

НАЦІОНАЛЬНЕ
КОСМІЧНЕ АГЕНТСТВО
УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНА
АКАДЕМІЯ НАУК
УКРАЇНИ

КОСМІЧНА НАУКА І ТЕХНОЛОГІЯ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

Журнал засновано в лютому 1995 р. ♦ Виходить 6 разів за рік

київ

Том 14, № 1, 2008

KYIV

ЗМІСТ

Алексєєв Ю. С., Баулін С. О., Конюхов С. М., Федоров О. П., Яцків Я. С. Концептуальні підходи до розробки Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2008—2012 роки

УГОДА МІЖ УРЯДОМ УКРАЇНИ ТА ЄВРОПЕЙСЬКИМ КОСМІЧНИМ АГЕНТСТВОМ ШОДО СПІВРОБІТНИЦТВА У ВИКОРИСТАННІ КОСМІЧНОГО ПРОСТОРУ В МИРНИХ ЦІЛЯХ

Ємець В. В. Області доцільного застосування ракет-носій із спалювими поліетиленовими баками

Горностаев Г. Ф. Стендовые испытания теплозащиты при лучистом нагреве

CONTENTS

- | | |
|----|--|
| 3 | Alekseev Yu. S., Baulin S. O., Konyukhov S. M., Fedorov O. P., Yatskiv Ya. S. Conceptual approaches to the elaboration of State target scientific-technical space program of Ukraine for 2008—2012 |
| 10 | AGREEMENT BETWEEN THE GOVERNMENT OF UKRAINE AND THE EUROPEAN SPACE AGENCY CONCERNING SPACE COOPERATION FOR PEACEFUL PURPOSES |
| 17 | Yemets V. V. Most effective areas for launch vehicles with combustible polyethylene tanks |
| 25 | Gornostaeve G. F. Bench tests of heat-shielding at radiant heating |

<i>Даник Ю. Г.</i> Безпілотні літальні апарати: означення, класифікація, стан та перспективи розвитку і використання	30	<i>Danyk Yu. H.</i> Unmanned aerial vehicles: Definition, classification, state and prospects for using
<i>Дзюбанов Д. А., Ляшенко М. В., Черногор Л. Ф.</i> Исследование и моделирование вариаций параметров ионосферной плазмы в период минимума 23-го цикла солнечной активности	44	<i>Dzyubanov D. A., Lyashenko M. V., Chernogor L. F.</i> Investigation and modeling of ionospheric plasma parameter variations during minimum period of the 23-th solar activity cycle
<i>Ляшенко М. В., Черногор Л. Ф.</i> Атмосферно-ионосферные эффекты частного солнечного затмения 3 октября 2005 г. в Харькове. 2. Результаты расчетов и обсуждение	57	<i>Lyashenko M. V., Chernogor L. F.</i> Tropospheric-ionospheric effects of the 3 October 2005 partial solar eclipse in Kharkiv. 2. Modeling and discussion
<i>Пазура С. А., Таран В. И., Черногор Л. Ф.</i> Особенности ионосферной бури 4—6 апреля 2006 г.	65	<i>Pazura S. A., Taran V. I., Chernogor L. F.</i> Features of the ionosphere storm on 4—6 April 2006
<i>Черемных О. К., Сидоренко В. И., Яценко В. А.</i> Нелинейные динамико-информационные модели магнитосфера для прогнозирования космической погоды	77	<i>Cheremnykh O., Sidorenko V. I., Yatsenko V.</i> Nonlinear dynamical-information magnetosphere models for space weather forecasting
<i>Писанко А. Г.</i> Устройство сбора информации	85	<i>Pisanko A. G.</i> The device for collecting data
<i>Яков Соломонович Шифрин</i> (к 88-летию со дня рождения)	88	88th birthday of Academician Ya. S. Shifrin
НАШІ АВТОРИ	92	OUR AUTHORS
НОВА КНИГА	94	NEW BOOK
НОВИНИ КОСМІЧНИХ АГЕНТСТВ СВІТУ	98	NEWS FROM SPACE AGENCIES

Ю. С. Алексєєв¹, С. О. Баулін¹, С. М. Конюхов²,
О. П. Федоров¹, Я. С. Яцків³

¹Національне космічне агентство України, Київ

²Державне конструкторське бюро «Південне», Дніпропетровськ

³Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України, Київ

Концептуальні підходи до розробки Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2008—2012 роки

Космічна програма України є одним з основних документів, згідно з яким здійснюється космічна діяльність та організуються космічні дослідження в Україні. Загальнодержавна цільова науково-технічна космічна програма України затверджується Верховною Радою України як Закон України терміном на 5 років. Проект четвертої космічної програми України на 2008—2012 рр. внесено на обговорення Верховної Ради. Концепцію цієї програми (www.nkau.gov.ua) затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України, а текст проекту програми схвалено на засіданні Кабінету Міністрів. Вони базуються на аналітичних матеріалах та проектах програмних документів, напрацьованих відповідною робочою групою.

У статті, яка пропонується читачам, наводиться варіант концепції, напрацьований зазначеною робочою групою. Деякі відмінності цього документа (смислові, структурні, фінансові) від документа, затвердженого Кабінетом Міністрів, відображають той шлях узгоджень, який проходила концепція програми у процесі її обговорення.

Загальнодержавна цільова науково-технічна космічна програма України (ЗКПУ, Програма) на 2008—2012 роки базується на положеннях Закону України «Про космічну діяльність», інших законодавчих та нормативних актах, а

також міжнародних угодах, що визначають космічну діяльність України.

Зокрема, Програма враховує такі вихідні положення:

- космічна діяльність є одним із пріоритетів держави, що визначається потребами стального розвитку, розвитку науково-технічного потенціалу держави, забезпечення довгострокових інтересів у сферах безпеки та оборони;
- ракетно-космічний потенціал України є національним надбанням; державна політика у космічній сфері спрямована на його розвиток, модернізацію та ефективне використання;
- космічні системи є однією із складових державного суверенітету внаслідок можливості розгортання супутниковых систем спостереження, навігації та телекомуникацій;
- цілі і завдання космічної діяльності підпорядковані загальнодержавним цілям реформування та розвитку національної економіки, забезпечення високотехнологічного розвитку промисловості;
- космічна діяльність України є складовою частиною міжнародних зусиль із дослідження та використання космічного простору.

1. ЗАГАЛЬНА ПРОБЛЕМАТИКА, НА РОЗВ'ЯЗАННЯ ЯКОЇ СПРЯМОВАНА КОСМІЧНА ПРОГРАМА

Космічна діяльність будь-якої країни у сучасному світі значною мірою визначає її майбутнє. В умовах глобалізації та взаємозалежності країн світу визначальну роль відіграють фактори, які забезпечують конкурентоспроможність країни, створення її ефективного виробничого і соціального потенціалу. Вирішення проблем безпеки, природокористування, попередження стихійних і техногенних катастроф обумовлюють необхідність для розвиненої держави використовувати космічні засоби та інформацію. Більше того, розвиток високих космічних технологій, як фактор інтенсифікації розвитку внутрішніх джерел прогресу, постає однією з умов існування суверенної держави в сучасному світі.

Логіка розвитку світової космонавтики та рівень власного космічного потенціалу обумовлюють необхідність розробки якісно нової моделі здійснення космічної діяльності України. Така модель вимагає впровадження комплексу взаємопов'язаних інноваційних рішень для використання космічного потенціалу в інтересах держави і міжнародного співробітництва. При цьому ключовим завданням є взаємне узгодження питань різного характеру та рівня, які обумовлені багатофункціональністю космічної діяльності. Зокрема йдеться про системні рішення щодо підтримки експортного потенціалу українських ракет-носіїв, космічних апаратів, бортових систем та приладів, розробки і впровадження новітніх технологій, забезпечення необхідного рівня космічних досліджень, структурних перетворень на підприємствах тощо.

Розробка ефективної схеми взаємоузгоджених заходів («дорожньої карти») розвитку космонавтики є проблемою кожної космічної держави. Водночас специфіка космічної діяльності України полягає у значній диспропорції між рівнем розвитку космічної науки та технологій і ефективністю їхнього використання. Насьогодні не-прийнятним є лише демонстраційний рівень космічних проектів — їхня ефективність має вимірюватись характеристиками кінцевого продукту. Тому нова модель космічної діяльності повинна передбачати нагальне підпорядкування завдань космічних проектів цілям економічного, наукового та соціального розвитку країни.

2. НЕОБХІДНІСТЬ РОЗРОБЛЕННЯ І ВИКОНАННЯ ЗАГАЛЬНОДЕРЖАВНОЇ КОСМІЧНОЇ ПРОГРАМИ

2.1. Одним із загальновизнаних викликів ХХІ століття є забезпечення сталого розвитку, зокрема вирішення проблем забруднення навколошнього середовища, зменшення природних ресурсів та біорізноманіття, ліквідація стихійних лих та наслідків антропогенних катастроф тощо. Наразі міжнародною спільнотою розпочато створення постійно діючих космічних систем для глобального моніторингу навколошнього середовища і навколоземного космічного простору, прогнозу, контролю й оцінки надзвичайних ситуацій. Більше 50 країн світу приєдналися до 10-літнього плану створення Глобальної системи систем спостереження за Землею (GEOSS, 2005 р.). Європейські країни розпочали створення Глобальної системи спостереження в інтересах безпеки та збереження довкілля (GMES, 2003 р.), цивільної глобальної навігаційної супутникової системи GALILEO. Космічні дослідження природних ресурсів з метою підвищення ефективності промислово-сировинного комплексу, сільського господарства, транспорту, енергетики, лісового і водного господарства набули практичної значущості.

Тому на початку ХХІ століття у світі відбулося формування нових підходів до космічної діяльності, що призвело до змін у виконанні національних космічних програм, структури космічної індустрії, а також умов міжнародного співробітництва. Принциповими моментами є потреба комерціалізації космічної діяльності (космічні телекомунікації, дистанційне зондування Землі, космічна навігація), впровадження нових системних та технічних рішень (мініатюризація апаратури, використання мікро-, та наносупутників), інтеграція різних за призначенням проектів (концепція «подвійного використання»).

Космонавтика була та залишається постачальником нових знань. Це, зокрема, проявляється у послідовних пошуках ознак життя на інших небесних тілах, дослідженнями закономірностей походження Всесвіту. Нові ініціативи (програма США з освоєння космічного простору EXPLO-RATION, європейська програма AURORA) передбачають до 2020 року реалізацію масштабних скординованих космічних місій до планет Со-

нячної системи, включаючи політ людини на Марс, заснування дослідницької бази на Місяці, постійні спостереження об'єктів далекого космосу.

