

УДК 550.38

**В. Корепанов¹, А. Марусенков¹, С. Беляєв¹, С. Клімов², Л. Зелений²,
Д. Новіков², Ч. Ференц³, Я. Ліхтенбергер³, Л. Боднар⁴**

¹ Львівський центр Інституту космічних досліджень Національної академії наук України та Національного космічного агентства України

² Інститут космічних досліджень Російської академії наук, Москва, Росія

³ Університет імені Етвоша, Будапешт, Угорщина

⁴ Підприємство «BL-Electronics Kft.», Шольмар, Угорщина

ХВИЛЬОВИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ НА МІКРОСУПУТНИКУ «ЧІБІС-М»

Дослідження процесів, які відбуваються під час розрядів блискавки, є актуальним завданням космічної фізики. Саме на це спрямований експеримент на борту мікросупутника «Чібіс-М» (запуск у 2010 р.), який містить два набори космічної апаратури: «Гроза» та «Хвильовий комплект». Від цього проекту очікуються особливо цікаві результати, оскільки вперше заплановані не тільки прямі спостереження блискавок, але й одночасні дослідження викликаних ними хвильових процесів (дослідження проводимуться як з борту супутника, так і зі станцій наземної підтримки), що дасть безпрецедентну нагоду спостерігати розвиток блискавкового механізму від виникнення до дисипації в формі електромагнітних хвиль. У межах електромагнітного експерименту на борту мікросупутника «Чібіс-М» будуть проведені вимірювання електричного й магнітного полів та густини електричного струму. Особлива увага сконцентрована на ННЧ-ДНЧ-діапазоні. Ці хвилі відіграють головну роль у взаємодії в системі «магнітосфера — іоносфера — атмосфера — літосфера», і їхні дослідження необхідні для розкриття механізму цієї взаємодії. У роботі описані наукові завдання проекту та склад бортової апаратури «Хвильовий комплект».

ВСТУП

Спостереження й моніторинг земного оточення відіграють важливу роль у дослідженнях дуже складної системи життєдіяльності на нашій планеті. Головними напрямками дослідження Землі є вивчення сили тяжіння та магнітного поля, атмосферного вітру, опадів і температурного поля, кріосфери й льодового покриття, біосферно-атмосферного взаємозв'язку, взаємодії хмар і випромінювань, стратосферно-тропосферного взаємовпливу та створення нових комплексних моделей цих процесів. Перелічені напрями тільки частково відображають предмет необхідних досліджень, до яких має долучатися комплексний аналіз плазмового й електромагнітного (ЕМ) довкілля Землі, що є ключовим елементом, який відображає функціонування системи Сонце — Земля. Якщо ми збираємось збагнути спосіб функціонування всієї системи, то повинні дослідити (спостерігати, змоделювати і зрозуміти) саме наше плазмове й ЕМ-довкілля, тоб-

то динаміку верхньої атмосфери і її взаємодію з міжпланетним простором та нижньою атмосферою. Результати дослідження плазмосферних ефектів, які часто мають антропогенне чи приповерхневе походження, необхідні для аналізу глобальних змін у цій системі.

Явища, викликані природними або антропогенними чинниками, що виникають та поширюються у плазмі верхньої атмосфери, сильно впливають на навколишнє середовище. Наприклад, рис. 1 відображає можливий механізм впливу випромінювання гармонік електричних мереж (ВГЕМ) на активність блискавкових розрядів. Отже, розгляд ЕМ-активності у міжпланетному просторі й навколо Землі є ефективним засобом вивчення стану системи «магнітосфера — іоносфера — атмосфера — літосфера». Ми маємо досвід попередніх «пілотних проектів», наприклад експерименти на борту ІК-24 («Активний») та супутника «Компас-2» [16, 26], результати яких підтвердили важливість такого моніторингу. Розглядаючи результати проектів «Кластер» [32] та «Деметер» [30], ми знаходимо не тільки підтвердження відомих явищ, але й

© В. КОРЕПАНОВ, А. МАРУСЕНКОВ, С. БЕЛЯЄВ,
С. КЛІМОВ, Л. ЗЕЛЕНИЙ, Д. НОВІКОВ, Ч. ФЕРЕНЦ,
Я. ЛІХТЕНБЕРГЕР, Л. БОДНАР, 2010

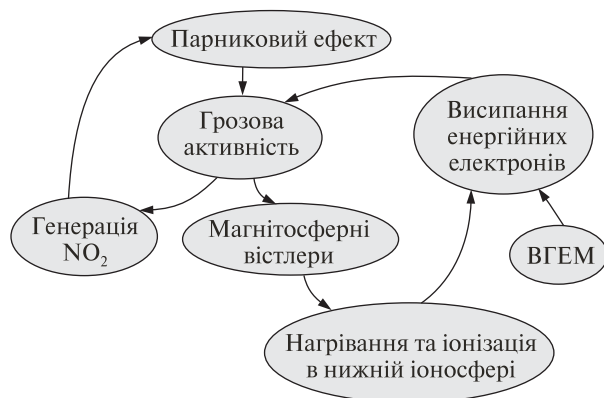


Рис. 1. Схема можливого впливу випромінювання гармонік електричних мереж (ВГЕМ) на активність блискавок. Стрілка з'єднує відомі, але не оцінені кількісно процеси [28]

