термінатора вже не виявлялися”, чи їх необхідно “відокремити”?

Методика обробки даних вимірювання ПЕВ висвітлено недостатньо. Незрозуміло, чому аналізувалися похідна, а не самі варіації. Обчислення похідної за дискретними даними стикається з певними труднощами та вносить суттєву похибку і я не певен, що вона “не гірше  $10^{-4}$  ТЕС/с”, як це стверджується на стор. 165. Звідки взагалі взялась ця оцінка? Дивним також є

використання величини  $\delta = \frac{\dot{N}_L}{N_L}$  у якості оцінки амплітуди збурень –

незрозуміло, що вона характеризує.

Як стверджує автор, на рис. 5.2, б – 5.7, б наведено “Часові залежності відстані від точки вибуху до точки збурення  $N_L$ ”, але насправді це залежності відстані від точки вибуху до відповідної підіоносферної точки. Відстань до точки збурення є значення цих залежностей в момент часу, що відповідає точці 2.

Якщо розкид в оцінках тривалості збурень (від 35 до 60 хвилин) ще можна якось пояснити геометрією розташування станцій та супутників, то як можна пояснити розбіжності в оцінці періодів (від 8 до 25 хвилин)? Адже це одне й теж саме збурення!

На стор. 166 написано, що “...приблизно через 18 і 15 хв після вибуху метеороїда для супутників G6 і G16 відповідно виникло коливання  $N_L$  з періодом  $T$ , рівним 15 і 13 хв...”, а через 5 рядків стверджується, що  $T \approx 8$  хв.

На стор. 169 стверджується, що “Час запізнення цих варіацій слабо залежав від відстані між областю вибуху та приймачем.” Це дуже дивно з огляду на те, що, згідно до рис. 5.2 – 5.7, відстань від точки вибуху до точки збурення змінюється приблизно від 900 км (рис. 5.2, б) до 550 км (рис. 5.7, б). Чим це можна пояснити? Це дуже схоже на маніпулювання даними вимірювань.

Ще одним прикладом такого маніпулювання є дані табл. 5.2, з якої видно, що оцінки швидкості збурень лежать в межах 530 – 880 м/с. В той же час автор виводить, що “Для обговорюваних станцій  $R \approx 450...705$  км. Тоді при  $\Delta t \approx 16...24.5$  хв зі співвідношення (5.2) маємо  $v \approx 500...530$  м/с.” По-перше,  $R$  змінюється, згідно до даних табл. 5.2, від 552 до 915 км, а не від 450 до 705 км. По-друге, відповідні оцінки швидкості варіюють від 530 до 880 м/с. Тим не менш, автор стверджує, що  $v \approx 500...530$  м/с, хоча в таблиці тільки одне значення дорівнює 530 м/с, всі інші значно більші.

Певні маніпуляції виявляються і в оцінках періодів збурень (Підрозділ 5.6). Спочатку автор запевняє, що “для супутників типу GPS зміною  $\omega$  і  $T$  за рахунок ефекту Доплера часто можна знехтувати”, оскільки “ $(T - T') / T \approx 0.1$ ” через те, що швидкість руху збурень значно більша, ніж швидкість руху підіоносферної точки. По-перше, це дуже суперечливе ствердження оскільки спектр швидкостей іоносферних збурень дуже широкий. По-друге, для оцінки просторового масштабу збурень автор використовує співвідношення (5.1), яке взагалі не враховує швидкість їх руху. Це призводить до хибного висновку щодо періодів збурень 64...80 с, який, на жаль, фігурує і в Висновках (пункт 7). Насправді, при зроблених припущеннях щодо співвідношення між швидкостями руху збурень і підіоносферної точки спостережувані періоди мають практично дорівнювати істинним. Отже висновок, що природою спостережуваних збурень є інфразвук, здається доволі суперечливим.

Міркування щодо оцінки амплітуди збурень дуже заплутані – незрозуміло, на чому вони ґрунтуються. Формула (5.4) є коректною тільки для гармонічних коливань (хвиль), але спостережувані збурення, як видно з рис. 5.2 – 5.7, не є такими. Отже оцінки відносної амплітуди збурень у десятки процентів на

відстані в кілька сотень кілометрів виглядають дещо завищеними – в іншому випадку вони б спостерігалися “неозброєним оком”.

Ствердження на стор. 171, що “... амплітуда ХЗ, що слідували за вибухом метеороїда, була помітно більшою, ніж в контрольні інтервали часу. Отримані параметри ХЗ свідчать про те, що вибух Челябінського метеороїда призвів до генерації акустико-гравітаційних хвиль у верхній атмосфері. Параметри хвиль добре узгоджуються з параметрами, оціненими як теоретично, так і зі спостережень, проведених в м. Харків.” нічим не підтверджується – доречно було б привести відповідні дані для контрольних інтервалів часу, а також спостереження поблизу Харкова, та провести порівняльний аналіз. Крім того, воно дещо суперечить висновку про інфразвукову природу спостережуваних збурень.

4. Трапляються помилки в формулах. Наприклад, у виразі для показника поглинання радіохвилі на стор. 92 зліва стоїть безрозмірна величина, розмірність правої частини рівняння,  $\kappa \approx \frac{2\omega_p^2}{\omega v} \sim N(\theta)/v(\theta)$ , – с/м. При цьому

стверджується,  $\kappa$  різко зменшується при збільшенні  $v(\theta)$ , але видно, що залежність є лише обернено пропорційною.

Незрозуміло, як з (2.28) впливає вираз  $f_{-opt} \approx f_{p0} \sqrt{v_0 \theta_-^{13/12} \Delta z / c}$ , адже явного виразу для  $K$  не наведено.

