

Голові разової
спеціалізованої вченої ради
Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна
професору Сергію ШУЛЬЗІ
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

Рецензія

офіційного рецензента, завідувача кафедри квантової радіофізики факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, доктора фізико-математичних наук, професора Маслова Вячеслава Олександровича на дисертаційну роботу Жданка Євгена Геннадійовича «Динамічні процеси в іоносферному радіоканалі: результати дистанційного радіозондування іоносфери», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали».

1. Актуальність дослідження та зв'язок з науковими програмами, темами

Геокосмос, який являє собою комбінацію верхньої атмосфери, іоносфери та магнітосфери є основним радіоканалом для засобів телекомунікації, радіолокації, радіонавігації та моніторингу процесів у різних середовищах. Крім регулярних варіацій параметрів іоносфери, у ній виникають аперіодичні та квазіперіодичні збурення, які через їхній випадковий момент виникнення, значні амплітуди та тривалості обмежують потенційні можливості засобів телекомунікації, радіолокації та радіонавігації. Параметри радіоканалу можуть значно змінюватися під дією потужних джерел енерговиділення природного та техногенного походження. Тому дослідження геокосмоса й, зокрема, іоносфери, а також варіацій характеристик радіохвиль, викликаних впливом на іоносферу потужних джерел енерговиділення, є актуальною радіофізичною задачею.

Всі завдання дисертації спрямовані на вирішення важливої наукової задачі сучасної прикладної фізики, яка стосується дослідженню впливу високоенергетичних джерел енерговиділення природного та штучного походження на параметри радіохвиль і каналів їхнього поширення, що використовуються для телекомунікації, радіозв'язку, радіолокації, радіонавігації, дистанційного радіозондування, радіоастрономії тощо.

Важливість проведених досліджень обумовлена як їх суто науковою цінністю, так і великим значенням для прикладних застосувань. Тому тематика дисертації Жданка Є.Г. на здобуття наукового ступеня «доктор філософії» є актуальною як в теоретичному, так і в прикладному плані і становить великий інтерес для фахівців радіофізичного та радіоастрономічного профілів.

Про актуальність і практичну значимість теми дисертації переконливо свідчить і те, що вона виконувалася на кафедрі космічної радіофізики факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна в рамках двох держбюджетних науково-дослідних робіт та проекту Національного фонду досліджень України, у яких автор приймав участь як виконавець.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Представлені наукові положення, висновки і рекомендації, що виносяться на захист, є досить обґрунтованими. Постановка дослідницького завдання виконана аргументовано та переконливо. Дисертація Жданка Є.Г. складається зі вступу, який містить загальну характеристику роботи, шістьох розділів основного тексту, висновків до роботи, списку використаних джерел та одного додатку.

Перший розділ дисертації присвячено історії відкриття та дослідження земної іоносфери, сучасним уявленням про її морфологію, опису космічної погоди за допомогою цілої низки індексів, а також впливу на іонізовану частину атмосфери нашої планети різноманітних високоенергетичних джерел.

У **другому розділі** дисертації автором розвинуто теоретичні основи доплерівського радіозондування іоносфери на похилих радіотрасах і отримано прості аналітичні співвідношення для доплерівського зміщення частоти. Для умов похилого ВЧ зондування іоносфери отримано прості аналітичні співвідношення для оцінки відносної амплітуди квазіперіодичних збурень та величини аперіодичних збурень концентрації електронів у іоносфері.

У **третьому розділі** розглядається вплив на іоносферу та характеристики радіохвиль сонячних затемнень. За допомогою методів вертикального і похилого доплерівського зондування вивчені кількісні варіації характеристик радіохвиль та параметрів іоносферних процесів, викликані сонячними затемненнями.

У **четвертому розділі** наведено результати іоносферних спостережень за стартами та польотами важких ракет у спокійних і збурених умовах. Отримано кількісні варіації характеристик радіохвиль і параметрів іоносферних процесів.

П'ятий розділ присвячено взаємодії потужного імпульсного та періодичного радіовипромінювання з іоносферною плазмою. Здійснено аналіз особливостей генерації великомасштабних збурень в іоносфері під

дією моноімпульсного та періодичного радіовипромінювання нагрівного стенда декаметрового діапазону поблизу мінімуму сонячної активності за наявності слабкої та помірної магнітних бур.

У шостому розділі за допомогою багаточастотного багатотрасового комплексу похилого ВЧ зондування іоносфери аналізуються результати спостережень часових варіацій характеристик ВЧ радіохвиль та іоносферних збурень протягом геокоsmічної бурі 23–24 квітня 2023 р.

3. Наукова новизна та достовірність отриманих результатів

В результаті проведених досліджень отримано ряд нових і принципово важливих результатів. Серед них необхідно визначити наступні:

1. Для похилого ВЧ зондування іоносфери отримано скоригований закон секанса, а також співвідношення для оцінки максимальної застосовної частоти, відносної амплітуди квазіперіодичних збурень і величини аперіодичних збурень концентрації електронів у іоносфері.
2. На основі радіофізичних спостережень за динамічними процесами в іоносфері протягом сонячного затемнення встановлено, що часові варіації доплерівського зміщення частоти на вертикальних і похилих радіотрасах в цілому були подібними. Відзначено помітний вплив багатомодості на похилих радіотрасах. На основі аналізу значень періодів і відносних амплітуд вимірюваних сигналів зроблено висновок про те, що хвильові збурення викликані атмосферними гравітаційними хвилями
3. Вперше за допомогою ГНСС-технологій досліджено реакцію повного електронного вмісту на сонячне затемнення 25 жовтня 2022 р., що мало місце перед проходженням і в період проходження вечірнього термінатора. Отримано статистичні характеристики збурень повного електронного вмісту викликаних затемненням на різних широтах і довготах.
4. На основі аналізу параметрів іоносферних збурень, що послідували за стартами та польотами важких ракет, вперше встановлено, що виявлення реакції іоносфери на віддалений старт і політ ракети на фоні геокоsmічної бурі доплерівським методом зазвичай можливе за індексу $K_{pmax} \leq 5$, а за більших його значень дуже ускладнено або взагалі неможливе. Обґрунтовано, що для підвищення надійності виявлення реакції на старт і політ ракети доплерівський радар повинен одночасно працювати на низькій частоті у діапазоні від 1.5–2 до 4–6 МГц.
5. Вперше показано, що в період мінімуму сонячної активності реєстровані збурення в іоносфері на відстані приблизно в 1000 км від нагрівного стенда можуть виникати при ефективній потужності, рівній 25 МВт. Під впливом моноімпульсу на іоносферну плазму тривалість реакції іоносфери співпадала з тривалістю моноімпульсу.