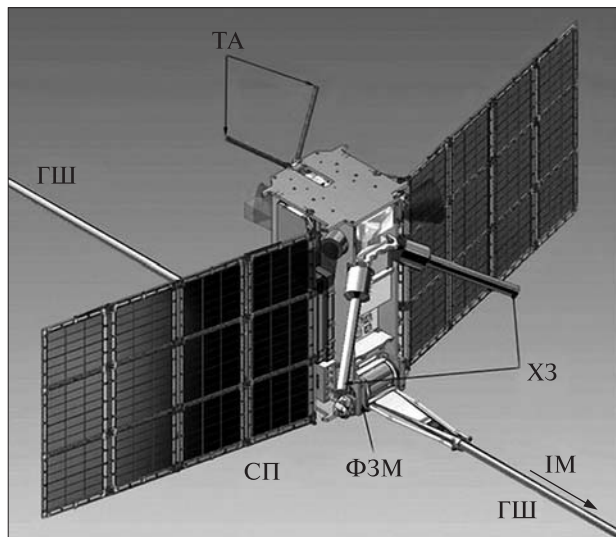


Рис. 2. Загальний вигляд мікросупутника «Чібіс-М»: ХЗ — хвильовий зонд, ФЗМ — ферозондовий магнітометр, ГШ — гравітаційні штанги, ІМ — індукційний магнітометр, ТА — телеметрична антена, СП — сонячні панелі. Загальна вага мікросупутника з системами обслуговування і науковим корисним навантаженням — 40 кг

спостерігаємо декілька нових, неочікуваних і не відомих раніше ефектів. Неперервне дослідження ЕМ-довкілля Землі за допомогою супутників допомагає зрозуміти й узагальнити інформацію про природу явищ, які впливають на комплекс земних систем. Поєднання систематичного ЕМ-

моніторингу, прицільно виконуваного з космічних супутників, з наземною підтримкою є особливо ефективним [25, 33].

Дослідження універсальних законів, які керують перетворенням та дисипацією хвильової енергії плазми у магнітосферно-іоносферній системі, є головною фундаментальною проблемою хвильового експерименту на борту МС «Чібіс-М» (рис. 2). В його рамках планується виконати такі дослідження [5, 25, 36].

1. Вимірювання *in situ* флуктуацій електричного й магнітного полів, параметрів термічної та епітермічної плазми в іоносфері поблизу шару F у різних геліо- та геомагнітних умовах.

2. Реєстрація геомагнітних та геофізичних параметрів наземними обсерваторіями з різними часовими масштабами.

3. Дослідження ЕМ-явищ (спектрів ННЧ/ДНЧ-хвиль) у різних ділянках навколосемного простору шляхом порівняльного аналізу вимірювань ЕМ-хвиль, виконуваних одночасно різними космічними апаратами та наземними геофізичними станціями.

ПІДСТАВИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Відомо, що довгохвильове ЕМ-випромінювання активно використовується для дослідження процесів у космічній плазмі, і ці хвилі мають там таке ж значення, як сейсмічні хвилі для досліджень будови Землі. Якщо порівняти їхню роль з роллю ЕМ-процесів у інших ділянках фізики, то хвилі у плазмі мають деякі характерні відмінності. Особливо важливими є ефекти резонансу, які виникають внаслідок взаємодії хвиль і частот, перетворення мод, утворення резонаторів і хвилеводів. Саме через ефект резонансу ННЧ-хвилі несуть важливу інформацію про динамічні явища в навколосемному просторі та верхній атмосфері. Ці хвилі досягають досить високих амплітуд, що спричиняє їхній помітний вплив на потоки плазми й ефективного прискорення електронів у магнітосфері.

Дослідження природи й структури ЕМ-явищ у ННЧ-ДНЧ-діапазонах, які виникають у плазмосфері навколо Землі, дають нам багато інформації. Мета хвильового експерименту — отрима-