Водночас світовий ринок космічних послуг дає можливість провадити прибутковий бізнес. Космічні телекомунікації стали першим застосуванням космічних технологій, яке в значній мірі комерціалізоване. Ємність світового ринку супутників у найближчі 10 років складатиме 25–30 мільярдів доларів. Обсяг послуг з їхнього запуску оцінюється у 20–22 мільярди доларів. Поряд з цим космічні технології, які акумулюють найвищі науково-технічні досягнення, визнані найпотужнішою рушійною силою виробництва високотехнологічної продукції в інших галузях.

Зазначені фактори є свідченням того, що космічна діяльність набула нової якості. Відбувся перехід від демонстраційного етапу до цілеспрямованого використання ресурсів космосу. Космічна індустрія функціонує за законами реальної економіки, а критерії її ефективності визначаються соціально-економічними та науково-технічними результатами. Тому космічна політика розвинених держав наразі сформувалась як один із пріоритетів державної політики. «Білу книгу» європейської космічної політики було затверджено Європарламентом у 2004 році, США розпочали реалізацію нової космічної ініціативи EXPLORATION у 2005 році, Росія, Японія, Китай, інші космічні держави затвердили нові амбіційні космічні програми.

2.2. Загальні тенденції розвитку космічної діяльності у світі вимагають від України активного пошуку свого місця на космічних ринках та в міжнародному розподілі праці. Україна об'єктивно належить до космічних держав світу не тільки за формальними характеристиками космічного потенціалу, а й за доведеною спроможністю практично реалізувати сучасні космічні проекти, прикладом яких є унікальний міжнародний проект «Морський старт». Після відмови від ядерних озброєнь космічні технології залишились одними з небагатьох, які визначають стратегічну вагу держави, наявність засобів стримування. Доступ в космос об'єктивно підвищує значущість України у відносинах із стратегічними партнерами, процесах інтеграції у європейські структури. Космічна діяльність України може стати інструментом активної регіо-

нальної політики, зокрема з країнами Балтійсько-Чорноморського регіону.

2.3. Зазначені обставини вимагають не тільки їхнього врахування при формуванні національної космічної політики. Центральною проблемою є гармонізація зовнішніх чинників і нагальних потреб розвитку власної економіки, науки, питань безпеки і оборони, а також соціальних очікувань. Тобто, вихідні дані для подальшого розвитку космонавтики лежать у площині забезпечення сталого розвитку країни. Водночас існуючі та розроблювані космічні засоби і технології можуть визначати перспективні шляхи узбереження, підготовки управлінських рішень, заходів з оптимізації природокористування, розвитку фундаментальних досліджень тощо. Реалізація відповідних зв'язків є необхідною умовою формування зasad ефективної космічної діяльності.

2.4. Вирішення зазначених проблем можливе виключно у межах цільової космічної програми, яка має статус загальнодержавної. Базисом такої програми мають стати затверджені вищим керівництвом держави основні засади державної політики щодо космічної діяльності. Реалізувати цільові завдання в інтересах широкого кола користувачів (у сферах науки, природокористування, екологічного моніторингу, безпеки, міжнародних відносин, освіти тощо) на основі розвитку ракетно-космічних технологій можна тільки шляхом реалізації взаємозгодженої системи заходів, які координуються органами державного управління.

Досвід виконання попередніх Державної (1992–1997 рр.) та Загальнодержавних (Національних) космічних програм (1998–2002 рр., 2003–2007 рр.) довів необхідність координації заходів не тільки у межах такої програми, а й з іншими загальнодержавними та регіональними програмами (Національна програма інформатизації, Державна програма проведення моніторингу навколошнього середовища, Загальнодержавна комплексна програма розвитку високих наукосмічних технологій тощо).

3. МЕТА ПРОГРАМИ

Загальна мета програми: забезпечення розвитку та ефективного використання космічного потенціалу України для вирішення нагальних пі-

тань сталого розвитку, безпеки, впровадження високих технологій та підвищення рівня науки і освіти. Програма визначає комплекс заходів, спрямованих на досягнення таких цільових завдань:

- підвищення ефективності застосування космічних засобів для суспільних потреб, в т. ч. для розвитку науки і освіти;
- розвиток високих технологій як умови конкурентоспроможності національної економіки;
- якісно новий рівень міжнародного співробітництва.

4. ВАРІАНТИ РОЗРОБЛЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПІДХОДУ

Наразі об'єктивно існує низка нагальних проблем розвитку держави, які не можуть бути вирішеними без застосування космічних засобів та інформації. Наявний ракетно-космічний потенціал дозволяє вирішувати окремі завдання, однак його структура і можливості не відповідають повною мірою сучасним потребам України. Тому пошук оптимального варіанту розвитку космічної діяльності має специфічні обмеження. Зокрема це необхідність структурних перетворень в космічній галузі, які повинні здійснюватися одночасно з виконанням конкретних проектів. Суттєвим є реальне обмеження державної підтримки розробок, які мають об'єктивно великий термін впровадження. Необхідною умовою реалізації оптимального розвитку космічної діяльності України є активізація міжнародної співпраці. Очевидно, що вирішальним у будь-якому варіанті є підтримка суспільством «космічних» витрат, а також розуміння управлінською елітою необхідності застосування космічних технологій для вирішення основних економічних і соціальних проблем.

Досвід виконання попередніх Державної (1992—1997 рр.) та Загальнодержавних (Національних) космічних програм (1998—2002 рр., 2003—2007 рр.) дозволяє розглядати наступні можливі варіанти провадження космічної діяльності.

1. Традиційний варіант. Фінансування космічних програм до цього часу (в середньому до 90 млн грн на рік) здійснювалось переважно за залишковим принципом: бюджетні видатки не відповідали затвердженим в Законі про Загальнодержавну (Національну) космічну програму (передбачала в середньому до 360 млн грн). Безперечні досягнення (запуски супутників серії «Січ» та «Океан», виконання дослідницьких проектів, вихід на міжнародні ринки пускових послуг — проекти «Морський старт», «Дніпро») базувалися на технологічних напрацюваннях попередніх років. Такий підхід не дозволив створити заплановане угруповання космічних апаратів спостереження за Землею, забезпечити постійний моніторинг території України, призвів до призупинення низки дослідницьких міжнародних проектів. Практично нереалізованою є космічна діяльність в інтересах оборони. Повільно впроваджуються у практику супутникові технології зв'язку, телевізійного та радіомовлення, високоточного координатно-часового та навігаційного забезпечення. Відсутність значущих перспективних розробок та досліджень унеможливлює створення космічної техніки у найближчій перспективі.

Варіант 1 можливий за умов перегляду цілей космічної діяльності, сформульованих раніше. Відповідно до існуючого бюджетного фінансування можливе використання інформації від зарубіжних космічних апаратів, участь у міжнародних дослідженнях на рівні складових частин приладів, підтримка невеликих наукових проектів. Водночас це означає поступове (протягом 10—15 років) згортання космічної діяльності на основі власних засобів, зупинення розробки ракет-носіїв, космічних апаратів, підтримки та розвитку наземної інфраструктури. Така ситуація фактично означає відмову від пріоритетності розвитку космічних технологій для країни.

2. Варіант інтенсивного розвитку передбачає реалізацію проектів створення космічних ракетних комплексів різноманітного базування на основі модернізованих та нових вітчизняних ракет-носіїв. На основі розроблюваних космічних засобів протягом найближчих 5—7 років можливе створення космічних систем спостереження, які доповнюють розроблювані в рамках

європейської ініціативи GMES, виконання власних телекомунікаційних та наукових проектів. Комплекс заходів з розробки та виробництва нових космічних засобів, розвитку експериментально-випробувальної бази, нових елементів наземної інфраструктури, нових службових та спеціалізованих систем, приладів дасть змогу забезпечити безперервний моніторинг земної поверхні в інтересах безпеки, природокористування, виконати низку власних наукових досліджень і участі у міжнародних програмах, забезпечити перспективне розширення присутності на міжнародних ринках космічних послуг.

Реалізація варіанту 2 передбачає до 2.5 млрд грн щорічних бюджетних витрат і додатково не менше 70 % цієї суми позабюджетних надходжень (зокрема для реалізації проектів у галузях телекомунікації та космічної навігації). Такий варіант є найбільш бажаним з точки зору швидкого позитивного впливу космічної діяльності на високотехнологічний розвиток, вирішення нагальних загальнодержавних потреб, розвитку експортного потенціалу.

3. Варіант забезпечення мінімально необхідного розвитку. З огляду на прогнозовані темпи зростання ВВП, поточний стан космічної діяльності, а також соціальні очікування в суспільстві *оптимальним є етап, переходний до інтенсивного*. Основною вимогою є забезпечення поступального розвитку космічної діяльності, виконання низки нагально необхідних проектів, забезпечення перспективних розробок, підтримка експортного потенціалу, досягнення вищого рівня міжнародного співробітництва, забезпечення технологічного оновлення підприємств та структурних зрушень у ракетно-космічній галузі.

Загальна оцінка мінімально необхідних умов розвитку вітчизняної космонавтики враховує чотири взаємопов'язаних напрями діяльності.

I. Виконання космічних проектів, отримання та використання інформації з космічних засобів.

II. Модернізація існуючих та розробка перспективних ракет-носіїв, їхніх систем, а також космічних апаратів.

III. Реалізація перспективних наукових досліджень, прикладних розробок приладів, назем-

них програмно-апаратних комплексів, інформаційних технологій, пошук проривних рішень.

IV. Заходи з технологічної підтримки та оновлення експериментальної та випробувальної бази підприємств.

Перший напрям забезпечує практичну віддачу від космічної діяльності, вирішення конкретних завдань космічного моніторингу, наукових проектів, участі у міжнародних проектах. Створення постійно діючого угруповання космічних апаратів передбачає забезпечення запуску вітчизняних КА з періодичністю не рідше, ніж у два роки. Мінімальна вартість такого завдання передбачає виділення 250 млн грн бюджетних коштів на рік.

Другий напрям забезпечує розвиток вітчизняного космічного потенціалу та підтримку його можливостей і фактично є інвестиціями у майбутні проекти. Потребує бюджетної підтримки на рівні не менше 250—300 млн грн на рік.

Третій напрям визначає необхідний науковий рівень вітчизняних космічних досліджень, його забезпечення конкурентоспроможними приладами, обладнанням, інформаційними можливостями, наземними засобами, що є умовою участі у міжнародних проектах. Враховуючи зазначену інтенсивність запусків вітчизняних КА, цей напрям потребує 100—150 млн грн.

