

Scientific journal
PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION
 Has been issued since 2013.
 Науковий журнал
ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА
 Видається з 2013.



p-ISSN 2413-1571
 e-ISSN 2413-158X

DOI: 10.31110/2413-1571
<https://fmo-journal.org/>

DOI 10.31110/2413-1571-2023-038-1-002

УДК 621.37.+551.553.5

ОРГАНІЗАЦІЯ РОБОТИ УКРАЇНСЬКОЇ МЕТЕОРНОЇ СПОСТЕРЕЖНОЇ МЕРЕЖІ (УМСМ) НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ СИГНАЛІВ ТРАНСЛЮВАЛЬНИХ FM-СТАНЦІЙ

Борис ГРУДИНІН ✉

Національний університет біоресурсів
 і природокористування України, Україна
 b.hrudynin@nubip.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-8084-653X>

Анатолій ВІДЬМАЧЕНКО

Національний університет біоресурсів
 і природокористування України, Україна
 avidmachenko@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-0523-5234>

ORGANIZATION OF THE WORK OF THE UKRAINIAN METEOR OBSERVATION NETWORK (UMON) BASED ON THE USE OF SIGNALS OF BROADCASTING FM-STATIONS

Borys HRUDYNIN ✉

National University of Life
 and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine
 b.hrudynin@nubip.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-8084-653X>

Anatoliy VIDMACHENKO

National University of Life
 and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine
 avidmachenko@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-0523-5234>

АНОТАЦІЯ

Розглядається питання про розвиток метеорної астрономії у сучасній Україні. Специфіка методів спостережень метеорів вимагає, передусім, організації мережі кореспондуючих пунктів спостережень. Для досягнення цієї мети пропонується об'єднати науково-технічні можливості організацій-учасників у вигляді Української спостережної метеорної мережі (УМСМ). УМСМ – це сукупність двох або більше постійно діючих спостережних станцій, розташованих на території України, які мають технічне та програмне забезпечення для проведення базисних та односторонніх спостережень метеорів в різних діапазонах довжин хвиль і проводять такі спостереження. УМСМ вирішує стратегічні проблеми дослідження метеорів, структури і еволюції метеорних роїв та потоків, взаємодії метеороїдів з атмосферою Землі та їх хімічного складу. Науково-технічною продукцією станцій УМСМ є результати високоточних базисних або односторонніх спостережень метеорів в різних діапазонах довжин хвиль, фундаментальних і прикладних науково-технічних досліджень.

За сигнальною інформацією FM-передатчиків проведено аналіз кількості сигналів, відбитих від метеорів, в залежності від їх часу життя. Отримана статистика узгоджується з раніш відомими статистиками, що є показником правильної селекції метеорів за сигналами FM-передатчиків. Розроблена методика відтворення аналога амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) за спектром сигналу FM-радіостанції. Методика використовує амплітудну модуляцію, обумовлену френелівською інтерференцією на метеорному сліді, яка призводить до втрати сигналу на виході FM-приймача при відношенні сигнал/перешкода на його вході менших ніжнього порогу частотного демодулятора. Часова послідовність сигналу FM-радіостанції, відбитого від метеора, є важливою відмінною ознакою і може бути використана для розробки алгоритму автоматичної фіксації метеорів за сигналом FM-радіостанції.

Формулювання проблеми. Спостереження метеорів допомагають вирішити ряд задач сучасної астрономії та фізики як фундаментального характеру так і таких, що мають практичне значення. Усі ці знання можна отримати завдяки обробці та аналізу результатів спостережень метеорів, отриманих із застосуванням оптичних та радіолокаційних методів. Спостереження метеорів у радіодіапазоні, які базуються на ефекті відбиття радіохвиль від іонізованого сліду метеора, мають носити системний характер і проводяться за допомогою розгалуженої метеорної спостережної мережі.

ABSTRACT

The question of the development of meteor astronomy in modern Ukraine is considered. The specificity of meteor observation methods requires, first of all, the organization of a network of corresponding observation points. To achieve this goal, it is proposed to combine the scientific and technical capabilities of the participating organizations in the form of the Ukrainian Meteor Observation Network (UMON). UMON is a set of two or more permanently operating observation stations located on the territory of Ukraine, which have the technical and software support for long-base and one-sided meteors observations in different wavelength ranges and conducts such observations. UMON solves the strategic problems of meteor research, the structure and evolution of meteor showers and streams, and the interaction of meteoroids with the Earth's atmosphere, and their chemical composition. The scientific and technical products of UMON stations are the results of high-precision long-base or one-sided observations of meteors in various wavelength ranges, fundamental and applied scientific and technical research.

