

УДК 550.38

С. І. Клімов¹, В. Є. Корепанов²

¹Інститут космічних досліджень Російської академії наук, Москва, Росія

²Львівський центр Інституту космічних досліджень Національної академії наук України
і Національного космічного агентства України

Експеримент на борту міжнародної космічної станції «Обстановка»

Надійшла до редакції 01.12.03

Проблеми, пов'язані із взаємодією такого надвеликого тіла, як Міжнародна космічна станція (МКС) з навколишньою плазмою, особливо якщо прийняти до уваги специфіку структури системи енергозабезпечення та захисного покриття станції, мають першорядне значення як для технологічних, так і для наукових експериментів на борту МКС. Саме тому на найближче майбутнє заплановано російсько-український експеримент «Обстановка» з міжнародною участю на борту російського сегменту МКС, який має на меті вивчення електромагнітного стану навколишнього середовища МКС. Деталі цього експерименту подаються нижче.

ВСТУП

Міжнародна космічна станція, яка створювалася зусиллями багатьох країн, є відповідною платформою для низки технологічних та наукових експериментів: мікрогравітація, біологія, матеріалознавство, моніторинг космічної погоди тощо. Для належного опрацювання результатів кожного експерименту надзвичайно важливо знати стан навколишнього середовища МКС.

По-перше, потужна система енергозабезпечення МКС викликає зміни її поверхневого потенціалу. А беручи до уваги те, що станція виготовлена з різних матеріалів в різних країнах світу з різними технологіями виробництва та поверхневого анодування, неможливо розрахувати чи передбачити ці зміни та характер концентрації електричного потенціалу вздовж її корпусу.

По-друге, таке надвелике тіло, як МКС, сильно збурює навколишню іоносферну плазму, і можна сподіватися на виникнення деяких нових ефектів у взаємодії МКС-плазма.

Отже, необхідність скоординованого експерименту на борту МКС з метою вивчення розподілу поверхневого потенціалу та електромагнітних умов біля її поверхні є очевидною. Це — головна мета експерименту «Обстановка» на борту російського сегмента МКС.

Заплановано виконати експеримент «Обстановка» в три етапи. У зв'язку з нагальною потребою в даних цього експерименту, спочатку буде проведений експеримент «Обстановка-1». Для його прискорення передбачається неавтономний режим роботи системи збору даних, коли сигнали від давача будуть передаватися через кабель всередину МКС і накопичуватися там (обговорення завдань цього етапу — головна мета даної роботи).

Під час другого етапу — «Обстановка-2» — заплановано головним чином повторити той самий склад наукового обладнання, доповнений внутрішнім блоком збору даних та блоком обробки з телеметричною системою близької дії й незалежним електроживленням (сонячні батареї), що дозволить працювати в автономному режимі. Такий автономний космічний буй або система буїв будуть встановлені космонавтами у визначених місцях, щоб контролювати електромагнітний стан у багатьох точках МКС. Інформація за допомогою телеметричної системи буде передаватися на борт, аналізуватися космонавтом і/або передаватися на Землю. Однією з подальших розробок на цьому етапі є використання штанги, яка поступово розгортатиметься, або вантажного крану МКС: буй, встановлений на його вершині, буде здатним зробити «зріз» електромагнітних умов у близькому оточенні МКС.

Третій етап — ТРАБАНТ — це технологічні експерименти з тим самим бумом, що використовувався на другому етапі, але прив'язаним довгою попередньо напруженою стрічкою на відстані до 1 км або вільно плаваючим у космосі поблизу МКС. Головною метою цього етапу буде подальший «переріз» оточення стації для знаходження відстані, безпечної від впливу МКС на чутливу наукову апаратуру.

Дуже важливим для всіх перелічених етапів є забезпечення вимірювань сигналів низьких рівнів, що сприятиме розвитку актуальних напрямів наукових досліджень, зокрема ідентифікації іоносферних провісників сейсмічних катаклізмів (землетрусів, вивержень вулканів) і моніторингу космічної погоди.

ОБГРУНТУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Динамічні процеси в магнітосфері та іоносфері викликають цілий ряд електромагнітних (ЕМ) явищ. Здійснення їхнього моніторингу на борту МКС вимагає розробки і методики спостережень, і відповідного експериментального обладнання. Методика електричних і магнітних вимірювань в космосі була розроблена на ранніх етапах космічних досліджень, із внеском авторів даної роботи в тому числі [3]. Але деякі теоретичні питання, пов'язані з взаємодією надвеликого тіла з космічною плазмою, впливом зарядів і шумів, які виникають в активних експериментах, досі залишаються об'єктом досліджень.

Природна емісія плазми стала об'єктом уваги вже під час перших спостережень з борту космічної станції. Під впливом космічного випромінювання у плазмі іоносфери відбуваються процеси, які характеризуються цілим набором емісій: свистовими, черенковськими, електронно-циклотронними, ленгмюрівськими, Бернштайна, верхньогібридними та широкосмуговою хвильовою активністю. З іншого боку, іоносфера Землі зазнає впливу «знизу» — як природного, так і антропогенного. В цілому ЕМ-випромінювання в найближчому оточенні Землі є суперпозицією природних ефектів та промислових завад. З борту низькоорбітальних супутників були виявлені ЕМ-емісії, спричинені ураганами, землетрусами та виверженнями вулканів. Зареєстровано також цілий комплекс явищ, пов'язаних з людською активністю: взаємодія хвиля—частка, прискорення та висипання електронів радіаційного поясу, параметричне з'єднання електромагнітних вістлерних хвиль, зсув частоти ЕМ-хвиль і розширення їхнього спектру.

Помічено, що на рівень радіошумів, виявлених з борту супутника, сильно впливають як фізичні властивості навколишнього середовища супутника, так і шуми, створювані бортовою системою. Більшість таких збурень спостерігалася на низьких частотах, і тільки деякі були пов'язані з високочастотними ЕМ-емісіями.

Були проведені наземні експерименти з нагрівання іоносфери потужними ЕМ-хвилями. Синхронне спостереження високочастотних хвиль на борту супутника «Коронас-1» над нагрівальним пристроєм «Сура» показало посилення фонові радіації разом з появою випромінювання на третій і п'ятій електронних циклотронних гармоніках [9]. Подальші експерименти з високочастотним опроміненням іоносфери в нічній авроральній ділянці показали ініціювання місцевої активації аврори. Спостереження за високочастотними випромінюваннями в іоносфері з борту низькоорбітальних супутників «Інтеркосмос-19»; «Космос-1809», «Активний» і «Апекс» показали значне зростання інтенсивності випромінювань над деякими географічними зонами. Останні дослідження показали також, що принаймні частина джерел аномальних УНЧ-ННЧ-ДНЧ-явищ може бути зарахована до сейсмічної активності [7]. Цікаве посилення інтенсивності спостерігалось навіть у частотному діапазоні нижче критичної частоти f_oF2 , переважно в локальній нічній час [9]. Оскільки таке зростання спостерігалось переважно над густонаселеними регіонами Європи та Азії, воно було пов'язане з антропогенною активністю. Ці спостереження були також зроблені на супутнику «Коронас-1». Одночасно з реєстрацією випромінювання в діапазоні 0.1—30 мГц, були помічені потоки електронів і протонів високих енергій [9, 12, 13]. Експеримент на борту супутника «Ореол-3» дозволив створити карту випромінювань електричних і магнітних полів і дослідити вплив людської діяльності на природні хвилі [11]. ЕМ-хвилі системи радіомовлення, що постійно проникають в іоносферу, також можуть збурювати найближче космічне оточення: в зенітній ділянці іоносфери спостерігається місцева ленгмюрівська або іонно-акустична турбулентність. Отже, виглядає, що помічене зростання фонові радіації у високочастотному діапазоні викликається як природними змінами в геомагнітній системі, так і людською діяльністю.