Висновки та наукові положення у роботі дисертанта є достовірними, в достатній мірі обґрунтованими. Список публікацій, наведених у кінці дисертації, та перелік статей і тез здобувача в достатній мірі розкривають тему дисертаційної роботи. Для експериментального вивчення досліджуваних явищ в роботі застосовуються добре відомі методи які

включають вертикальне та похиле доплерівське радіозондування, супутникові дослідження. Для обробки та аналізу даних вимірювань застосовувалися добре відомі методи математичної статистики та аналітичні розрахунки, що базувалися на теорії поширення радіохвиль у іонізованих середовищах.

4. Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях, відсутність порушень академічної доброчесності.

Дисертаційна робота Жданка Є.Г. є завершеним науковим дослідженням, виконаним на високому науковому рівні.

Дисертація написана цілком зрозуміло і грамотно, науково-технічна термінологія використовується коректно, структура роботи є логічною.

Основні наукові результати дисертації висвітлені у 22 наукових публікаціях, серед яких 8 у наукових статтях, що індексуються у міжнародній наукометричній базі Scopus і три статті опубліковано у фахових наукових виданнях України, а також 11 у збірниках матеріалів доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Результати роботи повністю відображені в зазначених публікаціях. Опубліковані статті за своїм змістом не дублюють одна одну. Всі опубліковані наукові праці відповідають темі дисертації.

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях Жданка Є.Г. не виявлено. Посилання на дослідження інших авторів є коректним.

5. Науково-практична значимість отриманих результатів і можливі шляхи їхнього застосування

Вивчені в дисертаційній роботі квазіперіодичні та аперіодичні збурення, в підсумку, обмежують потенційні характеристики радіосистем телекомунікації, радіонавігації, радіолокації, радіоастрономії та радіофізичного моніторингу стану іоносферного радіоканалу та ін. Отримано кількісні оцінки збурень параметрів іоносферного радіоканалу та характеристик радіосигналів ВЧ діапазону, викликаних дією високоенергетичних джерел різної фізичної природи. Це дозволило дисертантові дати практичні рекомендації, спрямовані на послаблення впливу високоенергетичних джерел на іоносферний радіоканал та функціонування засобів радіозв'язку, радіолокації, радіонавігації, радіоастрономії, дистанційного радіозондування тощо. Практичне значення також має виявлення величини реакції та визначення дальності її дії при нагріванні іоносфери радіовипромінюванням потужного радіотехнічного стенда, віддаленого на відстань приблизно в 1000 км.

6. Недоліки і зауваження

Поряд з високим рівнем проведених експериментальних і теоретичних досліджень та цінністю отриманих результатів, мушу зазначити деякі недоліки і зауваження щодо дисертаційної роботи, що розглядається:

1. У першому розділі роботи проведено огляд основних джерел збурень геокосмосу та відомих радіофізичних методів дослідження атмосфери, але досить у конспективній формі. Бажано було б провести більш детальний та ґрунтовний порівняльний аналіз їх характеристик. Також в аналітичному огляді відсутній аналіз відомих методів обробки даних доплерівського зондування.
2. На стор. 24 роботи зазначено потенційні можливості комплексу похилого радіозондування, що подаються як наукова новизна. Із тексту дисертації незрозуміло, чи мав автор дисертації відношення до створення цього комплексу.
3. У 3 розділі (стор. 96) при аналізі впливу на іоносферу та характеристики радіохвиль сонячних затемнень здобувач робить висновок про генерацію хвильових збурень атмосферними гравітаційними хвилями. Однак розгорнутий аналіз цього процесу в дисертації відсутній.
4. Дисертація не вільна від технічних огріхів. Невдале оформлення рис. 5.2. Панелі а і б знаходяться на стор. 167, а панелі в і г з підписом – на стор. 168.
5. У тексті міститься невелика кількість друкарських помилок типу "та амплітуди $A(t)$ " замість "та амплітуди $A(t)$ " (стор. 44).

7. Загальні висновки

Ці зауваження не зменшують загальну позитивну оцінку рецензованої роботи і не стосуються принципових результатів і висновків дисертації.

В роботі отримані нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності вирішують актуальну наукову задачу сучасної прикладної фізики, яка стосується дослідженню впливу високоенергетичних джерел енерговиділення природного та штучного походження на параметри радіохвиль і каналів їхнього поширення, що використовуються для телекомунікації, радіозв'язку, радіолокації, радіонавігації, дистанційного радіозондування, радіоастрономії тощо.

За тематикою проведених досліджень, змістом і наслідками дисертація Жданка В.О. повністю відповідає спеціальності 105 – Прикладна фізика та наноматеріали. Матеріали дисертації повністю опубліковані в реферованих провідних наукових журналах і були своєчасно подані на конференціях, що проводилися за тематикою досліджень.

Беручи до уваги усе вищесказане, вважаю, що розглянута дисертаційна робота Жданка Євгена Геннадійовича «Динамічні процеси в іоносферному радіоканалі: результати дистанційного радіозондування іоносфери», подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 105 – Прикладна фізика та наноматеріали, повністю відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертацій» (з наступними змінами) та

постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р. «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» зі змінами, внесеними згідно з постановою Кабінету Міністрів України № 341 від 21 березня 2022 р., характеризується єдністю змісту та послідовністю викладення, містить нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, отримані в процесі досліджень та не має порушень академічної доброчесності, а її автор, Жданко Євген Геннадійович заслуговує присудження йому ступеня доктора філософії в галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

Офіційний рецензент,
доктор фізико-математичних наук,
професор, завідувач кафедри квантової радіофізики
факультету радіофізики,
біомедичної електроніки та комп'ютерних систем
Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна

Вячеслав МАСЛОВ

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 14:48:45 29.07.2025

Назва файлу з підписом: 2025 Рецензія Маслова Жданко.pdf.p7s
Розмір файлу з підписом: 17.2 КБ

Перевірені файли:

Назва файлу без підпису: 2025 Рецензія Маслова Жданко.pdf
Розмір файлу без підпису: 271.4 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: МАСЛОВ ВЯЧЕСЛАВ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

П.І.Б.: МАСЛОВ ВЯЧЕСЛАВ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

Країна: Україна

РНОКПП: 2044700616

Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 14:48:45 29.07.2025

Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"

Серійний номер: 5E984D526F82F38F04000000E02A4301577BE405

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Удосконалений

Тип контейнера: Підпис та дані в окремих файлах (CAAdES detached)

Формат підпису: З повними даними ЦСК для перевірки (CAAdES-X Long)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2025.02.05 13:00

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Харківського національного університету
імені В.Н. Каразіна
професору Сергію ШУЛЬЗІ
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, доктора фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.03 – радіофізика), старшого наукового співробітника, професора кафедри фізичної і біомедичної електроніки та комплексних інформаційних технологій факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна Бердника Сергія Леонідовича на дисертаційну роботу Жданка Євгена Геннадійовича «Динамічні процеси в іоносферному радіоканалі: результати дистанційного радіозондування іоносфери», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

1. Актуальність дослідження та зв'язок з науковими програмами, темами

Дослідження стану навколоземного середовища та динамічних процесів в іоносфері, що виникають внаслідок впливу високоенергетичних джерел різноманітної фізичної природи, безумовно є актуальним, оскільки такі процеси суттєво впливають на поширення радіохвиль і, відповідно, на радіотехнічні системи цивільного та військового призначення. Моніторинг і моделювання таких процесів дозволяють підвищувати надійність радіозв'язку та створювати системи попередження про природні катастрофи. Таким чином, окрім суто наукової значущості, робота має велике практичне значення.