Based on the signal information of FM transmitters, an analysis of the number of signals reflected from meteors was carried out, depending on their lifetime. The obtained statistics agree with previously known statistics, which is an indicator of the correct selection of meteors by the signals of FM transmitters. A technique for reproducing the analog of the amplitude-frequency characteristic (AFC) based on the spectrum of the FM radio station signal has been developed. The technique uses amplitude modulation caused by Fresnel interference on the meteor trail, which leads to the loss of the signal at the output of the FM receiver when the signal/interference ratio at its input is lower than the lower threshold of the frequency demodulator. The time sequence of the FM radio signal reflected from the meteor is an important distinguishing feature and can be used to develop an algorithm for the automatic recognition of meteors by the FM radio signal.

Formulation of the problem. Observations of meteors help solve several problems of modern astronomy and physics, both of a fundamental nature and those of practical importance. All this knowledge can be obtained thanks to the processing and analysis of the results of meteor observations obtained using optical and radar methods. Observations of meteors in the radio range, which are based on the effect of the reflection of radio waves from the ionized trace of a meteor, should be systematic and carried out with the help of an extensive meteor observation network.

Для цитування:

Грудинін Б., Відьмаченко А. Організація роботи української метеорної спостережної мережі (УМСМ) на основі використання сигналів транслювальних FM-станцій. *Фізико-математична освіта*, 2023. Том 38. № 1. С. 14-19. DOI: 10.31110/2413-1571-2023-038-1-002

Грудинін, Б., & Відьмаченко, А. (2023). Організація роботи української метеорної спостережної мережі (УМСМ) на основі використання сигналів транслювальних FM-станцій. *Фізико-математична освіта*, 38(1), 14-19. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-1-002>

For citation:

Hrudynin, B., & Vidmachenko, A. (2023). Organization of the work of the Ukrainian Meteor Observation Network (UMON) based on the use of signals of broadcasting FM-stations. *Physical and Mathematical Education*, 38(1), 14-19. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-1-002>

Hrudynin, B., & Vidmachenko, A. (2023). Organizatsiia roboty ukrainskoi meteornoï sposterezhnoi merezhi (UMSM) na osnovi vykorystannia syhnaliv transliuvannykh FM-stantsii [Organization of the work of the Ukrainian Meteor Observation Network (UMON) based on the use of signals of broadcasting FM-stations]. *Fizyko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(1), 14-19. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-1-002>

✉ Corresponding author

© B. Hrudynin, A. Vidmachenko, 2023

Матеріали і методи. Організовано роботу автоматизованого комплексу спостережень метеорів в радіодіапазоні за допомогою методу прийому відлунь сигналів загоризонтних радіостанцій (FM, Frequency Modulation), який 5 серпня 2019 року з успіхом запущено в дію. Для одержання результатів, представлених на розгляд у даній роботі, використовувалися теоретичні (аналіз наукової літератури, спеціальних праць з теорії руху космічних тіл, статистичної обробки даних) та експериментальний (використання автоматизованого комплексу спостережень метеорів в радіодіапазоні за допомогою методу прийому відлунь сигналів загоризонтних радіостанцій) методи.

Результати. Проведено статистичний аналіз сигналів, отриманих від існуючих в Україні радіотрас спостережень вторгнень метеорів в атмосферу Землі. Представлено результати роботи радіотраси Глухів (Україна) – Кельце (Польща), до роботи якої автор статті має безпосереднє відношення.

Висновки. Описані в роботі сучасні можливості окремих наукових установ України для виконання досліджень в області метеорної астрономії дають можливість здійснювати фундаментальні і прикладні науково-технічні дослідження метеорних явищ на високому рівні, отримувати результати високоточних базисних або односторонніх спостережень метеорів в різних діапазонах довжин хвиль.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: метеор; метеорний потік; українська метеорна спостережна мережа.

Materials and methods. The operation of an automated complex of meteor observations in the radio range using the method of receiving echoes of signals from over-the-horizon radio stations (FM, Frequency Modulation) has been organized, which was successfully launched on August 5, 2019. To obtain the results presented for consideration in this paper, we used theoretical (analysis of scientific literature, special works on the theory of the movement of cosmic bodies, statistical data processing) and experimental (use of an automated complex of meteor observations in the radio range using the method of receiving echoes of signals from over-the-horizon radio stations) methods.