Четвертий напрям є внеском держави в технологічне оновлення та реструктуризацію підприємств галузі і має забезпечити необхідний рівень наземного експериментального відпрацювання елементів космічної техніки. Обсяги необхідного фінансування, які визначаються складом наявної унікальної дослідно-експериментальної бази вітчизняних підприємств, оцінюються на рівні 150—200 млн грн.

Загальний обсяг бюджетної підтримки оптимального варіанту розвитку космічної діяльності має складати не менше 750—900 млн грн на рік, а також за умови додатково позабюджетних коштів в обсязі не менше ніж 50 % від зазначеної суми. Такий рівень бюджетних видатків відповідає 0.2 % від прогнозованого обсягу ВВП на найближчі роки і в абсолютному значенні є майже на порядок величини нижчим, ніж в європейських країнах та Російській Федерації. Разом з тим зазначена бюджетна підтримка досягає характерного рівня для країн, що почали

розвивати космічну діяльність, тобто мінімального рівня, який має забезпечити конкурентоспроможність космічної галузі.

5. ВИЗНАЧЕННЯ ШЛЯХІВ І ЗАСОБІВ, СТРОКІВ ВИКОНАННЯ ЗАГАЛЬНОДЕРЖАВНОЇ КОСМІЧНОЇ ПРОГРАМИ

Загальнодержавна космічна програма здійснюється шляхом виконання семи взаємопов'язаних цільових програм (які складаються з конкретних проектів):

1. «Наукові космічні дослідження»,
2. «Дистанційне зондування Землі»,
3. «Спутникові системи телекомунікацій та навігації»,
4. «Космічні комплекси»,
5. «Перспективні розробки космічної техніки та технологій»,
6. «Наземна інфраструктура»,
7. «Дослідно-експериментальна та виробнича база».

Перші три програми відповідають I напряму діяльності і охоплюють проекти в інтересах космічного моніторингу, науки, забезпечення потреб користувачів, зокрема у послугах космічного зв'язку, супутникового телерадіомовлення і навігації. Технічні завдання на створювані системи, а також відповідні програми досліджень узгоджуються зацікавленими міністерствами (Мінприроди, МНС, Міноборони), регіональними органами державного управління, а також НАНУ. Створення національної системи космічного моніторингу «Січ», наземних геоінформаційної та навігаційної систем здійснюється в узгодженні з міжнародною спільнотою в межах створюваної всесвітньої системи космічного моніторингу (GEOSS), європейських ініціатив GALILEO та GMES. Наукові дослідження організуються як українська частина міжнародних програм глобальних та регіональних змін, американської програми EXPLORATION, європейської AURORA, а також за узгодженими програмами з Російською Федерацією та програмами інших країн. Передбачаються освітні проекти, зокрема створення українських молодіжних супутників.

На виконання II напряму націлена програма «Космічні комплекси», яка передбачає створен-

ня космічного ракетного комплексу «Циклон-4», участь у реалізації комерційних проектів з розробки засобів виведення (проекти «Наземний старт», «Спейс-Кліпер», «Циклон-2К»). Для підвищення конкурентоспроможності розроблюваних комплексів здійснюватиметься низка випереджальних розробок, зокрема високоточної системи керування ракет-носіїв, двигунних установок з багаторазовим увімкненням тощо. З метою опрацювання можливості забезпечення незалежного виходу у космос започатковується розроблення перспективних проектів повітряного старту ракет-носіїв, а також їхнього старту з морської платформи.

Здійснюватиметься розробка нових космічних платформ різного призначення з використанням нових технологій та елементної бази. Перспективні розробки матимуть спільне підґрунтя у вигляді системного проекту розвитку вітчизняних космічних комплексів.

Напрям III реалізується шляхом виконання програми 5 («Перспективні розробки космічної техніки та технологій»), а також частково 1 («Наукові космічні дослідження») та 6 («Наземна інфраструктура»). Пріоритетними є розвиток космічного приладобудування, двигунобудування, технологій та матеріалознавства. Передбачається розробка і впровадження принципово нової бортової дослідницької апаратури, наземних програмно-апаратних комплексів, нового покоління датчиків, інформаційних систем, методів вирішення тематичних задач. Наукове підґрунтя космічних місій на найближчу перспективу розроблюватиметься за спільними планами з Національною академією наук України. У межах цього напряму передбачаються і заходи з комерціалізації космічних технологій.

Відповідно до напряму IV виконуватиметься програма 7 («Дослідно-експериментальна та виробнича база»), яка забезпечить роботи з модернізації та підтримки вітчизняної стендової бази для випробувань ракетно-космічної техніки, буде основою функціонування Державного реєстру унікальних об'єктів космічної діяльності. Крім того, передбачаються заходи з підвищення якості виробів РКТ, структурних переворень на базових підприємствах галузі.

Характерними особливостями запропонованого підходу до розвитку космічної діяльності є:

- поступальний розвиток космічної діяльності з урахуванням економічних реалій;
- залучення космічних технологій до вирішення загальних загальнодержавних і регіональних проблем;
- інтеграція в міжнародні програми, забезпечення росту престижу України на міжнародній арені;
- акцент на розробку нових технологій, сприяння високотехнологічному розвитку, підвищення загального наукового і інтелектуального рівня суспільства.

Програма передбачає підвищення ефективності космічної діяльності і забезпечення інтенсивного розвитку вітчизняної космонавтики у найближчому майбутньому (через 5—7 років).

6. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОНАННЯ ПРОГРАМИ ТА ЇЇ ЕФЕКТИВНІСТЬ

Внаслідок реалізації заходів Програми передбачається:

1) розгортання вітчизняного угруповання спостереження Землі та геофізичного моніторингу «Січ», забезпечення його експлуатації та використання;

2) створення національної системи геоінформаційного забезпечення як частини європейської системи GMES та світової GEOSS;

3) розгортання системи космічного координатно-часового та навігаційного забезпечення України у співробітництві з Російською Федерацією та ЄС;

4) створення умов для організації комерційного використання українських ракет-носіїв в проектах «Циклон-4», «Наземний старт», «Дніпро»;

5) створення супутниковых телекомунікаційних мереж зв'язку та мовлення з використанням національного супутника зв'язку;

6) розвиток виробництва ракет-носіїв («Зеніт», «Циклон», «Дніпро»), розробка перспективного носія легкого класу, розробка КА нового покоління;

7) здійснення космічних досліджень у галузях сонячно-земних зв'язків, астрофізики, космічної біології та матеріалознавства, зокрема в межах міжнародних проектів «Спектр-Р», «Міжнародна космічна станція», EXPLORATION, AURORA;

8) модернізація та розвиток Національного космічного центру в Євпаторії та залучення його засобів до міжнародних космічних програм;

9) виконання освітніх космічних проектів, зокрема програмами молодіжних супутників;

10) використання даних супутникових та наземних спостережень для завдань безпеки і оборони;

11) комплекс розробок нової космічної техніки, службових систем, дослідницьких приладів для перспективних космічних проектів.

Ефективність передбачених заходів забезпечуватиметься:

- інтеграцією кращого наукового, технічного і виробничого потенціалу при виконанні проектів Програми;
- високим рівнем міжнародної співпраці;
- проектним підходом до реалізації завдань Програми (створення відповідної ієархії «дорожніх карт») з визначеними цілями, засобами, кооперацією та термінами виконання; взаємоузгодженістю стратегічного, тактичного та поточного планування;
- орієнтацією кожного проекту Програми на кінцевий результат, його підпорядкованістю загальнодержавним завданням;
- розвитком національного законодавства з питань космічної діяльності та інтеграцією до норм міжнародного космічного права.

7. РЕСУРСИ, НЕОБХІДНІ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ПРОГРАМИ

Загальні обсяги бюджетного фінансування Загальнодержавної космічної програми складають до 4.5 млрд грн (в середньому 750—900 млн грн щорічно); передбачається також додаткове залучення до 50 % цієї суми за рахунок коштів поза Програмою (кошти інвесторів, кредити), які спрямовуватимуться на окремі цільові проекти.

CONCEPTUAL APPROACHES TO THE ELABORATION OF STATE TARGET SCIENTIFIC-TECHNICAL SPACE PROGRAM OF UKRAINE FOR 2008—2012

*Yu. S. Alekseev, S. O. Baulin, S. M. Konyukhov,
O. P. Fedorov, Ya. S. Yatskiv*

**УГОДА МІЖ УРЯДОМ УКРАЇНИ
ТА ЄВРОПЕЙСЬКИМ
КОСМІЧНИМ АГЕНТСТВОМ
ЩОДО СПІВРОБІТНИЦТВА
У ВИКОРИСТАННІ КОСМІЧНОГО
ПРОСТОРУ В МИРНИХ ЦІЛЯХ**

Уряд України (далі «Українська сторона»)
i

Європейське космічне агентство, засноване на основі Конвенції про створення Європейського космічного агентства, яка була підписана в м. Париж 30 травня 1975 року, та набрала чинності 30 жовтня 1980 року (далі «Агентство»), (далі разом «Сторони»),

ЗВАЖАЮЧИ на те, що метою Агентства є поширення та сприяння, виключно в мирних цілях, співробітництва між європейськими країнами в сфері дослідження космосу, технологій та їх застосування в космічному просторі,

ВІДЗНАЧАЮЧИ, що космос став одним із факторів технологічного, економічного та культурного розвитку,

ВРАХОВУЮЧИ прагнення співробітництва з Агентством, висловлені Українською стороною,

ПРАГНУЧИ створити механізми для спрощення та інтенсифікації співробітництва між Сторонами у взаємовигідній діяльності, пов'язаній з використанням космічного простору в мирних цілях,

БУДУЧИ ПЕРЕКОНАНИМИ щодо переваг, які подібне співробітництво може принести обом Сторонам,

БЕРУЧИ ДО УВАГИ положення Договору про принципи діяльності держав по дослідженю та використанню космічного простору, включаючи Місяць та інші небесні тіла, підписаного 27 січня 1967 р., та інших багатосторонніх угод щодо дослідження та використання космічного простору, в яких Українська Сторона та країни-члени Агентства є сторонами, і які прийняті Агентством,

СПИРАЮЧИСЬ на Конвенцію про створення Агентства, а саме на Статтю XIV.1 про міжнародне співробітництво, в якій сказано, що: «Агентство може за рішенням Ради, одностайно ухваленим всіма країнами-членами, співпрацювати з іншими міжнародними організаціями,