Основним напрямом геофізичних досліджень як частини дослідження космічної погоди є вивчення взаємозв'язку плазмових і ЕМ явищ у сонячному вітрі і магнітосфері з геомагнітними збуреннями, реєстрованими з космічної станції, орбіта якої знаходиться на висоті нижньої іоносфери. Особлива

увага при цьому надається питанням розподілу й розвитку низькочастотних магнітних збурень. ННЧ-ДНЧ-сигнали, які спостерігалися раніше [10], викликалися природними й штучними джерелами, завдання ідентифікації яких ще досі не розв'язане. Визначення напрямку розповсюдження сигналів дозволить отримати його розв'язок і визначити відношення між вектором Умова — Пойнтинга, нормаллю до хвилі і реальним напрямом розповсюдження енергії хвилі [5, 6].

Процес розширення авроральної іоносфери під час суббури був досліджений на основі даних, отриманих за допомогою експерименту «Спрут-VI» на борту орбітальної станції «Мир» [1, 2]. Спільні вимірювання з АСЕ в сонячному вітрі і з «Інтербол-1» в різноманітних місцях у магнітосфері дозволили описати розвиток магнітної суббури. Прилади станції зареєстрували періодичне сильне збільшення магнітної активності і потоків енергійних електронів, особливо на найвищих широтах, які перетинала орбіта станції «Мир». Такі випадки, залежно від часу і геомагнітних координат, відповідають зниженням низькоширотної границі аврори до діапазону широт орбіти станції «Мир» під час суббури.

Дані зі станції «Мир» дали можливість вивчати особливості магнітних суббур у найближчому ото-

ченні Землі. Ми впевнені, що і МКС може бути використана для прямого моніторингу ефектів космічної погоди на висоті іоносфери, особливо під час порівняно сильних збурень [4].

Зараз реалізується перший етап проекту «Обстановка» з часом запуску на початку 2005 р. Основна стратегія розгортання космічних буїв, з'єднаних кабелем з приладом всередині МКС, який накопичує та опрацьовує дані, показана на рис. 1. Встановлюватимуть та розгортатимуть конструкцію на зовнішній поверхні космонавти.

Нижче викладено мету експерименту та подано опис дослідницького апарату.

МЕТА ЕКСПЕРИМЕНТУ

Розвиток динамічних процесів в іоносферній плазмі Землі під впливом космічного випромінювання може призвести до появи небезпечних електромагнітних явищ, які можна спостерігати і на низьких орбітах, і на поверхні Землі. Для прикладу, надзвичайно велика зміна магнітосферної структури в 1972 р. була результатом її взаємодії з катастрофічно прискореним потоком плазми від Сонця. Це призвело до пошкодження частини ліній електропередач і трубопроводів у Канаді й США. Коро-