The results. A statistical analysis of the signals received from the radio tracks of observations of meteor incursions into the Earth's atmosphere existing in Ukraine was carried out. The results of the Glukhiv (Ukraine) - Kielce (Poland) radio route, to which the author of the article is directly related, are presented.

Conclusions. As described in the work, the modern capabilities of individual scientific institutions of Ukraine to carry out research in the field of meteor astronomy make it possible to carry out fundamental and applied scientific and technical research of meteor phenomena at a high level, to obtain the results of high-precision basic or one-sided observations of meteors in various wavelength ranges.

KEYWORDS: meteor; meteor shower; Ukrainian meteor observation network.

ВСТУП

Разом з кометами, астероїдами, великими планетами з їхніми супутниками Сонячна система містить велику кількість дрібних твердих тіл – метеороїдів, які знаходяться в інтервалі мас 10-3 – 106 кг. Вони представляють собою фрагменти комет, астероїдів та частинок пилу, що є залишками речовини, утвореної ще при зародженні Сонячної системи, а в деяких випадках речовина має міжзоряне походження. Проникнення у земну атмосферу цих тіл спостерігається у вигляді метеора – надзвичайно багатопланового явища, і не в останню чергу завдяки досить великій швидкості входу метеорного тіла в атмосферу ~ 11–73 км/с. Взаємодія метеороїда з атомами та молекулами атмосфери супроводжується багатьма фізико-хімічними процесами і явищами, включаючи збудження атмосферних атомів та молекул, їх іонізацію з подальшими переходами в незбуджений стан та із випромінюванням фотонів відповідних довжин хвиль. Спостереження метеорів допомагають вирішити ряд задач сучасної астрономії та фізики як фундаментального характеру, так і таких, що мають практичне значення. Усі ці знання можна отримати завдяки обробці та аналізу результатів спостережень метеорів, отриманих із застосуванням оптичних та радіолокаційних методів. Кожен з цих методів має свої переваги перед іншими, але узагальнюючи в цілому результати обробки спостережень отримаємо достатньо повні та достовірні відомості про природу метеорних тіл. Не викликає сумніву позитивна роль метеорних спостережень для встановлення генетичного зв'язку метеороїдів з кометами та астероїдами, як шляхом порівняння геліоцентричних орбіт та їх еволюції, так і через встановлення ідентичності хімічного складу за спектральними спостереженнями метеорів.

Постановка проблеми. Для комплексного дослідження метеорів сьогодні необхідно організувати метеорні спостережні мережі з максимально можливою кількістю функціонуючих станцій, які мають в арсеналі широкий спектр засобів спостережень: ширококутні спостереження метеорів для базисної обробки і визначення параметрів траєкторії метеора в атмосфері Землі та елементів його геліоцентричної орбіти; довгофокусні спостереження для виявлення та аналізу тонкої структури метеора; спектральні спостереження для визначення його хімічного складу; радіо спостереження як альтернатива лише нічним спостереженням та засіб визначення ступеню іонізації метеорного сліду; будь-які інші засоби спостережень, які дозволяють доповнити набір інформації про кожен метеор. На сьогоднішній день доводиться обмежуватися інформацією про метеори, отриманою окремими спостерігачами або групами спостерігачів (Zhilyaev та ін., 2020).

Аналіз актуальних досліджень. Для фіксування метеора потрібні високочутливі камери, якісні дисперсійні елементи, що дають можливість отримати спектри метеорів. Спектри метеорів містять інформацію про умови збудження, світіння та іонізацію метеорної плазми, температуру, процеси абляції (тобто руйнування метеорного тіла), фізико-хімічні процеси, що відбуваються під час метеорних явищ в атмосфері Землі, маси метеороїдів, причини і характер протікання спалахів, якісний та кількісний хімічний склад метеорного тіла і концентрації хімічних елементів в метеороїдах, а, отже, і про тугоплавку складову ядер комет і астероїдів.

Поряд з традиційними оптичними методами, радіолокаційні методи є потужним додатковим сучасним засобом вивчення метеорів, що дає можливість спостерігати метеори упродовж доби (Бушуєв та ін., 2011). З цією метою застосовують радіолокатори зворотного розсіювання радіохвиль (BS-радар). На сьогодні використанню BS-радарів перешкоджають великі експлуатаційні витрати, відтак у зв'язку з появою великої кількості TV (TeleVision – телебачення, англ.) та FM (Frequency Modulation – частотна модуляція, англ.)-передавачів, найбільш перспективним напрямом досліджень стає спостереження метеорів за допомогою радарів, що розсіюють вперед (FS (Frequency System – частотна система, англ.)-радарів).