ти детальні знання про ЕМ- та плазмові явища, які виникають у плазмосфері Землі, збагнути механізми взаємодії в доквіллі земної кулі та ефекти, викликані господарською діяльністю, які суттєво впливають на стан цілої навколоземної плазмової оболонки [31]. Так, поширення «спрайтів» (викликаних грозами видимих перехідних явищ у верхній атмосфері у вигляді потоків заряджених часток, які рухаються вгору) залежить від плазмосферної ДНЧ-активності природного або антропогенного походження та від забруднення нижньої атмосфери. Іншим прикладом може бути випромінювання потужних КХ-передавачів, яке локально підвищує рівень іонізації нижньої атмосфери — найнижчої частини плазмосфери. Варіації розподілу заряджених часток змінюють структуру струму в іоносфері, а ці струми, в свою чергу, можуть впливати на біосферу [27]. Підсумовуючи стан перелічених вище напрямів дослідження, можемо ствердити, що вони є надзвичайно важливі для розуміння системи функціонування Землі, наші знання про яку далеко не достатні. ЕМ-явища в ННЧ-ДНЧ-діапазоні дуже залежать від структури іонізованих середовищ, у яких вони відбуваються. Саме структура середовищ та їхні передавальні функції формують базовий комплект граничних умов, які забезпечують життя на Землі (іоносфера, плазмосфера, радіаційні пояси та ін.), механізми обміну енергією між атмосферою Землі, міжпланетним середовищем та Сонцем [9, 28, 34], викликають періодичні й тимчасові явища у біосфері [2, 7, 27 та ін.], що відбуваються шляхом відомого енергетичного зв'язку або невідомих ефектів, які, в свою чергу, впливають на стабільність вуглецевих сполук. Більш або менш тривале нагромадження інформації шляхом реєстрації та порівняльної інтерпретації ННЧ-ДНЧ ЕМ-явищ (вістлерів, сигналів нерегулярної форми, коротких імпульсів [13, 15, 29 та ін.] і поєднання цих вимірювань з одночасними дослідженнями рухомих неоднорідностей [11, 12, 14, 18] повинні дати необхідні знання про множину граничних умов, потрібних для стійкого життя на Землі. Застосовуючи такий підхід, ми можемо визначити домінантні ефекти в динаміці верхньої атмосфери та у впливі на неї міжпланетних

і сонячних подій. Останні особливо важливі через їхню роль у формуванні космічної погоди та радіаційної небезпеки. Наша цивілізація дуже чутлива до стабільності біологічних і соціальних умов. Чинники космічної погоди можуть згубно впливати на галузь космічної служби та наземної технічної інфраструктури, а також відображатися у деяких аспектах біосфери (наприклад, викликати зсув вегетативних параметрів [7]).

Джерела природних електромагнітних і споріднених з ними сигналів у плазмосфері пов'язані в основному з динамікою Землі, Сонця і, в рідкісних випадках, з міжпланетними процесами. Вони складають два головні класи. Основна частина джерел, розташованих в атмосфері (не тільки в тропосфері), таких як електричні розряди й близькі до них явища (наприклад, блискавки, спрайти), належить до природних. Інший вагомий за кількістю вид складають антропогенні джерела, розташовані на межі атмосфери й твердої Землі, де функціонує наша цивілізація. Вони викликають ЕМ-явища двома способами: безпосереднім ЕМ-випромінюванням та зміною стану атмосфери і її верхньої частини — плазмосфери (наприклад, вказаний вище зв'язок між посиленням появи спрайтів і ступенем забруднення). Виявлено, що активність земної кори також є джерелом ЕМ-сигналів [17]. Отже, важливо вивчати ці процеси не тільки для створення загальної моделі Землі як системи, а й для контролю природних небезпек (вулканічна або сейсмічна активність і таке ін.). Крім того, краще розуміння механізму утворення джерел ЕМ-сигналів у літосфері Землі також допоможе пізнати динаміку розвитку нашої планети. Отже, тривалий моніторинг і вивчення структури ЕМ-довкілля Землі відкриває можливість знаходити індикатори літосферної динаміки (сейсмічності), а також допомагає детально вивчати надра Землі та розвивати нові технології спостереження за Землею. Звідси ж впливають і нові дані про просторово-часовий розподіл атмосферних розрядів та поширення енергії, які підвищують надійність і точність моделей атмосфери. Так, вивчення глобальної грозової активності показало, що частота блискавок може бути засобом для виявлення глобальних змін. Рис. 3 відображає зв'язок між

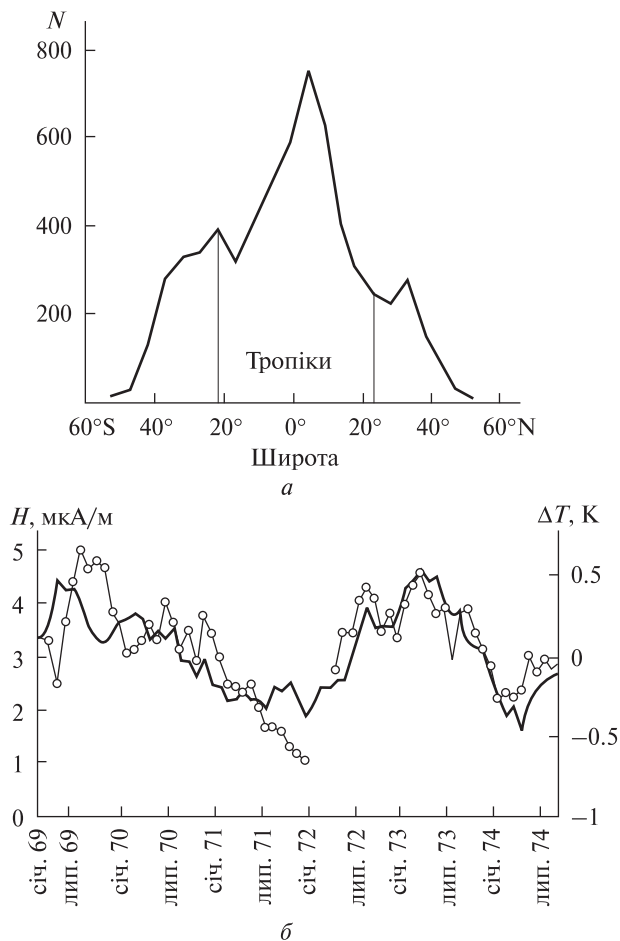


Рис. 3. а — залежність кількості N грозових спалахів від географічної широти [35], б — зв'язок між магнітним полем H шуманівських гармонік і температурними аномаліями ΔT поблизу екватора