Замість загальноприйнятого позначення хвиль звичайної та незвичайної поляризації індексами “О” та “Х”, автор використовує індекси “+” та “-”, не пояснюючи, що вони означають (стор. 87 і далі по тексту).

На стор. 113 написано, що кутова швидкість обертання Землі складає 7.2921151467 рад/с, що перевищує дійсну в  $10^5$  разів.

Застосування формули (5.1) має певні обмеження, оскільки вона є коректною тільки у випадку прямолінійного руху підіоносферної точки вздовж нормалі до хвильового фронту збурення. Насправді, співвідношення є таким  $\lambda = v_s \frac{z_s}{z_s} T \cos \alpha$  ( $\alpha$  кут між напрямком руху підіоносферної точки та нормаллю до хвильового фронту збурення), з якого випливає, що для оцінки характерного просторового масштабу збурень необхідно знати кут  $\alpha$ .

5. На стор. 109 стверджується, що метою розділу 3 є “...отримання висотних і часових залежностей швидкості, прискорення, маси та міделю фрагментів метеороїда на основі вимірних траєкторних даних.”, що автор пов’язує з розв’язанням оберненої задачі. Але, якщо є вимірні траєкторні дані, то для визначення, принаймні, швидкості та прискорення не потрібно розв’язувати ніяку обернену задачу.
6. Більшість графіків у Розділах 3 та 4 приведено без подальшого обговорення. Виходить, що графік заради графіка, тобто ціль відповідних розрахунків залишається незрозумілою. Було б доцільним розглянути отримані в цих



Розділах результати стосовно можливості генерацій атмосферних та іоносферних збурень внаслідок падіння Челябінського метеороїда. Тоді б ці Розділи не виглядали певною мірою чужорідними.

7. Деякі терміни, що використовує автор дисертацій, виглядають досить сумнівними або навіть незрозумілими. Це стосується, наприклад, “самопомутніння” та “самопросвітлення” – адже відповідні ефекти виникають під дією потужного випромінювання. Термін “довжина теплопровідності електронів” (до речі, написано теплопровідности) особисто мені є незнайомий, і я не певен, що він взагалі існує. Не дуже доречно, на мою думку, вживати “самодіяння”, оскільки це означає, певною мірою, самовільність (свавільність). Більш слушним було б “самовплив”. Незрозуміло, що означають “критична частота зіткнень, максимальна частота іонізації” (стор. 85).
8. Автор не пояснює, чим запропоновані в дисертації моделі взаємодії потужного радіовипромінювання з атмосферою та іоносферою відрізняються від існуючих. Це ж стосується і дослідження ефектів Челябінського метеороїда так як не висвітлюється, що нового зроблено в дисертації в порівнянні з роботами інших дослідників, наприклад, [171-180], [213-223].
9. Незрозуміло, навіщо розраховувати часові залежності характеристик терміку (пункт 4.2.2), якщо є просторові та відомі часові зміни траєкторії терміка. Очевидно, що залежності будуть дуже схожі, що видно, наприклад, з рис. 3.23 – 3.26.
10. Трапляються некоректні посилання. Інколи здобувач пише “Автор” і приводить посилання, що заплутує читача, оскільки незрозуміло, який автор мається на увазі, тим більше, що часом авторів декілька. Деякі ствердження не підпираються відповідними посиланнями, тому здаються безпідставними. Наприклад, “Взаємодія підсистем в системах СМСМІАЗ і ЗАІМ підтверджується багатьма дослідниками” (стор. 44) або “Проаналізовано енергетику природних і антропогенних процесів в системах СМСМІАЗ і ЗАІМ” (стор. 45) – незрозуміло, де та ким? На стор. 55 стверджується, що авторами робіт [181-212] є співробітники ХНУ імені В. Н. Каразіна, але це не так.
11. На мою думку, дисертація і особливо Розділ 2 перевантажені числовими оцінками для конкретних параметрів експерименту. Наприклад, обговорюється, що при такій-то потужності температура електронів може збільшитися в стільки-то разів в день або вночі, а при такій на стільки. Аналогічні оцінки робляться також для різних поляризацій та частот. При цьому деякі оцінки приводяться з точністю до одиниць або навіть вище, а в деяких місцях до десятків або сотень. Бракує узагальнюючих висновків та аналізу загальних закономірностей, що затрудняє сприймання в цілому.

Тим не менш, попри велику кількість зауважень, вважаю, що здобувач виконав достатньо великий обсяг досліджень на високому науковому рівні. Ним отримано низку оригінальних результатів, чим зроблено вагомий внесок у розв'язання радіофізичної задачі, пов'язаної з дослідженням збурень атмосфери й іоносфери високоенергетичними джерелами різної фізичної природи.

**Відповідність дисертації встановленим вимогам і загальні висновки.**

Дисертаційна робота Ю. Б. Милованова, присвячена розв'язанню однієї з важливих задач космічної радіофізики – впливу потужних джерел енерговиділення на стан геокосмосу. Вона виконана на високому науковому рівні, містить оригінальні наукові результати, має значну практичну цінність і відповідає всім вимогам постанови “Про затвердження Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженої Постановою Кабінету міністрів України №567 від 24 липня 2013 р.

Враховуючи вищезначене вважаю, що автор дисертації Милованов Юрій Борисович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 – радіофізика.

Офіційний опонент:

Провідний науковий співробітник  
відділу електронних НВЧ приладів

Радіоастрономічного інституту НАН України,

д.ф.-м.н., старший науковий співробітник



В. Г. Галушко

“ 10 ” червня 2019 р.

Підпис офіційного опонента В. Г. Галушка засвідчую:

В. о. вченого секретаря РІ НАНУ,  
к.ф.-м.н.



Ю. В. Антоненко

“ 10 ” червня 2019 р.