Привабливість напрямку досліджень полягає в простоті технічних засобів, що використовуються, а також у невеликому обсязі фінансових витрат, які доступні, в тому числі, і на аматорському рівні досліджень. Радіоспостереження метеорів є незамінними при фіксуванні денних метеорних потоків, а також потоків, активність метеорів в яких досить короткочасна. За допомогою FS-радарів може вирішуватися задача дослідження метеорної активності (Kulichenko et al., 2020; Vovk et al., 2017). Особливістю дослідження метеорної активності у радіодіапазоні є той факт, що реєструється не частина енергії, яка випромінюється під час згорання метеороїда в атмосфері, а частина перевипроміненої енергії від

наземних трансляторів телерадіомовлення (так зване розсіяння вперед, від англ. – forward scattering) (Науково-дослідний інститут «Миколаївська астрономічна обсерваторія», 2022; Kruchynenko, 2020; Kruchynenko et al., 2013; Vovk et al., 2017).

Наразі у багатьох наукових установах України активно приділяють увагу спостереженням метеорів різними методами та апаратурою (Gorbanev et al., 2016). Це дає змогу об'єднати наукові зусилля з вивчення метеорів у вигляді Української Метеорної Спостережної Мережі (далі – УМСМ). УМСМ – це сукупність двох або більше постійно діючих спостережних станцій, розташованих на території України, які мають технічне та програмне забезпечення для проведення базисних та односторонніх спостережень метеорів в різних діапазонах довжин хвиль і проводить такі спостереження (Бушуєв та ін., 2021; Голубаєв та ін., 2011). Головною задачею УМСМ є об'єднання зусиль організацій-учасників у галузі проведення регулярних базисних та односторонніх спостережень метеорів в різних діапазонах довжин хвиль, а також обмін результатами спостережень, їх обробка та аналіз спостережних даних. УМСМ вирішує стратегічні проблеми дослідження метеорів, структури і еволюції метеорних роїв та потоків, взаємодії метеороїдів з атмосферою Землі та їхнього хімічного складу. Науково-технічною продукцією станцій УМСМ є результати високоточних базисних або односторонніх спостережень метеорів в різних діапазонах довжин хвиль, фундаментальних і прикладних науково-технічних досліджень.

Мета статті – розглянути співпрацю наукових установ та закладів МОН України у спостереженні за метеорними потоками (інструменти, методи обробки, спостережні можливості), а саме: в Науково-дослідному інституті «Миколаївська астрономічна обсерваторія», Глухівському національному педагогічному університеті імені Олександра Довженка, Національному університеті біоресурсів і природокористування України, Головній астрономічній обсерваторії НАН України, що мають технічне та програмне забезпечення для проведення базисних та односторонніх спостережень метеорів в різних діапазонах довжин хвиль.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для одержання результатів, представлених на розгляд у даній роботі, використовувалися теоретичні (аналіз наукової літератури, спеціальних праць з теорії руху космічних тіл, статистичної обробки даних) та експериментальний (використання автоматизованого комплексу спостережень метеорів в радіодіапазоні за допомогою методу прийому відлунь сигналів загоризонтних радіостанцій) методи.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У квітні 2019 року Науково-дослідний інститут «Миколаївська астрономічна обсерваторія» уклав Угоду про співпрацю з Глухівським НПУ імені О. Довженка. В межах цієї Угоди організовано роботу автоматизованого комплексу спостережень метеорів в радіодіапазоні за допомогою методу прийому відлунь сигналів загоризонтних радіостанцій (FM, Frequency Modulation), який 5 серпня 2019 року з успіхом запущено в дію. Відтак, 5 серпня 2019 року в Україні почала працювати п'ята радіотраса Глухів (Україна) – Кельце (Польща), частота 88.2 МГц, довжина 960 км, створена за ініціативи НДІ «МАО» (перші чотири: Кельце – Миколаїв, частота 88.2 МГц, довжина 910 км; Стамбул – Миколаїв, частота 88.2 МГц, довжина 700 км; Соннеберг (Німеччина) – Львів, частота 91.7 МГц, довжина 900 км; Будапешт – Рівне, частота 94.8 МГц, довжина 635 км – рис. 1).