**AGREEMENT BETWEEN THE
GOVERNMENT OF UKRAINE AND
THE EUROPEAN SPACE AGENCY
CONCERNING SPACE
COOPERATION FOR PEACEFUL
PURPOSES**

The Government of Ukraine (hereinafter referred to as «the Ukrainian side»)

and

the European Space Agency, established by the Convention for the establishment of a European Space Agency, which was opened for signature in Paris on 30 May 1975 and entered into force on 30 October 1980 (hereinafter referred to as «the Agency»), (hereinafter together referred to as «the Parties»),

RECALLING that the purpose of the Agency is to provide for and to promote, for exclusively peaceful purposes, cooperation among European States in space research and technology and their space applications,

NOTING that space has become a factor in technological, economic and cultural development,

CONSIDERING the wish expressed by the Ukrainian side to cooperate with the Agency,

DESIRING to establish mechanisms to facilitate and intensify cooperation between the Parties on mutually advantageous activities connected with the peaceful use of outer space,

CONVINCED of the benefits that such cooperation can bring to each Party,

TAKING INTO CONSIDERATION the provisions of the Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies, done on 27 January 1967 and other multilateral agreements on the exploration and use of outer space to which the Ukrainian side and Member States of the Agency are parties and which the Agency has accepted,

HAVING REGARD to the Convention establishing the Agency and in particular Article XIV.1 thereof, on international cooperation, which states that «The Agency may, upon decisions of the Council taken by unanimous votes of all Member States, cooperate with other international organizations and institutions and with

установами та Урядами, організаціями та установами країн, які не є членами, та для цього укладати з ними угоди»,

ДОМОВИЛИСЬ ПРО НАСТУПНЕ:

СТАТТЯ 1

Мета

Метою цієї Угоди є створення правових рамок для співробітництва між Сторонами в сфері дослідження та використання космосу в мирних цілях та умов для виконання проектів, що становлять спільний інтерес.

СТАТТЯ 2

Сфери співробітництва

1. В сферах, що мають потенціал для співробітництва, Сторони інформуватимуть одна одну про всі відповідні заходи та програми й хід їхнього виконання та регулярно проводитимуть консультації відповідно до процедур, встановлених в Статті 3 цієї Угоди.

2. Серед сфер, що розглядаються Сторонами як такі, що мають потенціал для співробітництва в рамках цієї Угоди, особливо виділяються наступні:

(a) Космічні науки, а саме астрономія та астрофізика, дослідження сонячної системи та сонячно-земна фізика;

(b) Програми дослідження Землі та їхнє застосування, а саме моніторинг довкілля, метеорологія, аерономія та геодезія, запобігання стихійним лихам;

(c) Телекомунікації, а саме надання послуг та супутникова навігація;

(d) Мікрогравітаційні дослідження, а саме космічна біологія та медицина, матеріалознавство;

(e) Розробка та використання наземного сегмента;

(f) Ракети-носії.

Після підписання цієї Угоди Українська сторона повідомить Агентству сфери, що становлять особливий інтерес для неї. Після визначення програм взаємних інтересів Сторони укладуть окремі імплементаційні угоди, що визначатимуть їх права та обов'язки, відповідно до положень пункту 1 Статті 3 цієї Угоди.

3. Сторони погоджуються, з огляду на здійснення спільніх проектів в сферах, визначених

Governments, organizations and institutions of non-member States, and conclude agreements with them to this effect»,

HAVE AGREED AS FOLLOWS:

ARTICLE 1

Purpose

The purpose of this Agreement is to establish a legal framework for cooperation between the Parties in the field of research and peaceful use of outer space and the conditions for implementing projects of mutual interest.

ARTICLE 2

Areas of cooperation

1. The Parties shall keep each other informed on all their respective activities and programmes and on their progress and shall consult regularly, according to the procedures set out in Article 3 below, on areas offering potential for cooperation.

2. Among the areas considered by the Parties as offering potential for cooperation under the Agreement the following are specifically mentioned:

(a) Space science, in particular space astronomy and astrophysics, solar system exploration and solar-terrestrial physics;

(b) Earth observation research and applications, in particular environmental monitoring, meteorology, aeronomy and geodesy, disaster management;

(c) Telecommunications, in particular service demonstrations and satellite navigation;

(d) Microgravity research, in particular space biology and medicine, and materials processing;

(e) Ground segment engineering and utilization;

(f) Launchers.

Upon signature of this Agreement, the Ukrainian side shall notify the Agency of the areas that are of particular interest to it. Upon identifying a programme of mutual interest, the Parties shall conclude specific implementing arrangements defining their rights and obligations in accordance with the provisions of Article 3.1 below.

3. The Parties agree, with a view of realising cooperative projects in the areas identified pursuant to the paragraph 2 above, to facilitate the exchange of scientists and engineers, the exchange

згідно з пунктом 2 цієї Статті, сприяти обміну науковцями та інженерами, обміну інформацією, а також контактам між зацікавленими представниками промисловості.

4. Співробітництво також поширюватиметься на:

(а) встановлення стипендій для надання можливості номінантам відожної Сторони проходити підготовку або брати участь в науковій або технічній діяльності в установах, запропонованих Стороною, що встановлює стипендію;

(б) обмін експертами для участі в дослідженнях;

(с) проведення спільних конференцій та симпозіумів;

(д) спільне сприяння використання продукції та послуг, розроблених в рамках програм Агентства;

(е) сприяння освітній діяльності в сфері космічних наук та технологій;

(ф) надання експертної оцінки та допомоги в управлінні космічними проектами.

5. За необхідністю Сторони проводитимуть консультації з питань спільного інтересу в сфері дослідження та використання космічного простору за програмою зустрічей міжнародних органів.

6. Сторони заохочуватимуть міжнародне співробітництво в сфері вивчення правових питань, що являтимуть взаємний інтерес під час дослідження та використання космічного простору.

СТАТТЯ 3

Механізми виконання

1. З метою підтримки співробітництва за програмами, які мають спільний інтерес, як це зазначено в Статті 2 цієї Угоди, Сторони у кожному випадку мають проводити переговори та погоджувати окремі імплементаційні угоди. Ці імплементаційні угоди можуть, зокрема, включати:

(а) опис цілей співробітництва;

(б) робочий план;

(с) ролі та зобов'язання Сторін;

(д) правила та володіння правами інтелектуальної власності, умови обміну конфіденційною інформацією.

2. Українська сторона призначає Національне космічне агентство України (далі НКАУ) відповідальним за виконання цієї Угоди та уповноважує НКАУ укладати вищезазначені імплемен-

of information as well as the contacts between the industries concerned.

4. The cooperation shall also extend to:

(a) the award of fellowships to enable the nominees of either Party to undertake training or other scientific or technical activities at institutions proposed by the awarding Party;

(b) the exchange of experts to participate in studies;

(c) the holding of joint conferences and symposia;

(d) joint promotion of the use of products and services developed under the Agency's programmes;

(e) the promotion of educational activities in space science and technology;

(f) the provision of expert opinions and assistance in space project management.

5. The Parties shall consult as appropriate on matters of common interest on the exploration and use of outer space on the agenda of the meetings of international bodies.

6. The Parties shall encourage international cooperation in the study of legal questions of mutual interest, which may arise in the exploration and use of outer space.

ARTICLE 3

Modalities of Implementation

1. In order to pursue cooperation in programmes of common interest as referred to in Article 2 above, the Parties shall on each occasion negotiate and agree upon specific implementing arrangements. Such specific implementing arrangements may in particular include:

(a) a description of the objectives of the cooperation;

(b) a workplan;

(c) roles and responsibilities of the Parties;

(d) rules on intellectual property rights and ownership and the terms and conditions for the exchange of confidential information.

2. The Ukrainian side designates the National Space Agency of Ukraine (hereinafter referred to as NSAU) for the implementation of this Agreement and authorises NSAU to conclude the

таційні угоди.

3. Кожна зі Сторін призначає «контактну особу», яка відповідатиме за контроль виконання цієї Угоди та сприяння в подальшій організації спільніх заходів. Такі контактні особи мають бути звичайним каналом для обміну пропозиціями щодо співробітництва між Сторонами.

4. З метою детального вивчення пропозицій в сферах, які визначені Сторонами та надання Сторонам відповідних рекомендацій утворюватимуться спільні робочі групи

5. Спеціальні засідання між контактними особами, призначеними відповідно до пункту 3 цієї Статті, будуть проводитись, із необхідною періодичністю, з метою вивчення ходу виконання цієї Угоди.

6. Для виконання своїх зобов'язань за цією Угодою кожна із Сторін використовує власні кошти.

7. Українська сторона погоджується забезпечити адміністративне сприяння виконанню цієї Угоди, а саме спрощувати в'їзд/виїзд осіб та імпорт/експорт товарів і матеріалів, що мають відношення до проектів, погоджених Сторонами в рамках цієї Угоди. Українська сторона здійснюватиме сертифікацію для митних органів для імпорту/експорту товарів та матеріалів, що мають відношення до проектів, погоджених Сторонами. Сертифікація гарантуватиме, що товари та матеріали, які імпортуються/експортуються, використовуються у проектах, погоджених Сторонами. Агентство погоджується, відповідно до чинного законодавства своїх країн-учасниць, забезпечити адміністративне сприяння виконанню цієї Угоди, а саме спрощувати в'їзд/виїзд осіб та імпорт/експорт товарів і матеріалів, що мають відношення до проектів, погоджених Сторонами в рамках цієї Угоди, на території та з території своїх країн-учасниць.

СТАТТЯ 4

Інформація та дані

1. Сторони обмінюються науково-технічною інформацією, що має взаємний інтерес у сферах космічної науки, технологій, а також прикладних програм, шляхом передачі технічних та наукових звітів і повідомлень, відповідно до правил розповсюдження інформації та даних.

above-mentioned implementing arrangements.

3. Each Party shall designate a «point of contact» who shall be responsible for monitoring the implementation of this Agreement and for taking measures to assist in the further development of cooperative activities. Such points of contact shall be the ordinary channel for the Parties' communication of proposals for cooperation.

4. Joint working groups may be established to examine in detail proposals in areas assigned to them by the Parties and to make recommendations to the Parties.

5. Special meetings between the points of contact designated under paragraph 3 of this Article shall be held, as often as necessary, to examine the progress in the implementing of this Agreement.