Мета і задачі дослідження, сформульовані у дисертації, спрямовані на експериментальні дослідження та отримання кількісних варіацій характеристик радіосигналів і параметрів іоносферних процесів на прикладі сонячних

затемнень, сонячного термінатора, геокосмічної бурі, стартів ракет і потужного радіовипромінювання. Для цього використовуються методи дистанційного радіозондування, зокрема багаточастотні багатотрасові комплекси похилого радіозондування, перевага яких полягає у можливості охоплювати значні області Землі.

Проведені дослідження висвітлено у рамках двох тем за конкурсом Міністерства освіти і науки України («Дистанційний вплив електромагнітного випромінювання на електронні, радіотехнічні засоби та канали телекомунікацій», «Великомасштабні та глобальні фізичні процеси в системі Земля–атмосфера–іоносфера–магнітосфера природного та техногенного походження») та у проєкті Національного фонду досліджень України («Теоретичні та експериментальні дослідження глобальних збурень природного і техногенного походження в системі Земля – атмосфера – іоносфера»), у яких автор дисертації брав участь у якості виконавця.

2. Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків, що сформульовані в дисертації

Наведені наукові положення, висновки і рекомендації є обґрунтованими, а представлені результати є достовірними, оскільки були використані добре апробовані методи дистанційного зондування, коректні фізичні моделі, загальновідомі математичні методи, методи математичної статистики та статистичної радіофізики, достовірні аналітичні співвідношення та методи обробки радіосигналів. Достовірність також підтверджується публікаціями у міжнародних та українських тематичних журналах.

3. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому та основних положень дисертації

Дисертація Є.Г. Жданка складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, шести розділів, висновків, переліку використаних джерел і додатку.

У **вступі** наведено інформацію про тему дослідження, наукову новизну, практичне значення, апробацію результатів і зв'язок із науковими темами. Сформульовано мету дослідження, об'єкт і предмет.

Перший розділ є оглядовим, у ньому описано відомі методи радіозондування іоносфери та джерела її збурень. Основну увагу приділено джерелам, що у подальшому досліджуються у тексті дисертації.

У **другому розділі** наводяться та доповнюються новими результатами теоретичні основи похилого доплерівського радіозондування, із застосуванням якого запропоновано методику отримання параметрів рухомих іоносферних збурень.

У **третьому розділі** із застосуванням вертикального та похилого доплерівського радіозондування, а також супутникових методів досліджується вплив двох сонячних затемнень на параметри іоносфери. Було встановлено максимальний дефіцит повного електронного вмісту, часи запізнювання іоносферної реакції та тривалості збурень, їхня залежність від фази затемнення.

У **четвертому розділі** вивчається реакція іоносфери на 134 старту та польоти важких ракет типу «Союз» і «Протон» з космодрому Байконур за суттєво різних геофізичних умов. В результаті статистичної обробки, встановлено часи запізнювання збурень, їхні швидкості поширення, періоди, а також відносні варіації концентрації електронів. Наведено рекомендації щодо діапазону робочих частот радару для підвищення надійності виявлення стартів ракет на фоні збурень, викликаних геокоосмічними бурями.

П'ятий розділ присвячено дослідженню реакції іоносфери на дію потужного радіовипромінювання нагрівного стенду, що розташований на відстані 960 км від місця спостереження. Для даного джерела також встановлено величини швидкостей, амплітуд і періодів збурень та параметри радіосистеми для створення цих збурень і впливів на поширення радіохвиль різних діапазонів.

У **шостому розділі** за допомогою похилого доплерівського радіозондування досліджується вплив на іоносферу однієї з найсильніших у 25-му циклі сонячної активності геокоосмічних бур. Проаналізовано зміни

характеристик радіосигналів, за якими обчислено варіації в іоносферних параметрах.

Дисертація закінчується **висновками** з головними результатами роботи, після яких сформульовано практичні рекомендації щодо раціонального використання радіотехнічних засобів.

4. Наукова новизна отриманих результатів

Наукова новизна отриманих в дисертації результатів полягає у наступному.

1. Вперше для похилого радіозондування отримано різновидність скоригованого закону секанса, який враховує сферичність Землі. З його використанням отримано співвідношення для визначення максимальної застосовної частоти та параметрів збурень концентрації електронів. Отримані співвідношення вдало застосовувались під час реальних вимірювань і обробки експериментальних даних.

2. Розроблено та застосовано на практиці нову методику для визначення параметрів рухомих іоносферних збурень (періодів, горизонтальних довжин хвиль і швидкості, азимутів приходу).

3. Вперше оброблено базу даних, що створюють статистичний ансамбль, та виконано статистичний аналіз збурень, що виникли внаслідок 134 стартів важких ракет. Важливими є результати дослідження ефектів стартів і польотів ракет під час збуреного геокосмічними бурями стану іоносфери та формулювання практичних рекомендацій для підвищення надійності їхнього виявлення.

4. Вперше із застосуванням супутникових технологій досліджено реакцію іоносфери на сонячне затемнення, що мало місце як перед, так і в період проходження вечірнього термінатора. Реакція іоносфери спостерігалася у глобальних масштабах. Вперше отримано статистичні характеристики збурень повного електронного вмісту на різних широтах та довготах. Відмічено своєрідну поведінку варіацій повного електронного вмісту під час та після

заходу Сонця. Зроблено припущення, що могла мати місце синергетична взаємодія сонячного затемнення та термінатора.

5. Вперше знайдено, що в період мінімуму сонячної активності реєстровані іоносферні збурення на віддаленні 960 км можуть виникати при ефективній потужності, що дорівнює 25 МВт. Встановлено особливості реакції іоносфери на вплив на поширення радіохвиль різних режимів випромінювання нагрівного стенду (імпульсного та періодичного).

5. Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях, відсутність порушень академічної доброчесності

Дисертаційна робота є самостійним і завершеним науковим дослідженням із логічним і структурованим викладенням матеріалу. Робота виконана на високому науковому рівні.

Результати роботи опубліковано у 8 наукових статтях (6 статей у наукових фахових виданнях України та 2 статті у зарубіжних наукових спеціалізованих виданнях, що входять до наукометричної бази Scopus), за якими зроблено 11 доповідей на міжнародних конференціях, що увійшли до збірників тез.