Рис. 1. Радіотраси мережі реєстрації метеорних явищ (D – довжини (км) і A – азимут (градуси) радіотрас)

Усі комплекси, показані на рис. 1, є складниками УМСМ. В 2017–2019 рр. мережею зареєстровано 912765 метеорних явищ. Достовірність даних спостережень в роботі підтверджується: 1) відповідністю добових варіацій кількості метеорів, зареєстрованих станціями мережі, відомій залежності, а саме, спостереженню метеорів в апексі та антиапексі, 2) відповідністю отриманих мережею характеристик трьох метеорних потоків (Персеїди, Гемініди та Квадрантиди) очікуваним, як у часі появи, так і в інтенсивності. Наразі, проводяться дослідження можливості використання методу відновлення несучої FM-сигналу для оцінки швидкості метеороїдів вздовж траєкторії руху за даними однопозиційних спостережень сигналів загоризонтних FM-станцій, відбитих метеорними слідами.

Місцезнаходження та географічні координати приймаючих станцій мережі та відповідних передавачів, потужність випромінювання передавачів, висоти антен над рівнем моря, робочі частоти вказано в табл. 1.

Розглянемо принцип функціонування метеорного апаратурно-програмного комплексу (далі – МАПК) Глухів – Кельце, запущеного в дію автором даної роботи під керівництвом наукових працівників НДІ МАО (рис. 2). Функціонування МАПК базується на безперервному, цілодобовому прийомі сигналів радіомовної FM станції, відбитих від іонізованих метеороїдних слідів, що виникають в атмосфері Землі на висотах 80–100 км. МАПК НДІ «МАО» на трасі довжиною 903 км

приймає сигнал FM-станції «Radio Muzyka Fakty Sp. z o.o.», розташованої біля міста Кельце (Польща). Відносно Миколаєва передавач знаходиться на азимуті 302°. Випромінювач станції «RMF FM» встановлений на телевізійній вежі «Святий хрест», яка має висоту 126.5 м. Висота встановлення антени передавача 100 м, частота несучого сигналу 88.2 МГц, потужність випромінюваного сигналу 120 кВт. FM станцію вибрано з урахуванням як азимутально-частотного розподілу шумів в місці розміщення комплексу, так і місць дислокацій, потужностей та частот випромінювання станцій передавачів і радіочастот.

Таблиця 1

Місцезнаходження та географічні координати приймаючих станцій мережі та відповідних передавачів, потужність випромінювання передавачів, висоти антен над рівнем моря, робочі частоти

Місцезнаходження	Широта, п.ш.	Довгота, с.д.	Висота антени, м	Потужність, кВт	Частота, МГц
Кельце (Польща)	50°51'36.29"	21°02'54.76"	697	120	88.2
Будапешт (Угорщина)	47°29'30.17"	18°58'44.00"	592	100	94.8
Соннеберг (Німеччина)	50°26'48.29"	11°00'15.78"	1005	100	91.7
Стамбул (Туреччина)	41°00'58.75"	29°03'56.11"	384	100	88.2
Миколаїв (Україна)	46°58'17"	31°58'22"	65	—	88.2
Рівне (Україна)	50°37'23"	26°14'55"	205	—	94.8
Львів (Україна)	49°50'11"	24°00'52"	316	—	91.7
Глухів (Україна)	33°54'56"	51°40'43"	175	—	88.2

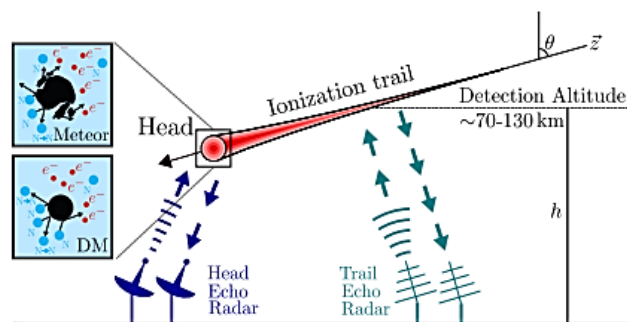


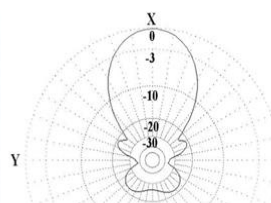
Рис. 2. Принцип функціонування метеорного апаратурно-програмного комплексу

Складниками комплексу з реєстрації радіовідлунь є програмно керований приймач Realtek RTL2832U; направлена антена типу Ягі-Уда, розрахована на потрібний діапазон частот (88–108 МГц); програмне забезпечення для управління приймачем та збереження інформації; встановлений інтерпретатор мови програмування Python 3.4 з бібліотеками numpy, matplotlib, wave; програми обробки отриманих з ефіру масивів даних, розроблені на мові програмування Python.