6. For the execution of its obligations under this Agreement, each Party shall meet its own costs.

7. The Ukrainian side agrees to provide administrative assistance in the implementation of the present Agreement, in particular as regards facilitating the entry and exit of persons and the importation and exportation of goods and materials relating to projects agreed upon by the Parties within the frame of the present Agreement. The Ukrainian side will issue certification for import and export of goods and materials relating to projects agreed upon by the Parties for customs authorities. This certification guarantees that the imported or exported goods and materials are employed in the course of the projects agreed upon by the Parties. The Agency agrees, subject to the applicable national laws and regulations of its Member States, to provide administrative assistance in the implementation of the present Agreement, in particular as regards facilitating the entry and exit of persons and the importation and exportation of goods and materials into and out of the territories of its Member States, relating to projects agreed upon by the Parties within the frame of the present Agreement.

ARTICLE 4

Information and data

1. The Parties shall exchange scientific and technical information of mutual interest concerning space science, technology and applications through the transmission of technical and scientific reports and notes, consistent with their respective rules on the dissemination of information and data.

2. Науково-технічна інформація, отримана однією Стороною під час спільних досліджень або проектів має бути доступною іншій Стороні, за умови дотримання правил щодо розповсюдження інформації та даних, що можуть бути взаємно погоджені.

3. Коли товари, дані або інформація передаються однією Стороною іншій, Сторона, що їх отримує, захищає права інтелектуальної власності на рівні, не нижче за такий, що передбачено правовою системою Сторони, що їх передає. Особливі заходи, які на думку Сторони, що передає, мають бути вжиті для забезпечення цього рівня захисту, є предметом взаємного узгодження.

СТАТТЯ 5

Привілеї та імунітети

1. Для будь-якої діяльності, що здійснюється в Україні в рамках цієї Угоди Агентство має правосуб'єктність на території України. З цією метою Українська Сторона надає Агентству ті самі привілеї та імунітети, що містяться у Конвенції про привілеї та імунітети спеціалізованих установ, яка прийнята Генеральною Асамблесю Організації Об'єднаних Націй 21 листопада 1947 року та набрала чинності для України 13 квітня 1966 року. Податкові та фіiscalні вилучення, зазначені в вищезгаданій Конвенції, не застосовуються до посадових осіб Агентства, які матимуть громадянство України, або постійно проживають в Україні, на час їхнього призначення посадовими особами Агентства.

2. Для кожної окремої програми, що становить спільний інтерес, застосування подібних привілеїв та імунітетів детально визначається окремими імплементаційними угодами, про які йдеться в пункті 1 Статті 3 цієї Угоди.

СТАТТЯ 6

Обмін персоналом

Беручи до уваги положення Статті 5 цієї Угоди, Українська сторона полегшує та прискорює процес переміщення осіб, необхідних для виконання цієї Угоди, з та на територію України відповідно до діючого законодавства України. Агентство, в свою чергу, відповідно до законів та положень своїх країн-членів, полегшує та

2. Scientific and technical information obtained by one Party in the course of joint experiments or projects shall be made available to the other, subject to the observance of such rules as may be mutually agreed concerning the dissemination of information and data.

3. Where goods, data or information are furnished by one Party to the other, the receiving Party shall accord a degree of protection to the intellectual property rights therein at least equivalent to that enjoyed in the legal system applicable to the furnishing Party. Special measures that need, in the view of the furnishing Party, to be taken in order to achieve this level of protection shall be the subject of mutual agreement.

ARTICLE 5

Privileges and immunities

1. For any of the activities undertaken in Ukraine within the frame of the present Agreement, the Agency shall have legal personality on the Ukrainian territory. For that purpose, the Ukrainian side shall grant the Agency the same privileges and immunities as those contained in the Convention on the Privileges and Immunities of the Specialized Agencies adopted by the General Assembly of the United Nations on 21 November 1947 and entered into force for Ukraine on 13 April 1966. It is understood that the tax and fiscal exemptions provided for in the above-mentioned Convention will not be applicable to Agency officials who would also have Ukrainian nationality or would have permanent residence in the Ukraine, at the time of their appointment as Agency official.

2. For each specific programme of common interest, the implementation of such privileges and immunities will be detailed in the implementing arrangements referred to in Article 3.1 above.

ARTICLE 6

Exchange of Personnel

Taking into account the provisions of Article 5 above, the Ukrainian side shall facilitate and expedite the movement of persons necessary to implement this Agreement into and out of the Ukrainian territory subject to applicable national laws and regulations. The Agency will, subject to applicable laws and regulations of its Member

прискорює процес переміщення осіб, необхідних для виконання цієї Угоди, з та на територію країн-членів Агентства.

СТАТТЯ 7

Відповіальність

Згідно з будь-якими іншими умовами, встановленими в окремих імплементаційних угодах відповідно до пункту 1 Статті 3, кожна Сторона відповідає за будь-які втрати або шкоду, нанесену її особам або майну в ході виконання робіт в рамках цієї Угоди, окрім випадків навмисної шкоди або грубої недбалості з боку іншої Сторони.

СТАТТЯ 8

Вирішення суперечок

1. Суперечки стосовно тлумачення або застосування цієї Угоди мають вирішуватися шляхом спільніх консультацій між Сторонами. Якщо питання, що не вирішується шляхом консультацій, вимагає рішення, воно передається, за вимогою однієї зі Сторін, до арбітражного суду, що складається з однієї призначеної особи від кожної Сторони та Голови, що призначається за згодою Сторін, або, в разі недосягнення згоди, Президентом Міжнародного суду ООН. Рішення суду є остаточним та обов'язковим для обох Сторін.

2. Імплементаційні угоди, як визначено в пункті 1 Статті 3 цієї Угоди, будуть містити окремі умови вирішення суперечок, включаючи процедури та механізми арбітражу.

СТАТТЯ 9

Набуття чинності — Поправки

1. Ця Угода набуває чинності з дати надання Українською стороною письмового повідомлення Агентству про завершення всіх внутрішньодержавних процедур, необхідних для набуття нею чинності.

2. Ця Угода залишатиметься чинною на період 5 (п'ять) років з дати набуття нею чинності.

3. Цю Угоду може бути подовжено та/або змінено за взаємною письмовою згодою Сторін.

4. Окрім перших двох років з дати набуття цією Угодою чинності, її дію може бути припинено будь-якою зі Сторін шляхом письмового повідомлення іншої Сторони. Дія Угоди припиняється з моменту отримання повідомлення.

States, facilitate and expedite the movement of persons necessary to implement this Agreement into and out of the territories of its Member States.

ARTICLE 7

Liability

Subject to any other terms contained in the implementing arrangements referred to in Article 3.1 above, each Party shall be liable for any loss or damage to its persons or property which it sustains in pursuit of the activities provided for under this Agreement, except in the case of wilful damage or gross negligence on the part of the other Party.

ARTICLE 8

Settlement of disputes

1. Disputes concerning the interpretation or application of this Agreement shall in principle be settled by mutual consultations between the Parties. If an issue not resolved through consultations still needs to be resolved, that issue shall be submitted, at the request of either Party, to an arbitration tribunal composed of one nominee of each Party and a Chairman appointed by agreement between the Parties or, failing agreement, by the President of the International Court of Justice. The tribunal's award shall be final and binding upon both Parties.

2. Implementing arrangements as referred to in Article 3.1 of this Agreement shall contain their own dispute-settlement provisions, which shall include the procedures and modalities for arbitration.

ARTICLE 9

Entry into force — Amendment

1. The Agreement shall enter into force upon written notification by the Ukrainian side to the Agency that all internal procedures necessary for its entry into force have been completed.

2. This Agreement shall remain in force for a period of 5 (five) years from the date of its entry into force.

3. The Agreement may be extended and/or amended by mutual agreement in writing.

4. Except during the first two years from its entry into force, the present Agreement may be terminated by either Party by giving six months' notice in writing. If the Agreement ceases to have

няється через шість місяців з дати отримання такого повідомлення. Якщо Угода припиняє свою дію, її положення залишаються в силі протягом всього періоду і на необхідний строк понад його з метою забезпечення виконання будь-якої з окремих імплементаційних угод, укладених відповідно до пункту 1 Статті 3 цієї Угоди, та таких, що все ще є чинними на момент припинення дії цієї Угоди.

Вчинено у м. Париж 25 січня 2008 року

у двох екземплярах українською та англійською мовами, при цьому всі тексти є автентичними. Агентство забезпечує переклад французькою та німецькою мовами.

За Уряд України

АЛЕКСЄВ

За Європейське космічне агентство

ДОРДЕН

effect on account of such termination, its provisions shall nevertheless continue to apply for the period and to the extent necessary to secure the implementation of any specific implementing arrangements concluded pursuant to Article 3.1 above and still effective on the date upon which the present Agreement ceases to have effect.

Done at Paris on 25 Jan 2008

In two originals, in the English and Ukrainian languages, all texts being equally authentic. The Agency will provide translations in the French and German languages.

For the Government of Ukraine

ALEKSEEV

For the European Space Agency

DORDEN

УДК 629.764

В. В. Ємець

Дніпропетровський національний університет

Області доцільного застосування ракет-носіїв із спалимими поліетиленовими баками

Надійшла до редакції 10.04.07

Аналізуються перспективні шляхи зниження вартості транспортних космічних операцій. Показано, що використання поліетиленових оболонок паливних баків як пального є одним з ефективних шляхів. Специфічними особливостями спалимих ракет-носіїв (СРН) є можливість їхньої реалізації в одноступеневому варіанті і відсутність конструкції бакових відсіків у традиційному розумінні. Це дозволить створити одноступеневу багаторазову СРН із порівняно дешевим врятуванням двигунної установки і системи керування в єдиному спусковому апараті. СРН-технологія особливо приваблива для розробки перспективних малих РН для мікрокосмітників, оскільки маса спалимих оболонок паливних відсіків не залежить від розмірності РН — лише завжди дорівнює масі пального. Перевага СРН продемонстрована шляхом порівняння питомих вартостей і корисних мас різноманітних сучасних і перспективних одноразових і багаторазових РН. Наводяться методика і формули розрахунку. Завважується, що недоліком СРН є необхідність розробки деяких нових агрегатів.