Порушень академічної доброчесності не виявлено, текст дисертації є оригінальним, а всі посилання на дослідження є коректними.

6. Науково-практична значущість отриманих результатів і можливі шляхи їхнього застосування

Наукова значущість результатів досліджень полягає в отриманні нових відомостей про відгук іоносферних параметрів на вплив високоенергетичних джерел. Встановлено та обчислено низку важливих параметрів збурень. Значущість висновків дисертації базується на великому об'ємі експериментального матеріалу. Слід відзначити широку різноманітність як досліджуваних джерел енерговиділення (природних і техногенних), так і експериментальних методів їх дослідження. Динамічні процеси на іоносферних висотах можуть суттєво впливати на характеристики радіосигналів.

Використовуючи скоригований закон секанса, дисертант вперше отримав прості аналітичні співвідношення, які пов'язують характеристики сигналу доплерівського радіозондування з параметрами іоносфери. Зроблено важливі кроки у напрямку надійного визначення моментів стартів важких ракет та викликаних ними ефектів. У сучасних умовах, поряд із сформульованими на основі проведених досліджень рекомендаціями, це має важливе практичне значення як для цивільних, так і для військових цілей.

7. Недоліки і зауваження

1. У дисертації автор не підкреслив, чи приймав він участь у вимірюваннях за допомогою методів дистанційного радіозондування.

2. Дисертанту слідувало б більше уваги приділяти оцінці похибки на всіх етапах, а саме, під час вимірювання та під час обробки результатів вимірювань.

3. Доцільно було б виділити загальні риси явищ, які виникали під дією різних джерел енерговиділення, та відмінності між ними.

4. У тексті анотацій дисертації на обох мовах вводяться скорочення, які потім не використовуються, наприклад, «ПЕВ» і «ЗАІМ» (с. 3) («ЕАІМ» і «ТЕС» (с. 7)). Двічі зустрічається скорочення «Doppler shift (DS)» (с. 6–7).

5. На рис. 2.5 не зазначено у чому вимірюється амплітуда сигналу.

6. У роботі є окремі одруки.

8. Загальні висновки

Отримані автором дисертації результати є новими, вони мають наукове і суттєве практичне значення. Дослідження виділяється роботою з великими масивами експериментальних даних, оброблених та ретельно проаналізованих дисертантом, що є безумовною перевагою.

Дисертаційна робота повністю відповідає спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

Результати роботи висвітлені у достатній кількості праць у наукових журналах та пройшли добру апробацію на низці наукових конференцій.

Не дивлячись на зроблені зауваження і враховуючи вищесказане, вважаю, що дисертаційна робота Жданка Євгена Геннадійовича «Динамічні процеси в іоносферному радіоканалі: результати дистанційного радіозондування іоносфери», подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали», повністю відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертацій» (з наступними змінами) та постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р. «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» зі змінами, внесеними згідно з постановою Кабінету Міністрів України № 341 від 21 березня 2022 р., а її автор заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

Офіційний рецензент,
професор кафедри
фізичної і біомедичної електроніки
та комплексних інформаційних технологій
Харківського національного
університету імені В.Н. Каразіна,
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник

Сергій БЕРДНИК

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 17:58:06 06.08.2025

Назва файлу з підписом: Рецензія_Бердник-Жданко.pdf.asice
Розмір файлу з підписом: 165.2 КБ

Перевірені файли:
Назва файлу без підпису: Рецензія_Бердник-Жданко.pdf
Розмір файлу без підпису: 169.2 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: БЕРДНИК СЕРГІЙ ЛЕОНІДОВИЧ
П.І.Б.: БЕРДНИК СЕРГІЙ ЛЕОНІДОВИЧ
Країна: Україна
РНОКПП: 2857616877
Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА
Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 17:58:07 06.08.2025
Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"
Серійний номер: 5E984D526F82F38F04000000F00690138CD8705
Алгоритм підпису: ДСТУ 4145
Тип підпису: Удосконалений
Тип контейнера: Підпис та дані в архіві (розширений) (ASiC-E)
Формат підпису: З повними даними для перевірки (XAdES-B-LT)
Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2025.08.04 13:00

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Харківського національного університету
імені В.Н. Каразіна
професору Сергію ШУЛЬЗІ
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

ВІДГУК

офіційного опонента, кандидата фізико-математичних наук, доцента, директора Науково-дослідного інституту Іоносфери Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” Котова Дмитра Володимировича на дисертаційну роботу Жданка Євгена Геннадійовича “Динамічні процеси в іоносферному радіоканалі: результати дистанційного радіозондування іоносфери”, подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 “Природничі науки” за спеціальністю 105 “Прикладна фізика та наноматеріали”.

1. Обґрунтування вибору теми дослідження.

Метою дисертаційної роботи є експериментальні дослідження характеристик радіосигналів і параметрів динамічних процесів в іоносферному радіоканалі, викликаних природними та техногенними джерелами.

Оскільки іоносфера дотепер залишається основним каналом поширення радіохвиль різних діапазонів (від вкрай низьких до надвисоких частот) і параметри цього каналу залежать від стану космічної погоди, вивчення динамічних процесів в іоносферному радіоканалі є важливим як для прогнозування параметрів власне каналу, так і для поглиблення знань про геокосмос і отримання відомостей про джерела енерговиділення. Це обумовлює актуальність досліджень, що представлені в дисертації.

Автор навів переконливе та змістовне обґрунтування вибору теми дослідження.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення.

Дисертація є самостійним, завершеним і цілісним науковим дослідженням. Текст роботи добре структурований, чіткий і зрозумілий.

Робота складається з 6 розділів, кожен з яких має підрозділи, що якісно розкривають зміст та результати проведених досліджень. Кожен з розділів містить загальні висновки. Висновки дисертаційної роботи добре узагальнюють викладений матеріалу, повністю відображають головні результати досліджень і відповідають меті та завданням дослідження.

Перелік використаної літератури містить 193 джерела. Додаток містить список публікацій здобувача за темою дисертації.

Зміст, структура, оформлення дисертації та кількість публікацій відповідають вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. № 44 (редакція від 01.01.2024 р.), та наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій».

3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.

У дисертації наведено результати досліджень, виконаних автором спільно з його науковим керівником протягом 2021–2024 рр. згідно з планами науково-дослідних робіт кафедри космічної радіофізики Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна “Дистанційний вплив електромагнітного випромінювання на електронні, радіотехнічні засоби та канали телекомунікацій”, номер держреєстрації 0121U109881 (виконавець), “Великомасштабні та глобальні фізичні процеси в системі Земля– атмосфера– іоносфера–магнітосфера природного та техногенного походження”, номер держреєстрації 0122U001476 (виконавець), а також проєкту Національного фонду досліджень України 2020.02/0015 “Теоретичні та експериментальні дослідження глобальних збурень природного і техногенного походження в системі Земля – атмосфера – іоносфера” (виконавець).