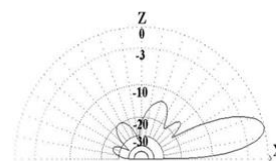
Для прийому сигналу використовується антена типу «хвильовий канал» з вісьмома елементами (рис. 3). Коефіцієнти підсилення антени 13.2 дБ. Ширина діаграми спрямованості складає в горизонтальній площині – 40°, вертикальній – 20°, за рівнем – 3 дБ. Придушення заднього пелюстка – 20 дБ. Вертикальний кут (кут місця) максимуму головного пелюстка діаграми – 15°.



а)



б)



в)

F: 88.200 МГц
Z: 170.926 - j17.363 Ом
КСВ: 3.5 (50.0 Ом)
Elev. гр.: 9.5 гр. (Реал. земля. Высота = 5.00 м)

Рис. 3. Приймальна антена МАПК НДІ «МАО» (а) та її розрахункова діаграма спрямованості в горизонтальній (б) і вертикальній (в) площинах

Вхідною інформацією для пошуку сигналів, відбитих від метеороїдних слідів, є сигнал із виходу квадратурного детектора приймача, тобто, сигнал, який ще не пройшов FM-демодуляцію та характеристики якого повністю відповідають сигналу на несучій частоті. Завдяки використанню такого сигналу з'являється принципова можливість визначення амплітуди та доплерівського зсуву частоти сигналу, відбитого від плазмового сліду метеороїда, в результаті відновлення несучої по відомому модуляційному сигналу, що неможливо для сигналу, який пройшов FM-демодуляцію. У випадку невідомого модуляційного сигналу, враховуючи стійкість частотної модуляції до амплітудних спотворень сигналу, на нашу думку, можливе одночасне визначення модуляційного сигналу та відновлення несучої. Отже, можливе визначення параметрів Френелівських коливань амплітуди радіосигналу, обумовлених інтерференцією на метеороїдному сліду, що дозволить оцінити швидкість метеороїда за однопозиційними спостереженнями. Виміряні значення амплітуди відновленої несучої на вході приймача дозволять також оцінити масу метеороїда за відомими значеннями потужності випромінювання FM-станції та за відомими характеристиками діаграм спрямованості антен передавача і приймача. При цьому залишається можливість багатопозиційного визначення координат метеороїда методом мультилатерації при вирішенні, перш за все, проблем синхронізації спостережень географічно рознесеними приймальними станціями і забезпечення стабільності та ідентичності амплітудно-фазових характеристик їхніх приймачів.

Для реєстрації радіосигналів використовується вільно розповсюджувана програма HSDR. Програма дозволяє формувати записи амплітуд квадратурних каналів приймача у вигляді wav-файлів та файли зображень амплітудно-частотно-часової розгортки для цілодобового моніторингу метеорної активності. Мінімальна смуга аналізу при цьому становить 250 кГц, а максимальна – 3.2 МГц. Це значно більше за ширину спектру FM-сигналу, яка не перевищує 75 кГц, що дозволяє проводити оптимальну обробку цього сигналу.

Результати, отримані в процесі функціонування МАПК представлено на рис. 4–6 (травень–вересень 2020 р.)

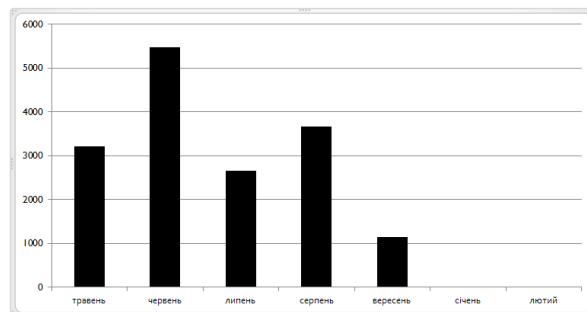


Рис. 4. Діаграма розподілу кількості вторгнень. Травень 2020 р. – вересень 2020 р.