ВСТУП

Огляд сучасних проектів, спрямованих на зниження вартості транспортних космічних операцій, окреслює виразну тенденцію до застосування дешевих одноразових двигунних установок, таких як гібридні, твердопаливні або рідинні з витискою системою подачі. Ця тенденція спричинена тим фактом, що двигуни є найдорожчою частиною сучасних ракет-носіїв (РН). Однак не завжди зниження вартості двигуна є достатнім для зниження питомої вартості виведення корисного навантаження, оскільки вона залежить також від маси конструкції РН. Найбільша частина маси конструкції РН — це маса паливних баків. Використання поліетиленових бакових оболонок як пального (див. рис. 1) може призвести до такого ж, або ще кращого результату, ніж для згаданих сучасних шляхів, навіть з урахуванням того, що двигунна установка спалимої РН (СРН) матиме більшу масу і вартість, ніж у традиційних РН. Крім

цього, СРН для таких окремих областей, як малі РН (МРН) і багаторазові РН (БРН) матиме особливі переваги: слабка залежність від масштабного фактора і відсутність необхідності рятувати бакові відсіки.

Ідея спалення елементів конструкції ракет як пального відома з робіт пionerів космонавтики Ф. Цандера, Ю. Кондратюка, А. Штернфельда та інших вчених і винахідників [6]. Принцип влаштування СРН розглядається в роботах [3, 7]. Існує багато проблем практичної реалізації СРН: розробка агрегатів рухомої двигунної установки, вибір паливно-конструкційного матеріалу і окислювача (висококиплячого або кріогенного) [2, 7], компенсація теплових напружень в конструкції (зауважимо, що високомолекулярний поліетилен низького тиску може бути застосований при кріогенних температурах [1]) тощо. Але вже на попередньому етапі роботи теоретичні і експериментальні дослідження газифікаційної камери, компресора продуктів термічної деструкції поліетилену і обтюратора [3—

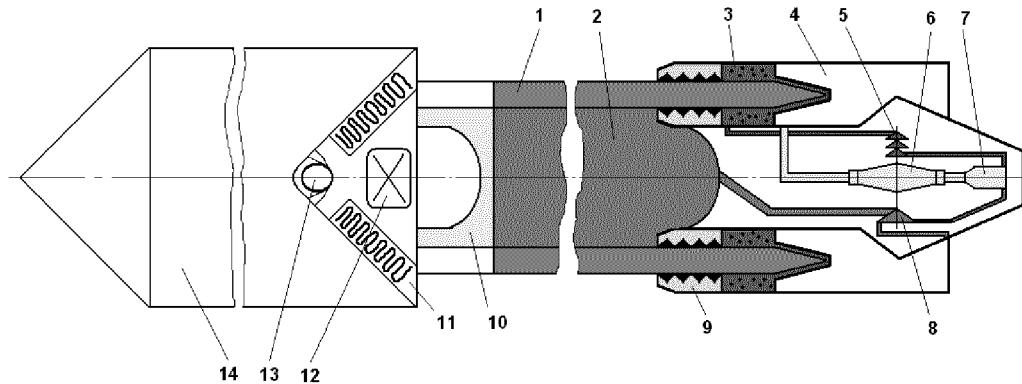


Рис. 1. Варіант багаторазової СРН: 1 — поліетиленова бакова оболонка, що надходить в газифікаційну камеру під дією тяги двигуна, 2 — рідкий окислювач, 3 — газифікаційна камера, 4 — камера згоряння, 5 — компресор газоподібних продуктів термічної деструкції поліетилену, 6 — турбіна, 7 — газогенератор, 8 — насос окислювача, 9 — обтюратор, 10 — газова подушка, 11 — парашутний відсік, 12 — приладовий відсік, 13 — двигунна установка м'якої посадки, 14 — космічна головна частина

5, 9] дозволяють оцінити маси і вартості цих агрегатів і СРН в цілому, а також визначити області їхнього доцільного застосування.

Пошук найдоцільніших областей застосування СРН здійснювався методом порівняння з сучасними і перспективними одноразовими РН (ОРН) і БРН. Порівнювалась питома вартість РН, яка визначалась в умовних одиницях (одна умовна одиниця дорівнює вартості одного кілограма пального) [8].

МАСОВА МОДЕЛЬ РН

Розглянемо традиційну багатоступеневу ОРН, що складається з таких частин: паливо, баки, двигунні установки, відсіки системи керування, інші відсіки (хвостові, міжбакові, міжступеневі тощо). Тоді стартова маса цієї ОРН дорівнює

$$M_0 = \sum_{i=1}^N (M_{p_i} + M_{t_i} + M_{e_i} + M_{g_i} + M_{s_i}),$$

де N — число ступенів, i — номер ступеня, M_{p_i} — маса пального i -го ступеня, M_{t_i} — маса паливних баків i -го ступеня, M_{e_i} — маса двигунної установки i -го ступеня, M_{g_i} — маса відсіку системи керування i -го ступеня, M_{s_i} — маса інших відсіків i -го ступеня.

Згідно з [8] загальна відносна корисна маса РН дорівнює

$$\mu_c = \left[\frac{\exp\left(-\frac{V}{Nw_i}\right) - \alpha_i - \beta_i n_i}{1 - \alpha_i} \right]^N, \quad (1)$$

де

$$\alpha_i = \frac{a_{t_i} + a_{g_i} + a_{s_i}}{1 + a_{t_i}},$$

$$\beta_i = \frac{\gamma_{e_i}}{1 + a_{t_i}},$$

$$M_{p_i} = M_{0_i}(1 - \mu_{k_i}), \quad (2)$$

$$M_{t_i} = M_{0_i}(1 - \mu_{k_i})a_{t_i}, \quad (3)$$

$$M_{e_i} = M_{0_i}n_{0_i}\gamma_{e_i}, \quad (4)$$

$$M_{g_i} = M_{0_i}(1 - \mu_{c_i})a_{g_i}, \quad (5)$$

$$M_{s_i} = M_{0_i}(1 - \mu_{c_i})a_{s_i}, \quad (6)$$

$$\mu_{k_i} = \frac{M_{k_i}}{M_{0_i}}, \quad (7)$$

$$\mu_{c_i} = \frac{M_{c_i}}{M_{0_i}},$$

V — характеристична швидкість РН, w_i — швидкість витікання газів із двигунів i -го ступеня

ня, a_{t_i} — відносна маса баків i -го ступеня, γ_{e_i} — відносна маса двигунної установки i -го ступеня, a_{g_i} — відносна маса відсіку системи керування i -го ступеня, a_{s_i} — відносна маса інших відсіків i -го ступеня, n_{0i} — стартове перевантаження i -го ступеня, μ_{k_i} — відносна кінцева маса i -го ступеня, μ_{c_i} — відносна корисна маса i -го ступеня, M_{0i} — стартова маса i -го ступеня ($M_{01} = M_0$), M_{ki} — кінцева маса i -го ступеня, M_{ci} — корисна маса i -го ступеня. Оберемо параметри, наведені в табл. 1, для оцінки мас основних частин типової ОРН (приймемо, що w_i , a_{ti} , a_{gi} , a_{si} , γ_{ei} та n_{0i} є рівними для всіх ступенів).

В цьому випадку за формулами (1)–(7) отримаємо $\mu_c = 0.033$, $\mu_{k_i} = 0.261$ і розподіл сухої маси РН, показаний у табл. 2.

Видно, що в рамках цієї моделі найбільшу частину сухої маси складає маса паливних баків. Отже, це головний резерв для зниження маси конструкції РН.

Таблиця 1. Типові характеристики сучасної ОРН, призначеної для виведення супутників на низьку навколоземну орбіту

V	9400 м/с
паливо	кисень + гас
N	2
w_i	3500 м/с
γ_{ei}	0.012
n_{0i}	1.2
a_{ti}	0.07
a_{gi}	0.005
a_{si}	0.01

Таблиця 2. Типовий розподіл сухої маси та вартості складових сучасної двоступеневої ОРН з киснево-газовим паливом

Складова	Доля маси, %	Доля вартості, %
Баки, паливні відсіки	48	20
Двигуни, двигунні установки	14	58
Відсік системи керування	4	16
Інші відсіки	8	3
Корисний вантаж	26	
Паливо		3

ВАРТИСНА МОДЕЛЬ РН

Відомо, що витрати на пуск РН складаються з вартості РН і витрат на наземне обслуговування. Заради спрощення обчислень ми не враховуватимемо останніх, бо вони залежать від багатьох факторів, таких як спосіб старту (морський, авіаційний або наземний), відстань від заводу-виробника РН до космодрому, ступінь багаторазового використання матеріальної частини, ступінь автоматизації стартових операцій тощо. Припустимо, що пускові витрати визначаються в основному вартістю РН:

$$C_{LV} = \sum_{i=1}^N (C_{p_i} + C_{t_i} + C_{e_i} + C_{g_i} + C_{s_i}), \quad (8)$$

де C_{p_i} — вартість палива i -го ступеня, C_{t_i} — вартість баків i -го ступеня, C_{e_i} — вартість двигунів i -го ступеня, C_{g_i} — вартість відсіку системи керування i -го ступеня, C_{s_i} — вартість інших відсіків i -го ступеня.

Приймемо для кожного ступеня РН умовні питомі вартості його частин (вартості одного кілограма частини РН в умовних одиницях), наведені в табл. 3.

Беручи до уваги формулу (8) та табл. 3, умовну вартість РН \bar{C}_{LV} згідно з [8] можна визначити з виразу

$$\begin{aligned} \bar{C}_{LV} &= \sum_{i=1}^N (\bar{c}_{p_i} M_{p_i} + \bar{c}_t M_{t_i} + \bar{c}_e M_{e_i} + \bar{c}_g M_{g_i} + \bar{c}_s M_{s_i}) = \\ &= \sum_{i=1}^N [\bar{c}_{p_i}(1 - \mu_{k_i}) + \bar{c}_t(1 - \mu_{k_i})a_{t_i} + \bar{c}_e n_{0i} \gamma_{e_i} + \\ &\quad + \bar{c}_g(1 - \mu_{c_i})a_{g_i} + \bar{c}_s(1 - \mu_{c_i})a_{s_i}] M_0 \prod_{j=0}^{i-1} \mu_{c_j}, \quad (9) \end{aligned}$$

Таблиця 3. Умовна питома вартість основних частин РН

Паливо: кисень + гас	\bar{c}_{p_i}	1
Паливо: кисень + водень	\bar{c}_{p_i}	10
Баки	\bar{c}_t	100
Двигуни	\bar{c}_e	1000
Відсік системи керування	\bar{c}_g	1000
Засоби рятування (для БРН)	\bar{c}_r	1000
Інші відсіки	\bar{c}_s	100

якщо

$$\mu_{c_0} = 1.$$

Розглянемо, наприклад, вищезгадану типову двоступеневу ОРН з паливом кисень + гас. Формула (9) матиме наступну форму, якщо параметри з індексом i однакові для обох ступенів:

$$\begin{aligned} \bar{C}_{LV} = M_0 [\bar{c}_{p_i}(1 - \mu_{k_i}) + \bar{c}_t(1 - \mu_{k_i})a_{t_i} + \bar{c}_e n_{0_i} \gamma_{e_i} + \\ + \bar{c}_g(1 - \mu_{c_i})a_{g_i} + \bar{c}_s(1 - \mu_{c_i})a_{s_i}] (1 + \mu_{c_1}), \end{aligned} \quad (10)$$

де при $N = 2$

$$\begin{aligned} \mu_{k_i} &= \exp\left(-\frac{V}{2w_i}\right), \\ \mu_{c_i} &= \frac{\exp\left(-\frac{V}{2w_i}\right) - \alpha_i - \beta_i n_i}{1 - \alpha_i}. \end{aligned}$$

Скориставшись виразом (10) та даними табл. 1 і 3, отримаємо розподіл вартості РН по її основних частинах (див. табл. 2). Видно, що в рамках цієї моделі найбільша частка вартості припадає на двигуни. Отже, це найсуттєвіший резерв зниження вартості РН.

