

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Олексія Петровича КРИВОНОСА

**“Радіозондування області D нічної іоносфери з використанням випромінювання розрядів блискавок”, подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук зі спеціальності 01.04.03 – радіофізика**

Дослідження фізико-хімічних процесів у D-області іоносфери й у теперішній час залишається актуальною задачею радіофізики та геофізики. Знизу ця область прилягає до нейтральної атмосфери. Тому вона активно впливає на поширення ННЧ і ДНЧ радіохвиль у хвилеводі Земля – іоносфера, являючись його верхньою стінкою. Ці діапазони використовуються для дальнього радіозв'язку, зокрема, з підводними човнами завдяки властивостям таких електромагнітних хвиль проникати у товщу морської води та слабкою чутливістю до іоносферних збурень. Хоча експериментальні дослідження іоносферних процесів тривають вже протягом багатьох десятиліть, D-область і надалі залишається найменш вивченим іоносферним регіоном. Через її відносну близькість до поверхні Землі (60 – 90 км), супутникові методи є обмежено придатними, а досить низька концентрація електронів особливо у нічний час ( $10^6 - 10^8 \text{ м}^{-3}$ ) часто не дозволяє застосовувати найбільш поширені наземні радіофізичні методи (вертикального та доплерівського радіозондування, некогерентного розсіяння, тощо). Тому важливим є вдосконалення призначених для цієї області активних методів (часткових відбиттів, кросс-модуляції), а також подальший розвиток пасивних методів із застосуванням природних джерел електромагнітних хвиль.

Дисертаційна робота О. П. Кривоноса присвячена локалізації блискавичних розрядів, що поширюються як твік-атмосферики (твіки) у хвилеводі Земля – нижня границя іоносфери, з використанням розробленого автором вимірювального комплексу та удосконаленого ним алгоритму автоматичного виявлення твіків, а також відновлення характеристик нижньої іоносфери на основі їх аналізу. Враховуючи все сказане вище, тема дисертаційної роботи є **актуальною**. Під час дослідження отримано важливі результати, що мають велике **фундаментальне та прикладне значення**. Важливо, що здобувач використовує дистанційний метод відновлення параметрів нижньої іоносфери та визначення положення розрядів блискавок, що не потребує наявності передавальної системи (пасивний метод). Такі методи є дуже актуальними в наші часи у зв'язку з сучасними тенденціями зменшення електромагнітного забруднення навколишнього середовища та розвитком “зелених” технологій. До того ж, він може використовуватися для безперервної діагностики іоносфери без суттєвих енерговитрат, що є дуже важливим, особливо для України.

Всі результати, наукові положення та висновки дисертаційної роботи є **повністю обґрунтованими та достовірними**. Далі наведено декілька фактів у підтвердження цього.



1. Теоретичні результати базуються на відомих, фундаментальних положеннях електродинаміки, теорії поширення електромагнітних хвиль, радіотехніки, фізики плазми та іоносфери, що є експериментально підтвердженими.

2. Отримані експериментальні результати ґрунтуються на даних статистичного аналізу, а також підтверджуються результатами незалежних методів і відповідають сталим уявленням про поведінку іоносферної плазми під час варіацій космічної погоди.

3. Всі результати, отримані здобувачем, опубліковані у фахових наукових журналах, що видаються в Україні та за кордоном і мають зовнішнє незалежне рецензування. Вони також пройшли апробацію на міжнародних і українських наукових конференціях.

Слід зазначити, що всі результати, наукові положення та висновки є **новими**. Далі наведено найбільш значимі, на мій погляд, результати, отримані у цій дисертаційній роботі.

1. З використанням модельних досліджень оцінено похибки частотного і фазового методів визначення ефективної висоти хвилеводу для різних хвилеводних мод твіків, а також дальностей до блискавок.

2. Розроблено комплекс для вимірювання та реєстрації електромагнітних полів у ННЧ та ДНЧ діапазонах, який дозволяє виділяти твіки у автоматичному режимі.

3. Проведено статистичний аналіз великого масиву зареєстрованих атмосфериків (об'єм масиву перевищує 300 тис. подій). Знайдено реакцію ефективної висоти іоносфери на помірну геомагнітну бурю.

У Списку використаних джерел наведено перелік наукових статей, в тому числі статей здобувача, на яких базується дисертаційна робота. Він містить 5 статей О. П. Кривоноса, що опубліковані в наукових журналах “International Journal of Electronics and Applied Research”, “Радиофизика и электроника” і “Радиофизика и радиоастрономия”, а також доповіді та тези конференцій. Всі наукові роботи автора є **оригінальними та не повторюють одна одну**. Результати дисертаційної роботи, **повністю відображені** в наведених наукових статтях, а також доповідались на вітчизняних і міжнародних конференціях.

Зміст автореферату **повністю відповідає** основним положенням дисертації.

**Наукова значимість** дисертаційної роботи О. П. Кривоноса полягає в тому, що в ній вперше в Україні розроблено та застосовано автоматичну систему реєстрації та ідентифікації твіків, що працює в реальному режимі часу. За допомогою цієї системи накопичено та проаналізовано достатньо великий масив даних, виявлено залежності ефективної висоти іоносфери від часу доби та рівня магнітної активності.

**Практична значимість** роботи полягає в тому, що завдяки розв'язанню зворотної задачі поширення ННЧ і ДНЧ хвиль у хвилеводі Земля – нижня границя іоносфери та



визначення похибок відновлення ефективної висоти хвилеводу та відстаней до блискавок з'являється можливість уточнення моделей нічної D-області іоносфери та просторового розподілу осередків блискавичних розрядів. Крім того, удосконалені алгоритми, методики та програми вже впроваджено та будуть впроваджуватися в подальшому у однопозиційних і багатопозиційних комплексах діагностики нижньої іоносфери, що є важливим для моніторингу та прогнозування характеристик радіозв'язку на досліджуваних частотах.