зростанням температури і грозовою активністю. До того ж, з'являється ще один важливий аспект: доведено, що ЕМ-сигнали можуть генеруватись не тільки коровими енергетичними джерелами, а й «рухомими градієнтами», коли джерело переходить з одного стану в інший. Ці градієнти можуть бути енергетично пов'язані з високою густиною енергії і продукувати сигнали в ННЧ-ДНЧ-діапазоні.

На сьогодні в ряді країн заплановані космічні експерименти, спрямовані на вивчення хвильової ННЧ-ДНЧ-активності в іоносфері. Деякі з них вже реалізовані, наприклад, широко відомі

експерименти на супутниках «Деметер» (Франція) [8], «Компас-2» (Росія) [24] та «Січ-1М» (Україна, експеримент «Варіант») [3].

ХВИЛЬОВИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ НА БОРТУ МІКРОСУПУТНИКА «ЧІБІС-М»

Головним завданням основного комплексу наукової апаратури «Гроза» мікросупутника «Чібіс-М» є дослідження ступеневого процесу висотних розрядів у великих електричних полях [25]. Додатковий комплекс «Хвильовий комплект» (ХК) не бере участі у процесі реєстрації власне «події» — процесу розряду, але бортовий процесор ХК (ПСА) використовуватиме створюваний апаратурою «Гроза» строб для «прив'язування» до розряду блискавки моменту генерації ЕМ-хвиль у діапазоні $10^{-2} \dots 2 \cdot 10^4$ Гц (ННЧ-ДНЧ). У цьому діапазоні з супутників вже давніше спостерігалось та реєструвалось тільки ЕМ-випромінювання, генероване в основній фазі блискавкового розряду, т. зв. вістлери. Саме тому, що це ЕМ-випромінювання генетично пов'язане з розрядами блискавки, його дослідження входить в основні завдання проекту «Чібіс-М».

Значний обсяг експериментального матеріалу, очікуваного з МС «Чібіс-М» та геофізичних наземних обсерваторій супроводження цього експерименту, його теоретичний аналіз і комп'ютерне моделювання дозволять розробити алгоритм хвильової та гідромагнітної діагностики магнітосферно-іоносферної системи. Припускається, що ці методи уможливлять тривалий кількісний моніторинг характерних енергій часток, концентрації і хімічного складу плазми у магнітосфері для передбачення різних форм геомагнітних збурень, які виникають під впливом потужних факторів «зверху» (космічних) та «знизу» (терагенних). Систематичні дослідження цих зв'язків допоможуть виявити універсальні закони, які регулюють перетворення та дисипацію плазмово-хвильової енергії в магнітосферно-іоносферній системі.

Отже, хвильовий експеримент на борту МС «Чібіс-М» матиме такі головні цілі:

- дослідження процесів випромінювання та розповсюдження ЕМ-поля в просторі (навколо Землі) і в часі;

- систематична класифікація зареєстрованих ЕМ-явищ;
- виявлення й аналіз ЕМ-поля природного й антропогенного походження, визначення його можливої ролі в Земній системі;
- нагромадження інформації для розробки вдосконалених моделей плазмосфери й іонізованої верхньої атмосфери, перевірки моделей плазмового середовища та ролі, яку відіграють явища й процеси, викликані космічною погодою в цих моделях;
- виявлення терагенних сигналів і явищ, які походять з поверхні й середини Землі, та їхнього зв'язку зі штучними (ВГЕМ, вибухи) і природними градієнтами або сейсмічними явищами.

Для досягнення цих цілей необхідна скоординована одночасна робота супутника і наземних засобів підтримки, що відкриє сприятливі можливості для вивчення характерних подій у великих ділянках космосу.

«ХВИЛЬОВИЙ КОМПЛЕКТ»

Комплекс апаратури «Хвильовий комплект» складається з програмного аналізатора сигналів (ПСА) типу SAS-3 [16] та набору ЕМ-давачів, під'єднаних до входів ПСА. Важливо зазначити, що на Землю планується передавати хвильові форми сигналів, записуваних ПСА, що зробить можливою їхню точну апостеріорну спектрально-часову обробку. Вважається, що найефективнішими методами їхніх досліджень є одночасні вимірювання густини просторового струму (ГПС) та флуктуацій магнітного поля хвильових процесів. Можливість прямих вимірювань ГПС за допомогою щілинного зонду Ленгмюра (ЩЗЛ) підтверджена експериментально [6]. Вдосконалена модифікація ЩЗЛ була встановлена на борту супутника «Прогноз-10», і отримані результати вимірювань добре узгоджувались з розрахованими величинами [1, 4]. Подальше вдосконалення дозволило створити прилад під назвою «хвильовий зонд» (ХЗ), який є поєднанням трьох давачів у одному модулі (рис. 4): щілинного зонду Ленгмюра, індукційного магнітометра (ІМ) та електричного зонда [23]. Ця апаратура була успішно випробувана у космічному експе-



Рис. 4. Хвильовий зонд (ХЗ): зліва — захисний і випробувальний футляр, посередині — ХЗ, справа — ХЗ з футляром

рименті «Варіант» на борту українського супутника «Січ-1М», запущеного в 2004 р. [10].