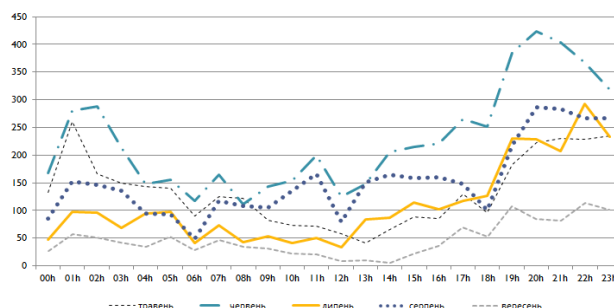


Рис. 5. Діаграма розподілу кількості вторгнень (вісь ординат) за годиною доби (вісь абсцис). Травень 2020 р. – вересень 2020 р.

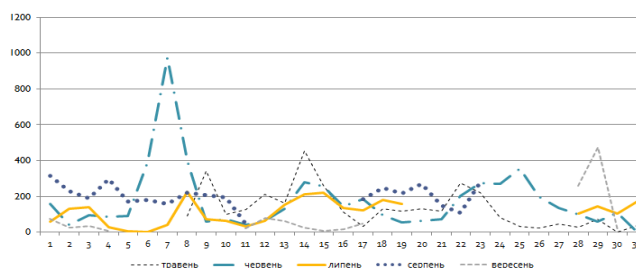


Рис. 6. Діаграма розподілу кількості вторгнень (вісь ординат) за днем місяця (вісь абсцис). Травень 2020 р. – вересень 2020 р.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Описані в роботі можливості функціонування МАПК дають можливість здійснювати фундаментальні і прикладні науково-технічні дослідження метеорних явищ на високому рівні, отримувати результати високоточних базисних або