Дисертаційна робота і автореферат О. П. Кривоноса мають такі **недоліки та неточності**.

1. В оглядовій частині дисертації на стор. 20 написано, що висота D-області іоносфери “становить приблизно 60 – 90 км”. Не зрозуміло, чому оцінки нічних швидкостей іонізації  $Q$  приводяться для висот 95 і 105 км, концентрації електронів – для висоти 95 км (стор. 23 – 24). Крім того, не зрозуміло, звідкіля було взято значення  $Q$  для  $NO^+$  і  $O_2^+$  на висоті 105 км, оскільки вони не співпадають з тими, що наведено на рис. 1.2 (стор. 23).
2. На стор. 22 дисертаційної роботи написано, що швидкість іонізації нічної нижньої іоносфери магнітосферними частинками “багато в чому залежить від геомагнітної широти та магнітної активності” і “основним джерелом іонізації в нічний час є геокорональна емісія”. В той же час, з рис. 1.2 випливає, що на висотах 80 – 90 км швидкість іонізації магнітосферними частинками на один – два порядки величини перевищує цю швидкість за рахунок геокорональної емісії (стор. 23). Стосовно цього, не зрозуміло, для яких геомагнітної широти та рівня магнітної активності побудовано рис. 1.2?
3. Не зрозуміло, що мається на увазі під “катастрофічними явищами атмосферного, космічного та земного походження” (стор. 34 дисертаційної роботи та стор. 1 автореферату).
4. На стор. 32 дисертаційної роботи наведено метод фарадеївського обертання як один з методів дослідження нижньої іоносфери. Насправді, він не може застосовуватися для цієї області через низьку концентрацію електронів і малу товщину D-області іоносфери.
5. На стор. 43 дисертаційної роботи наведено “типіві значення параметрів, які задають форму і амплітуду моменту струму” без пояснення того, як вони були отримані або посилення на джерело. Крім того, в обох частинах формули (2.4) присутній множник  $ds$ , який можна скоротити.
6. В роботі застосовано термін “співпадання” під час порівняння теоретичних і модельних результатів (стор. 46 дисертації) і експериментальних даних з



розрахунками (стор. 89). Він є не досить вдалим, оскільки значення досліджуваних величин, отриманих різними методами, не можуть бути однаковими. Більш прийнятним є термін “узгодження”.

7. На стор. 108 дисертаційної роботи є наступне твердження: “Можна відзначити досить добру кореляцію середніх змін висоти з величиною сонячного зенітного кута...”. При цьому, судячи з рис. 4.9 (стор. 107), ця кореляція не є статистично значимою, оскільки довірчі інтервали для всіх експериментальних точок перетинаються. Крім того, не є очевидним зв'язок між отриманою автором залежністю та “механізмом іонізації нічної іоносфери через випромінювання геокорони” (стор. 108). Геокорона постійно освітлена Сонцем і максимальна зміна зенітного кута Сонця приблизно на  $7^\circ$  (як впливає з рис. 4.9) навряд чи призведе до зміни інтенсивності геокорональної емісії.
8. Висновок “виявлено ефект збільшення висоти нижньої іоносфери під час магнітної бурі помірної потужності” (стор. 3 автореферату) не є статистично значимим, оскільки такий результат отримано лише для однієї події – помірної геомагнітної бурі 19 – 20 серпня 2014 р. Крім того, відомо, що геомагнітна буря може викликати як позитивну так і негативну іоносферну бурю, що визначається цілою низкою факторів, включаючи попередній рівень магнітної активності. Доцільним було б оцінити коефіцієнт кореляції між висотою хвилевода і *ap* індексом для підкріплення отриманих автором результатів.
9. В дисертаційній роботі мають місце повтори. Зокрема, опис “харківського” метода наведено на стор. 38 і стор. 41.
10. В дисертаційній роботі виявлено низку синтаксичних і пунктуаційних помилок, неузгоджень слів у реченнях, вживання неправильних за змістом словосполучень (“обліку втрат”, “подання сигналу”, “створення перешкод” тощо).

Однак, виявлені недоліки та неточності, в цілому, не знижують значимість отриманих О. П. Кривоносом результатів і не псуують **позитивного** враження від дисертаційної роботи. Дисертацію написано науковою мовою. В ній отримано **нові обґрунтовані результати**, а сама дисертаційна робота є **завершеною науковою працею**. Автором розв'язано **низку важливих радіофізичних і радіотехнічних задач**, що дозволило вдосконалити алгоритми, методики та програмне забезпечення для відновлення характеристик твіків і параметрів нижньої границі іоносфери. Результати роботи мають **наукову і практичну значимість**. Вони внесуть **суттєвий вклад** у подальше вдосконалення моделей нижньої іоносфери та сприятимуть безперервній локації блискавичних розрядів, що у низці випадків, є потужними електромагнітними завадами у широкому діапазоні частот.



Вважаю, що дисертаційна робота Олексія Петровича Кривоноса **відповідає всім вимогам**, що висуваються до дисертацій кандидатського рівня, а її автор **заслуговує присудження** йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук зі спеціальності 01.04.03 – радіофізика.

Завідувач відділу фізики іоносфери  
Інституту іоносфери НАН і МОН України  
кандидат фізико-математичних наук,  
доцент

*С. В. Панасенко*

С. В. Панасенко

Підпис С. В. Панасенка засвідчую  
Учений секретар  
Інституту іоносфери НАН і МОН України  
кандидат фізико-математичних наук,  
старший науковий співробітник



М. В. Ляшенко

26 лютого 2018 р.