НАПРЯМКИ ЗНИЖЕННЯ ПИТОМОЇ ВАРТОСТІ РН

Порівняймо РН різних типів за критерієм питомої вартості РН в умовних одиницях \bar{c}_{cp} . Для ОРН

$$\bar{c}_{cp} = \frac{\bar{C}_{LV}}{M_c} = \frac{\tilde{C}_{LV}}{\mu_c}, \quad (11)$$

для БРН

$$\bar{c}_{cp} = \frac{\tilde{C}_{LV}}{k\mu_c}. \quad (12)$$

Тут відносна умовна вартість РН

$$\tilde{C}_{LV} = \frac{\bar{C}_{LV}}{M_0},$$

k — кратність використання БРН ($k = 1$ для ОРН).

Згідно з виразом (11) є два шляхи зниження \bar{c}_{cp} для ОРН: зменшення \tilde{C}_{LV} та збільшення μ_c . Зважаючи на дані табл. 2, ці шляхи можливо конкретизувати: зниження вартості двигунів та зниження маси баків. Існує кілька розгалужень цих шляхів (рис. 2).

Шляхи 1, 2, 3, 4 та 8 реалізуються зараз такими організаціями, як Microcosm, SpaceDev, SpaceX, Wickman Spacecraft & Propulsion Company та іншими. Ці шляхи можуть бути реалізовані зараз завдяки тому, що вони ґрунтуються переважно на сучасних технологіях. Ми пропонуємо звернути увагу на шляхи 5, 6 та 7. Вважаємо, що шляхи 5 та 7 є найбільш перспективними, але потребують розробки нових агрегатів — газифікаційної камери, компресора газифікованого поліестілену, обтюратора. Шлях 6 може бути реалізований на базі використання традиційної рідинної двигунної установки і нового магнітопорошкового обтюратора, запропонованого в наших роботах [4, 9].

ПОРІВНЯННЯ ОДНОРАЗОВОЇ ОДНОСТУПЕНЕВОЇ СРН З ОДНОРАЗОВОЮ ТРАДИЦІЙНОЮ РН, ГІБРИДНОЮ РН І РН З ВИТИСКНОЮ СИСТЕМОЮ ПОДАЧІ

За нашою попередньою оцінкою [4, 5] маса двигунного блоку СРН буде на 20...40 % більшою за масу традиційного ракетного двигуна з тією ж тягою. Додаткова маса спричиняється додаванням газифікаційної камери (10...20 %) і обтюратора (10...20 %). Ця оцінка дозволяє нам порівнювати СРН з іншими РН. Відомо, що одноступенева традиційна РН з паливом кисень + гас не реалізується. Однак одноступенева СРН на такому ж паливі є можливою. Ми вважаємо одноступеневу РН кращою за багатоступеневу, тому що вона теоретично надійніша. З цієї причини перш за все порівняймо одноступеневу одноразову СРН (ОСРН) із традиційною двоступеневою ОРН, призначеною для досягнення низької орбіти.

Оскільки a_t сильно впливає на μ_c , то для коректного порівняння буде правильним не надавати фіксованого значення цьому параметру. Справа в тому, що a_t залежить від багатьох факторів (виробник, технологія, матеріали, габарити тощо), які важко врахувати. Тому ми розглянемо діапазон зміни a_t від 0.06 (кращий сучасний показник для великовагабаритних баків з урахуванням мас газів наддуву і паливних залишків) до 0.012 (показник, характерний для верхніх ступенів, водневих баків, баків з витискною подачею). Якщо прийняти для РН, що

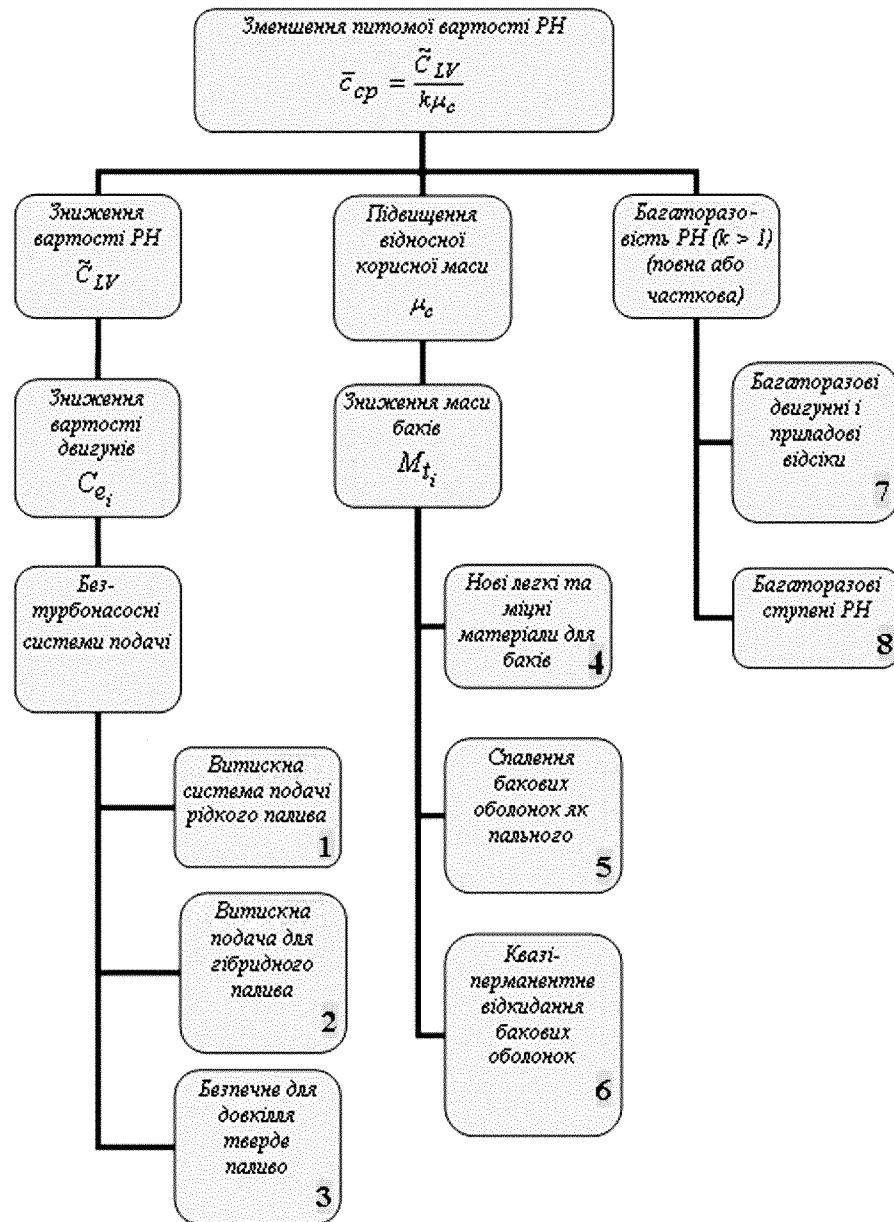


Рис. 2. Основні напрямки зниження питомої вартості РН

порівнюються, параметри, наведені у табл. 4, то за формулами (1), (11) отримаємо значення вартості, показані на рис. 3, а, б. Видно, що ОСРН має більше корисне навантаження і меншу вартість, ніж киснево-углеводнева ОРН, якщо $a_t > 0.8$. Іншими словами, ОСРН є значно

кращою, коли вона використовується як МРН, оскільки МРН на основі традиційних технологій матимуть високі a_t , внаслідок дії масштабного фактора. Питомі вартості ОСРН та киснево-углеводнево-водневої ОРН приблизно однакові в області високих a_t . Отже, у цьому випадку

Таблиця 4. Параметри ступенів спалимих і традиційних ОРН

Параметр	Паливо		
	кисень + гас	кисень + водень	кисень + поліетилен
a_{ti}	0.06...0.12	0.06...0.12	0*
a_{gi}	0.005	0.005	0.005
a_{si}	0.01	0.01	0.01
γ_{e1}/γ_{e2}	0.012/0.015**	0.018	0.016***
$W_i, \text{м/с}$	3500	4500	3500
n_{01}/n_{02}	1.2/0.8	1.2/0.8	1.2

* Згідно з прийнятою масовою моделлю для СРН $a_t = 0$ і $\alpha_i = a_{g_i} + a_{s_i}$, $\beta_i = \gamma_{e_i}$. Але вартість виробництва поліетиленової бакової оболонки СРН враховується в (9) шляхом призначення умовного параметра $a_t = 0.07$. Таке значення a_t приблизно узгоджується із вартістю виробництва традиційних баків, що мають діаметр в кілька метрів.

** Зростання питомої маси двигунів верхніх ступенів спричинене масштабним фактором.

*** Приймається, що питома маса двигунів СРН на 30 % більша за питому масу традиційних двигунів.

краща РН визначатиметься із урахуванням її надійності і витрат на наземне обслуговування.