Хвильовий зонд має такі основні технічні характеристики:

Частотний діапазон для всіх каналів	0.1...40 000 Гц
Динамічний діапазон	120 дБ
Рівень шуму у вимірювальних каналах на 1 кГц:	
густина електричного струму	$\leq 1 \text{ пА}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{Гц}^{-1/2}$
магнітна індукція	$\leq 0.1 \text{ пТл}\cdot\text{Гц}^{-1/2}$
електричний потенціал	$\leq 20 \text{ нВ}\cdot\text{Гц}^{-1/2}$
Коефіцієнт перетворення густини струму	$77 \text{ В}\cdot\text{мА}^{-1}\cdot\text{см}^{-2}$
Коефіцієнт перетворення магнітного поля	$100 \text{ мВ}\cdot\text{нТл}^{-1}$
Енергоспоживання	0.25 Вт
Розміри	$\varnothing 64 \times 340 \text{ мм}$
Вага	0.35 кг

Два такі прилади будуть встановлені ортогонально один до одного на платформі МС «Чібіс-М». Щоб отримати третю складову магнітного поля, ортогонально до площини, утвореної обома ХЗ, буде встановлено окремий індукційний магнітометр ІМ, який має такі самі параметри, як і магнітний канал ХЗ. Згідно зі структурою ХК дані з ХЗ та ІМ будуть оброблені ПСА, що дозволить значно стиснути обсяг телеметричних даних.

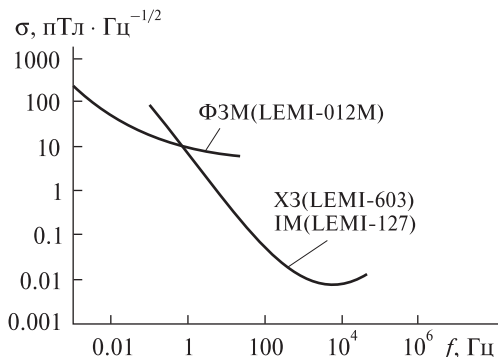


Рис. 5. Шуми σ ферозондового та індукційного магнітометрів



Рис. 6. Зовнішній вигляд програмного аналізатора сигналів

До складу ХК входить ще один прилад – ферозондовий магнітометр (ФЗМ) LEMI-012M. Це легкий, високочутливий прилад з низьким споживанням енергії, спеціально розроблений для мікро- та наносупутників. Він має такі параметри (визначені для всіх трьох аналогових виходів):

Діапазон вимірювання поля	$\pm 64\,000$ нТл
Коефіцієнт перетворення	64 ± 0.6 мкВ·нТл ⁻¹
Частотний діапазон	0...10 Гц
Рівень шуму на 1 Гц	≤ 10 пТл·Гц ^{-1/2}
Енергоспоживання	< 0.5 Вт
Розміри:	
давач	$\varnothing 40 \times 62$
блок електроніки	150×85×40 мм
Вага:	
давач	< 0.1 кг
блок електроніки	< 0.50 кг

На рис. 5 подано перекриття між частотними діапазонами і чутливістю ФЗМ та ІМ. Як видно, їхні чутливості дозволяють досліджувати

магнітні коливання в усьому діапазоні ННЧ-ДНЧ без втрати роздільної здатності.

РЕЄСТРАЦІЯ ЯВИЩ ТА РЕЖИМИ РОБОТИ ПРОГРАМНОГО АНАЛІЗАТОРА СИГНАЛІВ

Варто зазначити, що прийняте розташування давачів на МС «Чібіс-М» дає змогу проводити двокомпонентні вимірювання ГПС та векторні вимірювання магнітних складових випромінювань у ННЧ-ДНЧ-діапазонах і в постійному магнітному полі. Також буде вимірюватись і аналізуватись одна складова електричного поля з короткою базою. Основною функцією ПСА, зовнішній вигляд якого показаний на рис. 6, буде прийняття та обробка ЕМ сигналів і побудова їхніх спектрів у діапазоні 0.1 Гц...40 кГц.

У поданій нижче таблиці показані параметри вхідних сигналів, які обробляє ПСА. До того ж, ПСА запрограмований виявляти «подію» та, у випадку її виявлення, він автоматично переходить у режим швидкісної реєстрації, як це здійснювалося на борту інших супутників, таких як «Деметер» або «Компас-2».