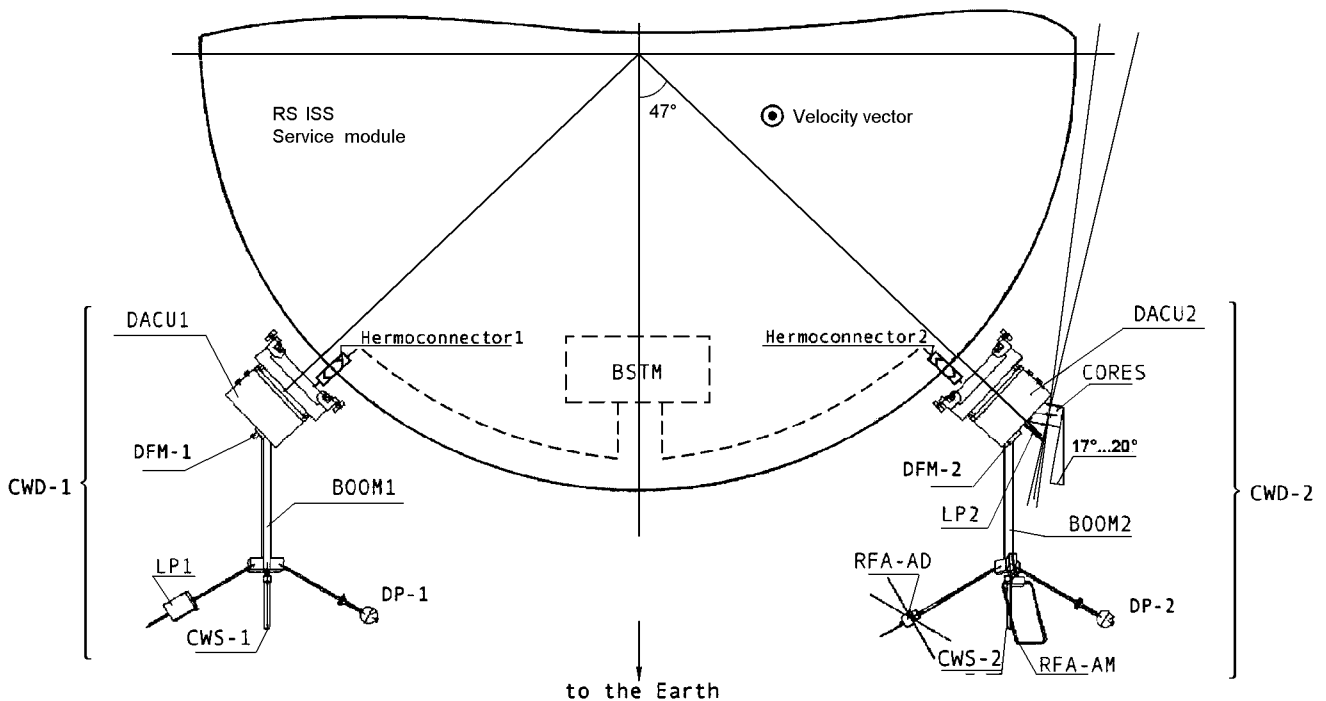


Рис. 1. Розташування блоків експерименту «Обстановка-1» на борту РС МКС

нарі виверження плазми з Сонця 6—11 січня 1997 р. та 27—29 жовтня 2003 р., напевне, спричинили пошкодження апаратури деяких телекомунікаційних супутників. Показано також, що явища на поверхні Землі (наприклад, землетруси, тайфуни і т. д.) можуть бути пов'язані з сонячною активністю, яка супроводжується структурними змінами просторових магнітних полів [8]. До цього часу недостатньо досліджений відомий факт впливу сонячної активності і магнітних бур на людський організм (частоти до кількох герц).

З іншого боку, деякі природні явища в атмосфері Землі можуть викликати помітні ефекти в іоносфері. Класичним прикладом земної радіації, зареєстрованої ШСЗ, є іоносферні вистлери, генеровані грозовою активністю. Індустріалізація суспільства пов'язана зі споживанням значної кількості енергії, передусім електромагнітної, що постійно збільшується. До цього часу недостатньо уваги приділялось ідентифікації межі впливу терагенної ЕМ-радіації на хвильові процеси у навколосемному просторі, а також на висипання заряджених частинок з радіаційних поясів.

Запуск дуже великих космічних об'єктів — орбітальних станцій «Мир» і МКС — може також бути важливим фактором антропогенного впливу на навколишнє середовище [2]. Таким чином, довготривалий глобальний екологічний моніторинг ЕМ-радіації в діапазоні від постійного поля до кількох десятків мегагерц є актуальною необхідністю сьогодення (на вищих частотах, які використовуються телекомунікаційними мережами, система контролю рівня радіації вже працює). Проведення такого моніторингу на борту ШСЗ дозволить спостерігати практично за усіма регіонами Землі. При цьому дуже важливо, щоб отримана інформація якнайшвидше передавалась на потужні наземні комп'ютери і ставала доступною для широкої наукової громадськості.