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Ступінь обґрунтованості є високою, що забезпечено комплексним застосуванням добре перевірених методів дослідження.

Дисертант використав відомі методи статистичної радіофізики та математичної статистики, експериментальний метод вертикального та похилого радіозондування, статистичний аналіз, числові методи комп’ютерної математики, а також фізичне моделювання.

Всі ключові твердження, на яких побудований аналіз і висновки роботи, мають необхідні посилання на наукові публікації.

5. Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна.

Головні результати дисертації опубліковані у 21 науковій праці, серед яких 8 статей у наукових фахових виданнях України (4 з яких входять до міжнародної наукометричної

бази Scopus), 2 – праці в зарубіжних наукових спеціалізованих виданнях (входять до наукометричної бази Scopus), 11 – матеріали доповідей на конференціях (зокрема 2 тези, що входять до наукометричної бази Scopus).

Дисертант отримав такі головні наукові результати.

1. Для похилого ВЧ зондування іоносфери отримано скоригований закон секанса, а також співвідношення для оцінки максимальної застосовної частоти, відносної амплітуди квазіперіодичних збурень і величини аперіодичних збурень концентрації електронів у іоносфері. Продемонстровано застосовність співвідношень при використанні на практиці.

2. Розроблено методику визначення параметрів рухомих іоносферних збурень із застосуванням багаточастотного багатотрасового когерентного радіотехнічного комплексу ВЧ діапазону для просторово рознесеного похилого радіозондування іоносфери.

3. Проаналізовано параметри іоносферних збурень, що послідували за стартами 81 ракети Союз та 53 ракет Протон з космодрому Байконур у 2009–2021 рр. Підтверджено існування декількох груп часів запізнювання можливої реакції іоносфери на старт і політ ракет, а також відповідних груп удаваних горизонтальних швидкостей поширення збурень. Встановлено, що виявлення реакції іоносфери на віддалений на ~ 2000 км старт і політ великої ракети на фоні геокосмічної бурі доплерівським методом зазвичай можливе за індексу $Kp_{\max} \leq 5$. Обґрунтовано, що для підвищення надійності виявлення реакції на старт і політ ракети доплерівський радар повинен одночасно працювати на низці частот у діапазоні від 1.5–2 до 4–6 МГц.

4. Виконано радіофізичні спостереження за динамічними процесами в іоносфері протягом сонячного затемнення 10 червня 2021 р. Встановлено, що часові варіації ДЗЧ на вертикальних і похилих радіотрасах в цілому були подібними.

5. *Вперше* за допомогою ГНСС-технологій досліджено реакцію ПЕВ на сонячне затемнення 25 жовтня 2022 р., що мало місце перед проходженням та в період проходження вечірнього термінатора. Встановлено, що реакція іоносфери на сонячне затемнення спостерігалася у глобальних масштабах, а затемнення запускає фізико-хімічні та динамічні процеси в системі ЗАІМ, які забезпечують продовження реакції іоносфери і після закінчення затемнення та після заходу Сонця на поверхні Землі. *Вперше* отримано статистичні характеристики збурень ПЕВ, викликаних затемненням на різних широтах та довготах. Зазначено, що є підстави вважати, що мала місце синергетична взаємодія сонячного затемнення та термінатора.

6. *Вперше* показано, що в період мінімуму сонячної активності реєстровані збурення в іоносфері на відстані близько 960 км від нагрівного стенда можуть виникати при ефективній потужності, рівній 25 МВт.

6. Практичне значення отриманих результатів.

Дисертант отримав кількісні оцінки збурень параметрів іоносферного радіоканалу та характеристик радіосигналів ВЧ діапазону, викликаних дією високоенергетичних джерел різної фізичної природи, та розробив практичні рекомендації, спрямовані на послаблення впливу високоенергетичних джерел на іоносферний радіоканал і функціонування засобів радіозв'язку, радіолокації, радіонавігації, радіоастрономії, дистанційного радіозондування тощо.

Значна частина результатів дисертації увійшла в підсумкові звіти за науково-дослідними роботам кафедри космічної радіофізики, для яких отримані акти про впровадження результатів досліджень.

7. Дотримання академічної доброчесності.

На підставі вивчення тексту дисертації здобувача, наукових праць здобувача та Протоколу контролю оригінальності (перевірку наявності текстових запозичень виконано в антиплагіатній інтернет-системі Strikeplagiarism.com) встановлено, що дисертаційна робота виконана самостійно, текст дисертації не містить плагіату, а дисертація відповідає вимогам академічної доброчесності.

8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації.

1. Дисертантом заявлено отримання скоригованого закону секанса, який описує умову відбиття ВЧ радіохвилі від ізотропної іоносфери. Як відомо, метод доплерівського зондування використовується для досліджень іоносфери Землі вже давно. Логічно припустити, що інші дослідники також стикалися з необхідністю подібної корекції. Чи відомі дисертанту роботи інших авторів, в яких розглядається це питання? Якщо так, варто пояснити відмінності корекції, що її застосовує дисертант, від методики інших авторів.

2. Термін “дефіцит ПЕВ”, використаний дисертантом для опису відмінностей значень повного електронного вмісту під час сонячних затемнень від значень у контрольні дні, не використовується в подібних ситуаціях. Принаймні, такий термін відсутній в англomовній літературі. Можливо, більш доречним був би еквівалент термінів “depletion” або “depression”, які наочно відображають факт зменшення кількості заряджених частинок внаслідок впливу затемненням.

3. За оцінками дисертанта час запізнювання максимальної реакції іоносфери відносно максимальної фази затемнення становив 15–25 хв. Утім, в дисертації нічого не

сказано про те, чи відповідають такі значення очікуваним. Було б доцільно також пояснити, які фізичні процеси обумовлюють запізнювання реакції іоносфери на сонячні затемнення.

Зазначені зауваження не впливають на загальний позитивний висновок про цінність результатів, наведених в дисертаційній роботі.

9. Загальні висновки щодо дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Жданка Євгена Геннадійовича “Динамічні процеси в іоносферному радіоканалі: результати дистанційного радіозондування іоносфери”, представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 “Природничі науки” за спеціальністю 105 “Прикладна фізика та наноматеріали” є завершеною актуальною науковою працею, що виконана на належному науковому рівні.

В роботі представлено результати експериментальних досліджень характеристик радіосигналів і параметрів динамічних процесів в іоносферному радіоканалі, викликаних природними та техногенними джерелами.

Методи дослідження є надійними, застосовувалися обґрунтовано.

Результати містять наукову новизну. Практичні рекомендації, запропоновані в роботі, є корисними для спільноти дослідників геокосмосу та спеціалістів, що працюють в галузі космічних досліджень і поширення радіохвиль.