односторонніх спостережень метеорів в різних діапазонах довжин хвиль. Тож створення Української Метеорної Спостережної Мережі за участю багатьох наукових установ є чудовим рішенням для об'єднання зусиль науковців у проведенні регулярних базисних та односторонніх спостережень метеорів в різних діапазонах довжин хвиль, а також для обміну результатами спостережень, їх обробки та аналізу спостережних даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бушуев, Ф.И., Калюжный, Н.А., Сливинский, А.П., & Шульга, А.В. (2011). Использование сигналов вещательных FM-станций для исследований численности метеоров. *Космична наука і технологія*, 17, 3, 72–82.
2. Бушуев, Ф.И., Калюжный, М.П., Куліченко, М.О., Шульга, О.В., Малиновський, Є.В., Савчук, С.Г., Янків-Вітковська, Л.М., & Грудинін, Б.О. (2021). Становлення та розвиток Української мережі радіоспостережень метеорів. *Космична наука і технологія*, 3, 85–92.
3. Голубаев, О.В., Горбаньов, Ю.М., Шульга, О.В., Андреев, О.А., Бушуев, Ф.И., Відьмаченко, А.П., Грудинін, Б.О., Жияєв, Б.Ю., Калюжный, М.П., Козак, П.М., Куліченко, М.О., Малиновський, Є.В., Мозгова, А.М., Савчук, С.Г., Стеклов, О.Ф., Сумарук, Ю.П., & Янків-Вітковська, Л.М. (2022). Створення Української метеорної спостережної мережі: інструменти, методи обробки, спостережні можливості. *Космична наука і технологія*, 28, 4, 39–70.
4. Науково-дослідний інститут Миколаївська астрономічна обсерваторія. (2022, 8 листопада). *Звіт НДІ МАО за 2016 рік*. <http://www.nao.nikolaev.ua/reports/report2016.pdf>.
5. Gorbaney, Yu.M., Knyaz'kova, E.F., Shulga, A.V., Kulichenko, M.O., Kozak, P.M., Mozgova, A.M., & Golubaev, A.V. (2016). Ukrainian meteor optical network. *Radiotekhnika*, 185, 5–8.
6. Kruchynenko, V. H. (2012). *Matematyko-fizychnyi analiz meteorono yavlyshcha*. Kyiv.
7. Kruchynenko, V., Churiumov, K., & Mozghova, A. (2013). *Fizyka Cheliabinskoho bolidu*. Visnyk Astronomichnoi shkoly.
8. Kulichenko, M.O., Kaliuzhnyi, M.P., Bushuev, F.I., Shulga, O.V., Malynovskyi, Ye.V., Savchuk, S.G., Yankiv-Vitkovska, L.M., & Hrudynin, B.O. (2020). *Ukrainian radio meteor network – development and first results*. Odessa Astronomical Publications.
9. Vovk, V. S., Shulha, O. V., Sybiriakova, Ye. S., Kaliuzhnyi, M. P., Bushuev, F. I., & Kulichenko, M. O. (2017). Низькотехнологічні високоефективні радіотехнічні рішення для спостережень метеорів та супутників. *Наука і інновації*, 13(1), 70–74.
10. Zhilyaev, B.E., Vidmachenko, A.P., Steklov, A.F., Pokhvala, S.M., & Verlyuk, I.A. (2020). *The physics of space intrusions. I. Features of the trajectories*. Astronomical School's Report, 16, 8–15.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Bushuev, F. I., Kaliuzhnyi, N. A., Slivinskij, A. P., & Shul'ga, A. V. (2011). Ispol'zovanie signalov veshhatel'nykh FM-stancij dlja issledovaniy chislennosti meteorov [Using FM Broadcast Signals for Meteor Abundance Studies]. *Kosmichna nauka i tehnologija – Space science and technology*, 17, 3, 72–82. (in Ukrainian).
2. Bushuev, F.I., Kaliuzhnyi, M.P., Kulichenko, M.O., Shulha, O.V., Malynovskyi, Ye.V., Savchuk, S.H., Yankiv-Vitkovska, L.M., & Hrudynin, B.O. (2021). Stanovlennia ta rozvytok Ukrainkoi merezhi radiosposterezhen meteoriv [Formation and development of the Ukrainian network of radio observations of meteors]. *Kosmichna nauka i tehnologija – Space science and technology*, 3, 85–92. (in Ukrainian).
3. Golubaev, O.V., Horbanov, Yu.M., Shulha, O.V., Andriev, O.A., Bushuev, F.I., Vidmachenko, A.P., Hrudynin, B.O., Zhyliaev, B.Iu., Kaliuzhnyi, M.P., Kozak, P.M., Kulichenko, M.O., Malynovskyi, Ye.V., Mozghova, A.M., Savchuk, S.H., Stieklov, O.F., Sumaruk, Yu.P., Yankiv-Vitkovska, L.M. (2022). Stvorennia Ukrainkoi meteornoi spostereznoi merezhi: instrumenty, metody obrobky, sposterezni mozhlyvosti [Creation of the Ukrainian meteor observation network: tools, processing methods, observation capabilities]. *Kosmichna nauka i tekhnolohiia – Space science and technology*, 28, 4, 39–70. (in Ukrainian).
4. Naukovo-doslidnyi instytut Mykolaivska astronomichna observatoriia [Mykolaiv Astronomical Observatory Research Institute]. (2022, 8 lystopada). Zvit NDI MAO za 2016 rik <http://www.nao.nikolaev.ua/reports/report2016.pdf>. (in Ukrainian).
5. Gorbaney, Yu.M., Knyaz'kova, E.F., Shulga, A.V., Kulichenko, M.O., Kozak, P.M., Mozgova, A.M., & Golubaev, A.V. (2016). Ukrainian meteor optical network. *Radiotekhnika*, 185, 5–8.
6. Kruchynenko, V. H. (2012). *Matematyko-fizychnyi analiz meteorono yavlyshcha*. Kyiv.
7. Kruchynenko, V., Churiumov, K., & Mozghova, A. (2013). *Fizyka Cheliabinskoho bolidu*. Visnyk Astronomichnoi shkoly.
8. Kulichenko, M.O., Kaliuzhnyi, M.P., Bushuev, F.I., Shulga, O.V., Malynovskyi, Ye.V., Savchuk, S.G., Yankiv-Vitkovska, L.M., & Hrudynin, B.O. (2020). *Ukrainian radio meteor network – development and first results*. Odessa Astronomical Publications.
9. Vovk, V. S., Shulha, O. V., Sybiriakova, Ye. S., Kaliuzhnyi, M. P., Bushuev, F. I., & Kulichenko, M. O. (2017). Nyz'kotekhnolohichni vysokoefektyvni radiotekhnichni rishennya dlya sposterezhen meteoriv ta suputnykiv [Low-tech, highly efficient radio engineering solutions for observing meteors and satellites]. *Nauka i innovatsiyi – Science and innovation*, 13(1), 70–74.
10. Zhilyaev, B.E., Vidmachenko, A.P., Steklov, A.F., Pokhvala, S.M., & Verlyuk, I.A. (2020). *The physics of space intrusions. I. Features of the trajectories*. Astronomical School's Report, 16, 8–15.