Виходячи з усього сказаного, визначені такі основні цілі експерименту «Обстановка-1»:

- вивчення плазмово-хвильових процесів, які виникають при взаємодії дуже великих космічних станцій з іоносферою;
- моніторинг потенціалу поверхні МКС;
- удосконалення методу комбінованої хвильової діагностики плазмових процесів у іоносфері з борта великих і довговічних космічних станцій;
- ідентифікація джерел збудження плазмових потоків і ЕМ-полів у приповерхневій зоні МКС;
- дослідження плазмово-хвильових процесів, пов'язаних з взаємодією між сонячним вітром, магнітосферою, іоносферою, атмосферою та літосферою;

- екологічний моніторинг низькочастотної ЕМ-радіації антропогенного характеру та пов'язаної з глобальними катастрофами;
- вивчення рівня збудження плазми навколишнього середовища та ЕМ-полів та механізму розповсюдження штучних ЕМ-хвиль від інжекції електронних і плазмових пучків з борта МКС;
- вивчення масових характеристик важких іонів (NO^+ і O_2^+) в приповерхневій зоні МКС на підставі отриманих даних ДНЧ-шуму і концентрації плазми;
- моніторинг космічної погоди в екваторіальній, середньо-широтній і субавроральній іоносферах.

Для досягнення цих цілей був складений відповідний комплекс наукової апаратури для вимірювання наступних параметрів на висоті орбіти МКС:

- параметри термальної плазми;
- температура електронів та іонів (T_e , T_i);
- густина електронів та іонів (N_e , N_i);
- спектр електронів з енергією в діапазоні 0.01—10 кеВ;
- постійні електричні та магнітні поля та струми;
- змінні електричні та магнітні поля та струми;
- поточний потенціал МКС;
- спектр ДНЧ ЕМ-флуктуацій.

Наукові прилади експерименту «Обстановка»

Прилади	Відповідальні виконавці
Комбіновані хвильові зонди CWS-1, CWS-2	ЛЦ ІКД, Україна
Ферозондовий магнітометр DFM-1	ІКД РАН, Росія
Ферозондовий магнітометр DFM-2	ЛЦ ІКД, Україна
Щілинні зонди Ленгмюра LP-1, LP-2	ЛСЗВ, Болгарія
Монітори потенціалу поверхні DP-1, DP-2	ІКД БАН, Болгарія
Кореляційний електронний спектрограф (10 еВ — 10 кеВ) CORES	Сассекський університет, Великобританія
Радіочастотний аналізатор RFA	ІКД Уппсала, Швеція, ЦКД ПАН, Польща
Аналізатор УНЧ-сигналів SAS3	Університет Етвоша, Угорщина
Блок збору даних та управління DACU	ІФД, Угорщина, Шеффільдський університет, Великобританія
Блок нагромадження телеметричної інформації BSTM (всередині МКС)	ІФД, Угорщина, Шеффільдський університет, Великобританія
Апаратура наземної підтримки GSE	ІФД, Угорщина, ЦКД ПАН, Польща

З урахуванням викладеного вище і був створений плазмовий хвильовий комплекс (ПХК), основні параметри якого описані в наступному розділі.

ПЛАЗМОВИЙ ХВИЛЬОВИЙ КОМПЛЕКС

Вимоги до плазмового хвильового комплексу (ПХК) склалися на підставі сформульованих завдань експерименту, обговорених у попередніх розділах. Розробка ПХК виконана з урахуванням вимог до структури і технології підготовки космічного експерименту. Бралися до уваги компактність обладнання, модульність і ЕМ-сумісність усіх бортових систем і наукового обладнання. У підготовці експерименту та виготовленні відповідних вимірювальних та службових систем взяв участь міжнародний науковий колектив. Його склад та внесок учасників подані в таблиці.

Всі наукові прилади розподілено між двома блоками — космічними буями CWD-1 і CWD-2, які будуть встановлені на зовнішній поверхні службового модуля російського сегмента МКС, орієнтований в бік Землі (рис. 1). Блок BSTM, що здійснюватиме збір даних на жорсткі диски великого обсягу, буде встановлений всередині МКС. Він з'єднуватиметься з буями CWD-1 і CWD-2 через гермоз'єднувач МКС за допомогою кабелю.