Дисертація відповідає всім вимогам 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 (редакція від 01.01.2024 р.). Дисертація оформлена згідно з вимогами Наказу МОН України від 12.01.2017 р. № 40 (із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки № 759 від 31.05.2019 р.).

Вважаю, що дисертант Жданко Євген Геннадійович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 “Природничі науки” за спеціальністю 105 “Прикладна фізика та наноматеріали”.

Офіційний опонент,

кандидат фізико-математичних наук, доцент,

директор Науково-дослідного інституту Іоносфери

Національного технічного університету

“Харківський політехнічний інститут”

Дмитро КОТОВ

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 13:43:30 04.08.2025

Назва файлу з підписом: Відгук опонента_Котов Д.В.docx.asice
Розмір файлу з підписом: 30.2 КБ

Перевірені файли:
Назва файлу без підпису: Відгук опонента_Котов Д.В.docx
Розмір файлу без підпису: 25.9 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: КОТОВ ДМИТРО ВОЛОДИМИРОВИЧ
П.І.Б.: КОТОВ ДМИТРО ВОЛОДИМИРОВИЧ
Країна: Україна
РНОКПП: 3051512378
Організація (установа): Ф-Я ІНСТИТУТ ІОНОСФЕРИ НТУ ХПІ
Код ЄДРПОУ: 45680820
Посада: ДИРЕКТОР
Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 13:43:29 04.08.2025
Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"
Серійний номер: 5E984D526F82F38F04000000D3DBBF0128942A06
Алгоритм підпису: ДСТУ 4145
Тип підпису: Удосконалений
Тип контейнера: Підпис та дані в архіві (розширений) (ASiC-E)
Формат підпису: З повними даними для перевірки (XAdES-B-LT)
Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2025.02.05 13:00

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Харківського національного університету
імені В.Н. Каразіна
професору Сергію ШУЛЬЗІ
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

ВІДГУК

офіційного опонента, доцента кафедри астрономії та фізики космосу фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка, кандидата фізико-математичних наук Грицяя Асена Васильовича на дисертаційну роботу Жданка Євгена Геннадійовича «Динамічні процеси в іоносферному радіоканалі: результати дистанційного радіозондування іоносфери», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали»

1. Актуальність дослідження та зв'язок з науковими програмами, темами

Динамічні процеси в іоносфері мають суттєве практичне та загальнонаукове значення. Передовсім, вони вирішальним чином впливають на якість загоризонтного радіозв'язку, визначаючи характеристики відбитого сигналу. Стан іонізованої компоненти атмосфери та її взаємодія з нейтральною складовою важливі для явищ у нижчих шарах, функціонування космічних апаратів та зв'язку з ними. Із загальнонаукової точки зору, дослідження процесів у іоносфері необхідне для розвитку радіофізики, фізики плазми, фізики нейтральної атмосфери, адже просторово-часові масштаби досліджуваних явищ і спектр збурень зазвичай не можуть бути повноцінно відтворені як у лабораторії, так і в якомусь іншому природному середовищі, окрім земної іоносфери.

Потреба в ретельному дослідженні стану іоносфери зумовлена, зокрема, його значною мінливістю й залежністю від низки чинників як магнітосферної та геліосферної природи (вплив «згори»), так і атмосферної чи літосферної включно з антропогенною діяльністю (вплив «знизу»). Оскільки результат визначається складною взаємодією багатьох факторів, то він виявляється важкопрогнозованим заздалегідь, вимагаючи ретельного моніторингу. До того ж, не існує звичної для дослідників, які працюють у лабораторіях, можливості повторити експеримент при дуже близьких початкових і крайових умовах. Дана обставина суттєво ускладнює дослідження й інтерпретацію результатів, але також і збільшує цінність вдалих спостережень і опрацювання кожної цікавої події, свідком якої пощастило стати кваліфікованому науковцю. Використання частини спостережних засобів, зокрема, радарів некогерентного розсіяння, є вартісним і не може проводитися в неперервному режимі, що робить суттєвим завданням уже сам вибір часових проміжків дослідження.

Завдання дисертації Є.Г. Жданка спрямовані на дослідження впливу на іоносферу різноманітних значущих для її стану процесів – сонячних затемнень, геомагнітних бур, антропогенної діяльності (на прикладі нагрівного стенду). Значна увага приділяється вдосконаленню методики спостережень і їх опрацювання. У своїй сукупності, розділи дисертації розв’язують важливу для фізики іоносфери в її сучасному стані задачу. Вона має як теоретичне, так і практичне значення, адже питання надійності радіозв’язку й надалі відіграють велику роль для цивільних та військових застосувань.

Актуальність дисертації підтверджується також її виконанням у рамках трьох тем Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна – двох за конкурсом Міністерства освіти і науки України («Дистанційний вплив електромагнітного випромінювання на електронні, радіотехнічні засоби та канали телекомунікацій», «Великомасштабні та глобальні фізичні процеси в системі Земля–атмосфера–іоносфера–магнітосфера природного та техногенного походження»), а також проєкту Національного фонду досліджень України («Теоретичні та експериментальні дослідження глобальних збурень природного і техногенного походження в системі Земля – атмосфера – іоносфера»). Автор дисертації був виконавцем усіх згаданих проєктів, їх завдання відповідають темі дисертації.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Представлені в дисертації наукові положення, висновки і рекомендації належним чином обґрунтовані. Структурно дисертація Є.Г. Жданка складається зі вступу, який містить загальну характеристику роботи, шести розділів основного тексту, висновків, списку використаних джерел і додатку з переліком публікацій здобувача за темою роботи.

Вступ включає інформацію про вибір теми дослідження, зв’язок роботи з науковими темами, наукову новизну, практичне значення та апробацію результатів. Сформульовані мета дослідження, його об’єкт і предмет, коротко перелічені застосовані в роботі методи.

Перший розділ містить огляд літератури й загальну характеристику методів зондування іоносфери. Охарактеризовано структуру іоносфери, джерела збурень її параметрів – передовсім із увагою до чинників, які досліджуються в основній частині роботи. Описано принцип роботи іонозондів, вертикального та похилого доплерівського зондування, некогерентного розсіяння, радіопросвічування з використанням глобальних навігаційних супутникових систем. У цілому, представлений огляд результатів і методів є основою для подальшого дослідження.

У **другому розділі** детально розглянуто теоретичні основи та застосування похилого доплерівського радіозондування. Автор пропонує скоригований закон секанса, який описує відбиття радіохвиль від ізотропної сферично-шаруватої атмосфери. Отримано низку аналітичних співвідношень для похилого зондування, прийнятність яких продемонстрована на прикладах збурень для різних радіотрас.