Ми називаємо «подією» ситуацію, цікаву з точки зору наукових завдань експерименту «Чібіс-М». У випадку виявлення «події» вона записується в один з блоків пам'яті ПСА, залежно від типу явища. Хвильова форма «події» залишається у пам'яті приладу на запрограмований час, а потім передається телеметричною системою. Програмне забезпечення ПСА може працювати у кількох режимах. Зміни режимів роботи та можливість перепрограмування ПСА досягають

Вхідні сигнали, які обробляє програмний аналізатор сигналів

Давач	Кількість	Смуга частот	Частота опитування
Індукційний (B_x, B_y, B_z)	3	0.1 Гц...40 кГц	100 кГц
Електричний ДНЧ ($E = E_2 - E_1$)	1	0.1 Гц...40 кГц	100 кГц
Хвильовий (I_1, I_2)	2	0.1 Гц...40 кГц	100 кГц
Електричний ННЧ ($E = E_2 - E_1$)	1	DC-100 Гц	250 Гц
Магнітометр (BM_x, BM_y, BM_z)	3	DC-10 Гц	25 Гц

ються телекомандами згідно з визначеними завданнями.

Оскільки нахил орбіти МС «Чібіс-М» близький до нахилу орбіти Міжнародної космічної станції (МКС), з борту якої і планується запуск, ще одним важливим напрямом досліджень є організація узгоджених двоточкових спостережень. Вирішальним фактором у цих спостереженнях є близькість параметрів магнітно-хвильових давачів ХК на МС «Чібіс-М» та давачів експерименту «Обстановка. 1-й етап» на борту МКС [21]. Порівняно низький нахил орбіти МКС і МС «Чібіс-М» дає добру підставу для вивчення процесів космічної погоди на середніх та екваторіальних широтах [19], де грозова активність особливо висока. Ці ділянки також часто підлягають природним небезпекам, відображення яких в іоносфері буде досліджуватися двома згаданими космічними апаратами. Такі синхронні двоточкові спостереження становитимуть важливу складову програми передбачення й діагностики космічної погоди.

ВИСНОВКИ

Вагомість завдань проекту та дієвість методів дослідження основних параметрів блискавкових розрядів були обговорені та схвалені провідними експертами світу в цій галузі з Великобританії, Франції, Чехії та США на зустрічах робочих груп Міжнародного інституту космічної науки (Берн, Швейцарія) в межах діючих та майбутніх проектів:

- супутник «Тараніс», планований до запуску ЄКА в 2011 р. і спрямований на дослідження розрядів у системі «хмара — іоносфера»,
- проект КАРНЕС (зв'язок ділянок атмосфери з навколосезним простором).

При підготовці проекту були проведені дослідження ролі високоенергетичних електронів та космічних променів у блискавкових розрядах на високогірній науковій станції Інституту фізики РАН у Тянь-Шані. Львівський центр Інституту космічних досліджень НАНУ та НКУ (Україна) проводитиме активні експерименти з акустичного впливу на атмосферу й іоносферу під час проходження супутника «Чібіс-М» над наземною станцією з акустичним радаром.

На підставі експериментальних результатів [1, 3, 10, 24] можна також стверджувати, що розроблений ХК буде особливо ефективний для вимірювання параметрів польових та струмових структур хвиль в широкому частотному діапазоні. Результати вимірювань можуть бути ефективно використані для відновлення спектрального складу хвиль.

На борту МС «Чібіс-М» буде забезпечена висока ЕМ-чистота (ЕМЧ). Відомо, що на сучасних КА, завантажених великою кількістю радіоелектронного й електротехнічного обладнання, практично не можливо проводити ННЧ-ДНЧ-вимірювання з високою роздільною здатністю. Що більше обладнання розміщено на КА, тим вища споживана потужність КА і тим гірша ЕМЧ. Отже, ЕМ-моніторинг виявляється найефективнішим на борту МС з найменшою споживаною потужністю, такого як основна платформа МС «Чібіс-М». Згідно з технічними параметрами МС «Чібіс-М» все обладнання споживає менш ніж 50 Вт. Це створює набагато кращу ЕМЧ на борту і сприяє проведенню високочутливих хвильових вимірювань.

Основні технічні характеристики мікросупутника «Чібіс-М»

Загальна вага	40 кг
у тому числі: наукове обладнання	12.5 кг
системи обслуговування	18.2 кг
платформа та система термозабезпечення	9.3 кг
Планова орбіта	колова з висотою 480 км та нахилом, як у МКС
Система орієнтації	електромеханічна, магнітодинамічна та гравітаційна
Похибка визначення орієнтації від давачів (зірки, Сонце) та систем GPS — GLONASS	не гірше 2°
Похибка підтримки орієнтації	± (3°...15°)
Система передачі даних:	
КА — Земля	128 кбіт/с
обсяг зберігання даних на борту	50 Гбайт
обсяг передачі даних з борту	~50 Мбайт/день
частота командного та службового радіоканалів	145, 435 МГц
частота телеметричного каналу	2.2 ГГц
Максимальний рівень бортового енергоспоживання	50 Вт

Треба зазначити, що аерокосмічно-освітня програма, започаткована МС «Колібрі» [20, 22], також буде продовжена і у межах експерименту на МС «Чібіс-М».

Розробка методичних аспектів дослідження блискавкових розрядів в атмосфері була підтримана Міжнародним інститутом космічної науки (Берн, Швейцарія) в межах проекту «КАРНЕС», а розробка хвильового комплексу — Національним космічним агентством України в межах контракту 1-05/08.