Всі прилади ПХК розроблені й сконструйовані в межах міжнародної співпраці під науковим і технічним керівництвом Інституту космічних досліджень (ІКД) Російської академії наук. В 2002 р. експеримент «Обстановка» був узгоджений Українським і Російським космічними агентствами як російсько-український експеримент з міжнародною участю на борту російського сегмента МКС. Кооперація, відображена в таблиці, дозволяє не тільки зменшити вартість обладнання для кожної зі сторін, але й підняти науковий і технологічний рівень усього експерименту.

Функціональна схема експерименту «Обстановка» подана на рис. 2. Прилади, перелічені в таблиці, розміщені у двох космічних буях CWD-1 і CWD-2, як показано на функціональній схемі. Кожен буй функціонує незалежно, з одним винятком: вихідний сигнал електричного каналу приладу CWS-2 через кабель і гермоз'єднувач подається на другий вхід блоку SAS3, а на його перший вхід подається вихід електричного каналу приладу CWS-1, в результаті чого блок SAS3 формує різницю потенціалів між приладами CWS-1 та CWS-2, що при відомій відстані між ними дозволяє обчислити напруженість електричного поля.

Відстань між буями CWD-1 і CWD-2 дорівнює 5 м (рис. 1). Крім забезпечення зручних умов для вимірювання напруженості електричного поля, це

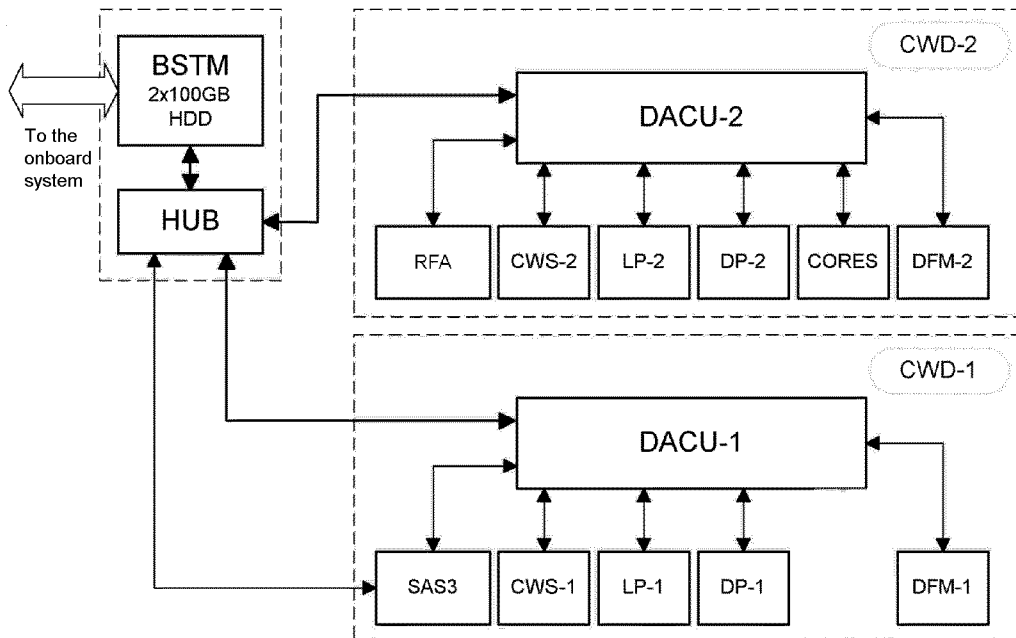


Рис. 2. Функціональна схема плазмово-хвильового комплексу наукової апаратури експерименту «Обстановка-1»

дозволить проводити одночасні координовані вимірювання концентрації та температури заряджених частинок (LP-1 та LP-2), потенціалу поверхні (OP-1 та OP-2) та постійного магнітного поля (DFM-1 та DFM-2), що також підвищить надійність роботи ПХК.

Все наукове обладнання, що буде використовуватись в експерименті «Обстановка», — це нові модифікації приладів, які вже раніше застосовувалися для плазмово-хвильових вимірювань. Подібні прилади використовувались учасниками цього експерименту в інших космічних експериментах, і принципово нових розробок проводити не потрібно, що дозволяє знизити ціну проекту.