Третій розділ присвячено впливу сонячних затемнень на стан іоносфери. Розглянуті дані вертикального та похилого зондування для кільцеподібного затемнення 10 червня 2021 р. та часткового затемнення 25 жовтня 2022 р. Також використані вимірювання повного електронного вмісту, отримані на 16 спостережних станціях із застосуванням сигналів навігаційних супутників GPS. Визначено запізнення реакції іоносфери відносно розвитку сонячного затемнення, а також швидкості поширення хвильових збурень, імовірно, обумовлених атмосферними гравітаційними хвилями. Варто відзначити скрупульозність виконання роботи, що особливо важливо в даному розділі, адже сонячні затемнення в найменшій мірі з усіх розглянутих чинників можуть розглядатись як повторювані явища.

У **четвертому розділі** досліджується реакція іоносфери на старти з космодрому Байконур важких ракет «Союз» і «Протон». Розглянуто велику кількість таких подій (134), що дозволяє оцінити особливості іоносферного відгуку залежно від геофізичних умов, часу доби й пори року. Відповідно, матеріал даного розділу в найбільшій мірі з-поміж усіх інших дає змогу визначити загальні закономірності. Зокрема, встановлені характерні часи запізнювання та швидкості поширення збурень, визначено їх періоди, відносні варіації концентрації електронів. Встановлено, що ідентифікація реакції дуже ускладнюється або й стає неможливою при Кр-індексах, які перевищують 4-5.

У **п'ятому розділі** аналізується стан іоносфери при ввімкненні нагрівного стелю, розташованого за 960 км від застосованого для дослідження радара вертикального доплерівського зондування. Вперше визначено, що в мінімумі сонячної активності збурення на вказаній відстані можуть бути зареєстровані при ефективній потужності джерела 25 МВт. Як і для інших розглянутих чинників впливу на іоносферу, знайдені горизонтальні швидкості поширення збурень, їх амплітуди та періоди.

Заключним в основній частині дисертації є **шостий розділ**, де розглянуто стан середньоширотної іоносфери при геомагнітній бурі в поточному 25-му циклі сонячної активності. Визначено характер змін доплерівського спектра, обчислено доплерівське зміщення частоти, знайдено похідні параметри.

На завершення дисертаційної роботи наведено **висновки**, де в компактній формі наведені основні результати роботи, доповнені практичними рекомендаціями. **Список використаних джерел** підтверджує ознайомлення автора з сучасними досягненнями в обраній галузі, але також і ґрунтовність підходу, оскільки доречно включені кілька основоположних робіт середини ХХ століття. Додаток містить необхідну інформацію про праці здобувача, на основі яких захищається дисертація.

3. Наукова новизна та достовірність отриманих результатів

Наукова новизна результатів дисертації визначається актуальністю тематики, вдалим вибором об'єкта досліджень і формулюванням завдань, які дозволяють удосконалити методологічну базу, отримати нові експериментальні результати та дати їх інтерпретацію.

У ході виконання роботи отримано низку нових результатів як теоретичного, так і практичного плану. Зокрема, варто відзначити:

1. Вперше виведено скоригований закон секанса для похилого радіозондування, що дозволяє коректно враховувати сферичність Землі. Також отримано низку практично корисних аналітичних співвідношень, які дозволяють визначати максимальну застосовну частоту та параметри виниклих квазіперіодичних збурень. Адекватність результатів продемонстровано на реальних спостережних прикладах.

2. Вперше в рамках одного дослідження виконано узгоджені розрахунки параметрів іоносферних збурень, викликаних різноманітними процесами, й інтерпретовано зв'язок збурень із атмосферними гравітаційними хвилями (горизонтальні швидкості поширення сотні метрів за секунду), а також ударними й магнітогідродинамічними хвилями (горизонтальні швидкості близько 1 км/с і вище). Зокрема, детально розглянуто вплив сонячних затемнень, геомагнітної бурі, стартів важких ракет, дії нагрівного стенду.

3. Вперше встановлено можливість реєстрації іоносферних збурень, обумовлених імпульсним впливом нагрівного стенду ефективною потужністю 25 МВт, розташованого на відстані 960 км від приймача. Для реєстрації слабкого сигналу був застосований доплерівський радар вертикального зондування. Визначено час реакції іоносфери та параметри згенерованих збурень.

4. Вперше з використанням сигналів супутників ГНСС досліджено іоносферний відгук на сонячне затемнення, спостережуване перед проходженням та в умовах проходження вечірнього термінатора. Встановлено наявність реакції іоносфери на глобальних масштабах. Уперше визначено характеристики збурень у залежності від широти й довготи.

Отримані в роботі результати є достовірними, що підкріплено застосуванням належних фізичних моделей, математичних методів і статистичних підходів, а також ретельною обробкою даних. Важливу роль при цьому відіграє другий розділ, де розглянуто існуючу методичну основу зондування іоносфери і внесено необхідні для виконання роботи уточнення. Розрахунки доплерівського зміщення частоти, амплітуд та періодів збурень, горизонтальних швидкостей поширення виконані відповідно до перевірених у ході розвитку фізики іоносфери формул або співвідношень, виведених на їх основі. Вагомим аргументом на користь достовірності отриманих результатів є їх схвалення рецензентами й публікації у провідних міжнародних та фахових українських наукових виданнях.

4. Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях, відсутність порушень академічної доброчесності

Дисертація Є.Г. Жданка є завершеним науковим дослідженням, реалізованим на високому науковому рівні.

У даній роботі викладена низка нових результатів, які розв'язують важливу задачу фізики іоносфери – особливості відгуку її параметрів і поширення радіохвиль під впливом збурень із геліосфери, нижньої атмосфери та збурень від техногенних джерел.

Дисертація добре структурована, виклад результатів чіткий і зрозумілий, наукова термінологія використовується доречно й коректно.

Результати роботи викладено в 19 наукових працях, серед яких – 3 публікації в українських фахових виданнях, 5 – у наукових виданнях, які індексуються в наукометричних базах Scopus та/чи Web of Science, 11 – у збірниках матеріалів та тез конференцій.

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях Є.Г. Жданка не виявлено. Посилання на використані в роботі дослідження інших авторів є коректними.

5. Науково-практична значущість отриманих результатів і можливі шляхи їхнього застосування

Актуальність дисертації Є.Г. Жданка зумовлена важливістю іоносферних процесів і для загальнонаукових, і для суто практичних цілей. Будь-які чинники, що відчутно впливають на якість радіозв'язку, потребують ретельного дослідження й оцінки їх характеристик. Тому безперечною перевагою даної роботи є аналіз відразу кількох джерел іоносферних збурень різної природи – а саме, сонячних затемнень, стартів важких ракет, потужного радіовипромінювання нагрівного стенду, геокосмічної бурі. Практично корисним для подальших досліджень у даній сфері є розроблення методики з'ясування параметрів рухомих іоносферних збурень: періоду, азимуту приходу, горизонтальної швидкості та довжини. Цінним для фізики нейтральної атмосфери та іоносфери є визначення зв'язку між досліджуваними збуреннями та атмосферними гравітаційними хвилями різної природи. Потрібно звернути увагу на знаходження часу поширення збурення чи реакції іоносфери на певний чинник – адже в багатьох випадках це може дозволити завчасно спрогнозувати зміну умов радіозв'язку. Важливою є частина роботи, де розглядається реєстрація іоносферних збурень із використанням супутників ГНСС із огляду на значне просторове покриття, якого можна досягти відповідним методом, порівняно з використанням радарів некогерентного розсіювання чи навіть іонозондів.