1. Вайсберг О. Л., Климов С. И., Корепанов В. Е. Измерение плотности тока на ударной волне шелевым зондом Ленгмюра // Космические исследования. — 1989. — 27, № 3. — С. 623—627.
2. Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли / Под ред. М. Н. Гневышева, А. И. Оля. — М.: Наука, 1971.
3. Корепанов В. Е., Крючков Е. И., Лізунов Г. В. та ін. Експеримент «Варіант» на супутнику «Січ-1М» — перші результати // Космічна наука і технологія. — 2007. — 13, № 4. — С. 10—17.
4. Романов С. А., Климов С. И., Мироненко П. А. Пространственные параметры и дисперсионные отношения ОНЧ волн в околосредней ударной волне по результатам измерений на борту спутника «Прогноз-10» // Космические исследования. — 1990. — 28, № 6. — С. 903—918.
5. Angarov V. N., Gotlib V. M., Klimov S. I., et al. Investigation of atmospheric lightning discharges on the microsatellite «Chibis-M». AGU Chapman Conference on the Effects of Thunderstorms and Lightning in the Upper Atmosphere. Penn State University, State College, PA, USA, 10—14, May 2009. — P. 49.
6. Bering E. A., Kelley M. C., Mozer F. S. Split Langmuir probe measurements of current density and electric fields in an aurora // J. Geophys. Res. — 1973. — 78, N 13. — P. 2202—2213.
7. Bognár P., Ferencz Cs., Tarcsai Gy. Correlated changes in sunspot numbers and in corn and wheat fields. Annales Univ. Sci. Bp., R. Eötvös, Sec. Geophys. Meteor., 1995, 11, P. 191—206.
8. Chum J., Santolik O., Parrot M. Analysis of subprotospheric whistlers observed by DEMETER: A case study // J. Geophys. Res. — 2009. — 114. — A02307, doi:10.1029/2008JA013585.
9. Currie R. G. Distribution of solar cycle signal in surface air temperature over North America // J. Geophys. Res. — 1979. — 84. — P. 753—761.
10. Dudkin F., Korepanov V., Lizunov G. Experiment VARIANT — first results from Wave Probe instrument // Adv. Space Res. — 2009. — 43, N 12. — P. 1904—1909.
11. Ferencz Cs. Electromagnetic wave propagation: The analysis of the group velocity // Acta Technica Ac. Sci. H. — 1978. — 86, N 1-2. — P. 169—213.
12. Ferencz Cs. Electromagnetic wave propagation in moving media with special regard to frequency-shifts ('Anomalous' frequency shifts in astronomy) // Acta Technica Ac. Sci. H. — 1979—1980. — Part I.—89, N 3-4. — P. 451—471; 1979. — Part II. — 90, N 1-2. — P. 24—58; 1980. — Part III. — 90, N 3-4. — P. 303—319.
13. Ferencz Cs. Real solution of monochromatic wave propagation in inhomogeneous media // PRAMANA — J. Phys. — 2004. — 62. — P. 943—955.
14. Ferencz Cs. Exact solution of Maxwell's equations in inhomogeneous moving media // Abstract book: 3rd VERSIM Workshop 2008, Tihany, 15—20 Sept. 2008 / Eds J. Lichtenberger, Cs. Ferencz, P. Steinbach. — 2008.
15. Ferencz Cs., Ferencz O. E., Hamar D., Lichtenberger J. Whistler phenomena. Short impulse propagation. — Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2001.
16. Ferencz O. E., Bodnár L., Ferencz Cs., et al. Ducted whistlers propagating in higher order guided mode and recorded on board of Compass-2 satellite by the advanced Signal Analyzer and Sampler SAS2 // J. Geophys. Res. — 2009. — 114. — A03213. Doi: 10.1029/2008JA013542.
17. Hayakawa M. (Ed.). Atmospheric and ionospheric electromagnetic phenomena associated with earthquakes. — Tokyo, Terra Scientific Publishing Co., 1999.
18. Inan U. S., Platino M., Bell T. F., et al. CLUSTER measurements of rapidly moving sources of ELF/VLF chorus // J. Geophys. Res. — 2004. — 109. — Art. N A05214.
19. Klimov S. I. Researches of influence of space weather on a condition of middle latitude and near-equator ionosphere // Tenth Jubilee International Scientific Conference «Contemporary problems of solar-terrestrial influences», 20—21 November 2003, Sofia, Bulgaria. — Sofia, 2003. — P. 12—13.
20. Klimov S. I., Afanasyev Yu. V., Eismont N. A., et al. Results of in-flight operation of scientific payload on micro-satellite «Kolibri-2000» // Acta Astronautica. — 2005. — 56, N 1-2. — P. 99—106.
21. Klimov S. I., Korepanov V. Ye., Lissakov, Y. V., et al. «Obstanovka» Experiment Onboard International Space Station for Space Weather Research, Space Weather Workshop: Space Weather Applications Pilot Project, 16—18 December 2002, ESTEC, Noordwijk The Netherlands. — Proceeding, 2002.
22. Klimov S. I., Tamkovich G. M., Angarov V. N., et al. Aerospace education program realization by means of the micro-satellite // Acta Astronautica. — 2005. — 56, N 1-2. — P. 301—306.