Прилади обох космічних буїв CWD-1 і CWD-2 сконструйовано для безперервної роботи на борту МКС. Оскільки джерело живлення береться з МКС, серйозних обмежень у споживанні енергії немає. Всі прилади мають принаймні два операційні режими: «моніторинг» і «подія», які відрізняються розміром файлу даних, що передається на бортовий комп'ютер МКС. Змінні жорсткі диски з пам'яттю 100 ГБ для збору й зберігання даних будуть на борту приблизно 180 днів, тобто кожен півроку жорсткий диск буде змінюватися й відправлятися на Землю найближчою експедицією. Крім того, передбачено періодичну передачу інформації через телеметричний канал МКС.

Ця робота була підтримана контрактом НКАУ 1-02/03 і проектною угодою УНТЦ NN38.

1. Григорян О. Р., Климов С. И., Клос З. и др. Прибор для экологического мониторинга на ОК «Мир» // Инженерная экология.—1997.—N 2.—P. 44—50.
2. Григорян О. Р., Климов С. И., Кузнецов С. Н. и др. Антропогенный фактор електромагнитного загрязнения ближнего космоса // Инженерная экология.—1996.—N 4.—P. 24—41.
3. Сопрунок П. М., Климов С. И., Корепанов В. Е. Электрические поля в космической плазме. — Киев: Наук. думка, 1994.—190 с.
4. Bering E. A., Koontz S. L., Evans D. S., et al. Calibrating and deriving physical parameters using plasma contactor data from

the international space station // Adv. Space Res.—2003.—32, N 11.—P. 2335—2341.

5. Ferencz Cs. A geometric resolution of the contradiction between the propagation of electromagnetic plane wave in moving dielectrics and the Einsteinian addition of velocities // Acta Technica Ac. Sci. H.—1977.—84, N 1-2.—P. 147—151.
6. Ferencz Cs. Electromagnetic wave propagation in inhomogeneous media: The analysis of the group velocity // Acta Technica Ac. Sci. H.—1978.—86, N 1-2.—P. 169—213.
7. Ferencz Cs., Ferencz O. E., Hamar D., Lichtenberger J. Whistler phenomena; Short impulse propagation. — Dordrecht: Kluwer, 2001.—260 p.
8. Georgieva K., Kirov B., Atanasov D. On the relation between solar activity and seismicity on different time-scales // J. Atmospheric Electricity.—2002.—22, N 3.—P. 291—300.
9. Klos Z., Kiraga A., Pulinetz S. A. Broad-band hectometric emission in the topside ionosphere created by ground-based transmitters // Adv. Space Res.—1990.—10.—P. 177—180.
10. Lichtenberger J., Tarcsai Gy, Pasztor 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.
11. Parrot M. World map of ELF/VLF emissions as observed by low-orbiting satellite // Ann. Geophys.—1990.—8.—P. 135—146.
12. Rothkaehl H., Klos Z. Broadband HF emissions as an indicator of global changes within the ionosphere // Adv. Space Res.—2003.—31, N 5.—P. 1371—1376.
13. Rothkaehl H., Klos Z., Zbyszycski Z., et al. The global distribution of RF emission in the topside ionosphere and high energy particle precipitation // J. Tech. Phys.—1999.—40.—P. 313—316.

THE “OBSTANOVKA” EXPERIMENT ABOARD THE INTERNATIONAL SPACE STATION

S. I. Klimov, V. Ye. Korepanov

The problems concerning the interaction of such super-large body as the International Space Station (ISS) with space plasma are of the top-priority importance for both technological and scientific experiments aboard the ISS. They are especially essential when some ISS peculiarities, namely, power supply system construction and surface coating structure are taken into account. That is why the Russian-Ukrainian experiment “Obstanovka” (“Environment” in English) with international participation is planned for the nearest future to be carried out aboard the Russian segment of the ISS. The main goal of the experiment is to study the ISS electromagnetic environment state. The experiment details are presented.