Варто відзначити практичну рекомендацію щодо функціонування радара на різних частотах для виявлення стартів важких ракет. Такий підхід здатний підвищити ефективність фіксації згаданих подій, що може мати різноманітне цивільне й військове застосування. Загалом, робота забезпечує помітний внесок у розуміння іоносферних процесів і їх характерних параметрів, створюючи основу для подальших досліджень, можливо, ще більш загального характеру.

6. Недоліки і зауваження

Експериментальні та теоретичні дослідження проведені на високому рівні, але, як і практично в будь-якій роботі, можливо вказати деякі недоліки при її виконанні чи написанні:

1. Часом у роботі трапляються невинуваті твердження банального характеру. Наприклад, на с. 189 маємо рекомендацію «для максимально ефективної роботи радіосистем рекомендується зменшувати потужність радіопередавального пристрою в нічний час і збільшувати її в денний час» – без додаткових уточнень це тільки конкретизація добре відомого факту, що якість

загоризонтного радіозв'язку залежить від часу доби. У реченні «Особливість СЗ 10 червня 2021 р. полягала в тому, що воно було кільцеподібним» (с. 85) перше слово бачиться надлишковим, адже кільцеподібні затемнення самі по собі не є дуже рідкісними, становлячи близько третини всіх сонячних затемнень, а в місці спостережень реалізувалася тільки незначна фаза.

2. У достатній мірі не висвітлені деякі принципово важливі деталі. Так, не описаний спосіб розбиття часів запізнення та горизонтальних швидкостей на групи. Приміром, на с. 139 наведена фраза: “З цих рисунків видно, що мають місце декілька груп швидкостей: від ~ 100 до 800 м/с, від 0.8 до $1.1\text{--}1.3$ км/с та від ~ 1.5 до $2.5\text{--}3$ км/с”. Однак, незрозуміло, на основі чого це помітно – тим більше, що верхня межа першої групи вказана як нижня для другої. Також не наведене чітке означення вдової швидкості – формула (4.1) стосується стартів ракет, а поняття застосовується й раніше.

3. Розрахунок середніх точок трас як півсум координат їх країв (табл. 2.3, 6.1) не є цілком коректним. Він може бути прийнятним у першому наближенні, але тоді немає підстав наводити дві цифри після коми. Зокрема, у випадку найдовшої траси Урумчі – Харбін сферичне наближення демонструє зміщення середньої точки приблизно на 1.7° по широті відносно наведеного значення.

4. На с. 23 говориться про використання фізичного моделювання, але з подальшого тексту неочевидно, про що йдеться, а дане словосполучення в дисертації надалі відсутнє.

5. Зрідка трапляються недостатньо вмотивовані твердження. Зокрема, про одну з найсильніших бур 25-го сонячного циклу (с. 5) не дуже виправдано говорити, поки цикл триває. Деяка аргументація замість вступного слова підсилила б фразу «Очевидно, що квазіперіодичні коливання викликані атмосферними гравітаційними хвилями» (с. 73).

6. Є дуже незначна кількість орфографічних і пунктуаційних помилок – наприклад, «за науково-дослідними роботам» (с. 27), «Що стосується техногенних джерел, які як впливає з їх назви беруть свій початок...» (с. 33), «Перша зміна характеру варіацій ДС відмічалася о 10:43 виникли коливання...» (с. 135).

7. Наявні дрібні неоднорідності при оформленні списку літератури: недоцільне використання «et al. » після трьох прізвищ (зокрема, [3], [126-128]) поруч із деякими дуже довгими переліками ([42, 94]); незвичайні скорочення назв журналів «J. Geophys. Res.» [35], «Geophys. Res. Lett.» [41].

7. Загальні висновки

Наявні зауваження не стосуються принципових результатів і висновків дисертації, тому не погіршують загального позитивного враження від даної роботи.

Дисертант зумів отримати нові результати з фізики іоносфери, які мають як теоретичне, так і практичне значення. Необхідно відзначити ретельність проведеного аналізу з розглядом збурень, зумовлених чинниками різних типів і з урахуванням значної кількості подій – особливо стосовно такого важливого для досліджень їх різновиду як старту ракет.

За тематикою виконаних досліджень і своїм змістом дисертація Є.Г. Жданка повністю відповідає спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали». Усі включені до дисертації результати в повному обсязі опубліковані у провідних наукових журналах із даної тематики, а також вони були представлені на профільних наукових конференціях.

Із огляду на наведені обставини, вважаю, що рецензована дисертаційна робота Жданка Євгена Геннадійовича «Динамічні процеси в іоносферному радіоканалі: результати дистанційного радіозондування іоносфери», подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали», повністю відповідає вимогам наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертацій» (з наступними змінами) та постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р. «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» зі змінами, внесеними згідно з постановою Кабінету Міністрів України № 341 від 21 березня 2022 р., характеризується єдністю змісту та послідовністю викладення, містить нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, отримані здобувачем у ході досліджень та не має порушень академічної доброчесності. Тому здобувач Жданко Євген Геннадійович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

Офіційний опонент,
доцент кафедри астрономії та фізики космосу
фізичного факультету
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка,
кандидат фізико-математичних наук

Асен ГРИЦАЙ

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 23:10:28 26.07.2025

Назва файлу з підписом: vidhuk_Grytsai_26-07_fin.docx.asice
Розмір файлу з підписом: 37.6 КБ

Перевірені файли:
Назва файлу без підпису: vidhuk_Grytsai_26-07_fin.docx
Розмір файлу без підпису: 34.2 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: ГРИЦАЙ АСЕН ВАСИЛЬОВИЧ
П.І.Б.: ГРИЦАЙ АСЕН ВАСИЛЬОВИЧ
Країна: Україна
РНОКПП: 2984609375
Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА
Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 23:10:23 26.07.2025
Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"
Серійний номер: 5E984D526F82F38F04000000A85978011F554F05
Алгоритм підпису: ДСТУ 4145
Тип підпису: Удосконалений
Тип контейнера: Підпис та дані в архіві (розширений) (ASiC-E)
Формат підпису: З повними даними для перевірки (XAdES-B-LT)
Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2025.02.05 13:00