23. *Korepanov V.* The modern trends in space electromagnetic instrumentation // *Adv. Space Res.*—2003. — **32**, N 3. — P. 401—406.
24. *Kuznetsov V. D., Ruzhin Yu. Ja., Mikhailov Yu. M., et al.* VLF experiment on the Compass 2 satellite and ground-based measurements of the seismoelectromagnetic effects on Kamchatka // 10th International Seminar «Low-frequency wave processes in space plasma» Zvenigorod, November, 12—16, 2007. — P. 6.1.
25. *Lichtenberger J., Ferencz Cs., Bodnár L., et al.* Automatic Whistler Detector and Analyzer (AWDA) system. I. Automatic Whistler Detector // *J. Geophys. Res.* — 2008. — **113**. — A12201, Doi: 10.1029/2008JA013467.
26. *Lichtenberger J., Tarcsai Gy., Pásztor Sz., et al.* Whistler doublets and hyperfine structure recorded digitally by the Signal Analyzer and Sampler on the ACTIVE satellite // *J. Geophys. Res.* — 1991. — **96**. — P. 21149—21158.
27. *Masalov A. V., Syutkina E. V.* Magnetic storms and neonatal blood pressure and heart rate chronomes // *Neuroendocrinology Lett.* — 2003. — **24**. — P. 111—116.
28. *Mitra K., Mukherji S., Dutta S. N.* Some indications of 18.6 year luni-solar and 10—11 year solar cycles in rainfall in north-west India, plains of Uttar-Pradesh and north-central India // *International J. Climatology.* — 1991. — **11**. — P. 645—652.
29. *Moullard O., Masson A., Laakso H., et al.* Density modulated whistler mode emissions observed near the plasmapause // *Geophys. Res. Lett.* — 2002. — **29** (20). — P. 1975. — doi:10.1029/2002GL015101.
30. *Parrot M., Benoist D., Berthelier J. J., et al.* The magnetic field experiment IMSC and its data processing onboard DEMETER: scientific objectives, description and first results // *Planetary and Space Sci.* — 2006. — **54**, N 5. — P. 441—455.
31. *Parrot M., Zaslavski Y.* Physical mechanisms of man made influences on the magnetosphere // *Surveys in Geophysics.* — 1996. — **17**. — P. 67—100.
32. *Pickett J. S., Santolik O., Kahler S. W., et al.* Multi-point CLUSTER observations of VLF risers, fallers and hooks at and near the plasmapause, in multiscale processes in the Earth's magnetosphere: from INTERBALL to CLUSTER // *NATO Science Book Series / Eds J-A. Sauvaud, Z. Nemecek.* — Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2004. — P. 307—328.
33. *Rodger M. A., Thomson C. J., Lichtenberger N. R., et al.* Total solar eclipse effect on VLF signals: Observations and modelling // *Radio Sci.* — 2001. — **36**. — P. 773—788.
34. *Schröder W.* Auroral frequency in the 17th and 18th centuries and the «Maunder minimum» // *J. Atmospheric and Terrestrial Phys.* — 1979. — **41**. — P. 445—446.
35. *Williams E. R.* The Schumann resonance: a global tropical thermometer // *Science.* — 1992. — **256**. — P. 1184—1187.
36. *Zelenyi L. M., Rodin V. G., Angarov V. N., et al.* Microsatellite «Chibis» — universal platform for development of methods of space monitoring of potentially dangerous and catastrophic phenomena // *Selected Proceedings of the 5th International Symposium of the International Academy of Astronautics, Berlin, April 4—8, 2005 / Eds Hans-Peter Roeser, Rainer Sandau, Arnoldo Valenzuela.* — Berlin, New York, Walter de Gruyter, 2005. — P. 443—451.

Надійшла до редакції 20.11.09

*V. Korepanov, A. Marusenkov, S. Belyayev, S. Klimov,
L. Zelenyi, D. Novikov, Cs. Ferencz, J. Lichtenberger, L. Bodnar*
WAVE EXPERIMENT ONBOARD
THE MICROSATELLITE «CHIBIS-M»

One of the recent challenges of space physics is the study of processes taking place during lightning discharges. A dedicated microsatellite named *Chibis-M* («lapwing» in English) is under preparation for launch in 2010. It contains two space instrumentation units, namely, «Thunderstorm» and «Wave Package». A special efficiency of this project is expected because not only direct observations of lightnings, but also the synchronized study of wave processes caused by lightnings will be carried out both onboard the satellite and at ground support stations. This will give unprecedented opportunity for monitoring the development of the lightning mechanism from the lightning generation till relaxation in the form of electromagnetic waves. Measurements of electric and magnetic fields and electric current density will be performed within the framework of the wave experiment onboard *Chibis-M*. Special attention focusses on the ULF — VLF frequency range. The waves of this range play the major role in the interactions of the «magnetosphere — ionosphere — atmosphere — lithosphere» system and their study is essential for the understanding of these interactions. The project scientific goals and Wave Package onboard instrumentation are described.