Важливою особливістю рідинних або гібридних РН з витискою системою подачі є низька маса і вартість двигунної установки та висока маса баків (гібридний двигун розглядається як бак із твердим паливом, оснащений соплом; маса цього сопла приймається за масу двигуна). Ця висока маса спричиняється високим тиском витискання палива, а особливо — великою кількістю газів наддуву. З позиції проектанта РН з витискою системою подачі відрізняються від гібридних РН в основному більшою кінцевою масою баків. (Кінцева маса бака пального у гібридної РН менша, ніж у РН з витискою подачею, тому що перша не вміщує газів надду-

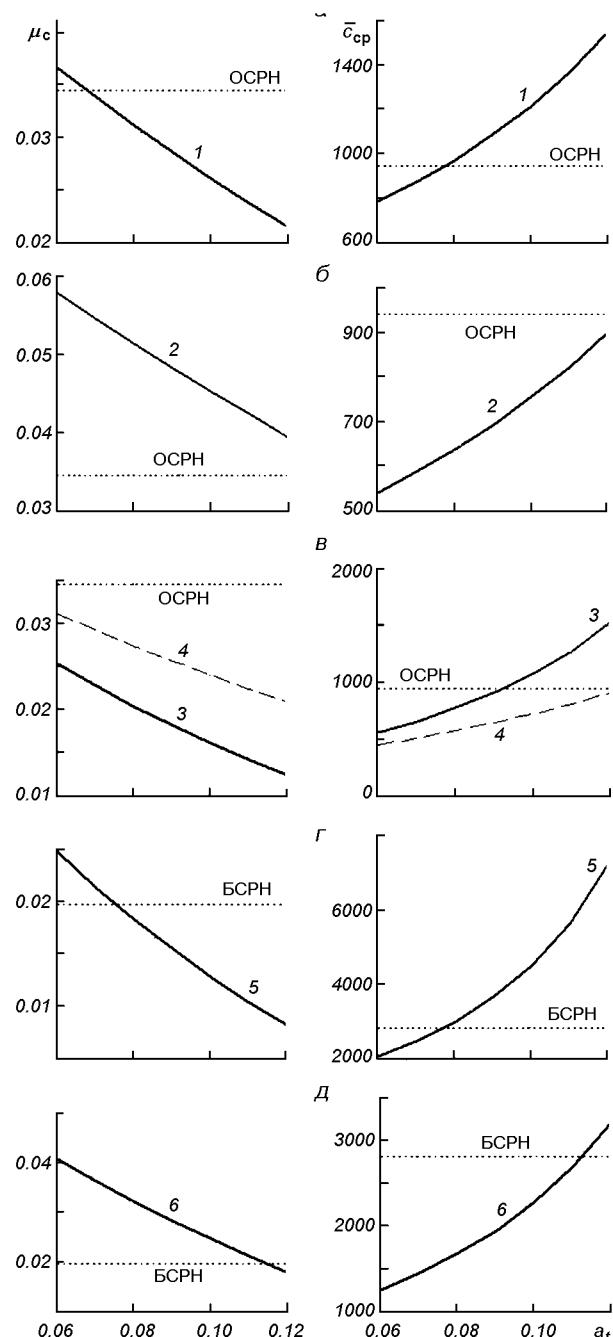


Рис. 3. Порівняння характеристик одноступеневих ОСРН і BCHPН на паливі кисень + поліетилен з характеристиками традиційних РН (1 — двоступенева ОРН з паливом кисень + гас на обох ступенях, 2 — двоступенева ОРН з паливом кисень + гас на першому ступені і кисень + водень на другому ступені, 3 — двоступенева рідинна або гібридна ОРН з витискою системою подачі, 4 — триступенева рідинна або гібридна ОРН з витискою системою подачі, 5 — двоступенева BCHPН з паливом кисень + гас на обох ступенях, 6 — двоступенева BCHPН з паливом кисень + гас на першому ступені і кисень + водень на другому ступені)

Таблиця 5. Параметри ступенів спалимих РН і РН з витисненою системою подачі

Параметр	Паливо		
	рідке: кисень + гас	гібридне: кисень + вуглеводень	кисень + поліетилен
a_{ti}	0.10...0.12	0.10...0.12	0
a_{gi}	0.005	0.005	0.005
a_{si}	0.01	0.01	0.01
γ_i	0.0012*	0.0012*	0.016
$W_i, \text{м/с}$	3100**	3100**	3500
n_i	1.2	1.2	1.2

* Приймається, що відносна маса двигуна для РН з витисненою подачею дорівнює одній десятій маси традиційного турбонасосного двигуна.

** За нашою оцінкою така швидкість витікання властива для двигунів з тиском в камері згоряння 5...7 МПа.

ву). З цієї причини ці обидва типи РН, у випадку, коли вони мають однакову кількість ступенів, представлені на рис. 3, в однією криовою.

Прийняті параметри РН наведено в табл. 5. Результати порівняння проілюстровано на рис. 3, в. Видно, що триступенева ОРН з витисненням має корисну масу, приблизно рівну масі традиційної двоступеневої ОРН, що представлена на рис. 3, а. Також видно, що питома вартість триступеневої безтурбонасосної ОРН суттєво нижча, ніж вартість традиційної двоступеневої ОРН, і приблизно така ж, як вартість ОСРН (в діапазоні a_i , властивих для безтурбонасосної ОРН). Тобто, краща РН визначатиметься поміж одноступеневих СРН і багатоступеневих РН із урахуванням їхніх надійностей і витрат на наземне обслуговування. Необхідно також врахувати витрати, пов'язані з падінням відпрацьованих ступенів в разі використання багатоступеневих систем.

ПОРІВНЯННЯ ОДНОРАЗОВОЇ ОДНОСТУПЕНЕВОЇ СРН З ПОВНИСТЮ БАГАТОРАЗОВОЮ ДВОСТУПЕНЕВОЮ РН

Згідно з [8] для БРН формула (1) має вигляд

$$\mu_c = \prod_{i=1}^N \frac{\mu_{k_i} - \bar{\alpha}_i - \beta_i n_i}{1 - \bar{\alpha}_i}, \quad (13)$$

де

$$\bar{\alpha}_i = \frac{a_{t_i} + a_{g_i} + a_{s_i}}{1 + a_{t_i} - a_{r_i}},$$

$$\bar{\beta}_i = \frac{\gamma_{e_i}}{1 + a_{t_i} - a_{r_i}},$$

$$M_{r_i} = M_{0_i}(\mu_{k_i} - \mu_{c_i})a_{r_i},$$

M_{ri} та a_{ri} — абсолютні та відносні маси засобів рятування i -го ступеня. Формула (10) набуде вигляду

$$\begin{aligned} \bar{C}_{RLV} = & \sum_{i=1}^N [\bar{c}_{p_i}(1 - \mu_{k_i}) + \bar{c}_t(1 - \mu_{k_i})a_{t_i} + \bar{c}_e n_0 \gamma_{e_i} + \\ & + \bar{c}_g(1 - \mu_{c_i})a_{g_i} + \bar{c}_s(1 - \mu_{c_i})a_{s_i} + \bar{c}_r(\mu_{k_i} - \mu_{c_i})a_{r_i}] \times \\ & \times M_0 \prod_{j=0}^{i-1} \mu_{c_j}. \end{aligned} \quad (14)$$

Порівняймо одноступеневу БСРН та двоступеневу БРН традиційного влаштування (її перший ступінь здійснює парашутно-реактивну посадку у віддаленому від місця старту районі, а другий ступінь повертається з орбіти і приземлюється за допомогою парашутно-реактивної системи в районі старту). З урахуванням даних [8] приймемо, що для парашутно-реактивного приземлення першого ступеня $a_{ri} = 0.1$, для спуску з орбіти і парашутно-реактивного приземлення другого ступеня $a_{ri} = 0.5$, для спуску з орбіти і парашутно-реактивного приземлення спускового апарату $a_{ri} = 0.3$. Збільшення маси для засобів рятування другого ступеня у порівнянні зі спусковим апаратом пояснюється більшою площею теплозахищеної поверхні. Використовуючи формулі (12)–(14), дані табл. 4 та приведені значення a_{ri} , при $k = 1$ отримаємо результати, представлені на рис. 3, г, д.

Тут головним є те, що за показником \bar{c}_{cp} одноступенева киснево-вуглеводнева БСРН є кращою за двоступеневу БРН на тому ж паливі і приблизно рівною із двоступеневою киснево-вуглеводнево-водневою БСРН. Отже, при однаковій кратності використання перевага БСРН над традиційною БРН визначатиметься витратами на ремонтно-поновлювальні роботи. З цієї позиції перевагою БСРН є відсутність витрат, пов'язаних з повторним використанням першого

ступеня, в тому числі з поверненням його до місця старту. Взагалі врятування порівняно невеликого спускного апарату видається задачею значно простішою, ніж врятування всього ступеня з великогабаритними баковими відсіками. Складними задачами є м'яка посадка такого ступеня в разі приземлення, або поновлення придатності до роботи рідинного двигуна такого ступеня в разі приводнення.

ВИСНОВКИ

Одноступенева киснево-углеводнева одноразова СРН матиме приблизно таку ж питому вартість (без урахування наземного обслуговування), як найкращі перспективні багатоступеневі одноразові РН, призначенні для зниження питомої вартості виведення за допомогою традиційних засобів, якщо стартові маси цих РН не є меншими за кілька сотень тонн. Якщо ж розглянатимутися РН із стартовими масами в кілька десятків тонн або ще менші, то СРН, на яку слабо впливає масштабний фактор, буде кращою при її використанні як МРН для мікросупутників.

Одноступенева киснево-углеводнева багаторазова СРН матиме приблизно таку ж питому вартість (без урахування вартості наземного обслуговування), як двоступенева киснево-углеводнево-воднева БРН. Однак перевагою БСРН є можливість врятування двигунової установки і приладів системи керування в єдиному спускному апараті.

Таким чином, найефективнішими областями використання СРН є МРН для мікросупутників і БРН. Недоліком втілення цієї ідеї є необхідність розробки нових агрегатів — газифікаційної камери, компресора піролізованого поліетилену, обтюратора.

- Архипова З. В., Григорьев В. А., Веселовская Е. В. и др. Полиэтилен низкого давления. Научно-технические основы промышленного синтеза. — Л.: Химия, 1980.—240 с.
- Ємець В. В. Поліетиленове пальне з металомісткими наповнювачами для автофажних ракет-носіїв // Вісник Дніпропетровського ун-ту. Ракетно-космічна техніка.—2000.—Вип. 4.—С. 45—56.

- Ємець В. В. Експеримент з моделлю ракетного двигуна на газоподібному поліетиленовому пальному // Космічна наука і технологія.—2006.—12, № 2/3.—С. 103—107.
- Ємець В. В. Обтюратор двигунного блоку спалимої ракети-носія // Вісник двигунобудування.—2007.—№ 2.—С. 17—23.
- Ємець В. В., Костріцин О. Ю. Оцінка характеристик компресора для газоподібних продуктів термічної конструкції поліетилену // Вісник Дніпропетровського університету. Ракетно-космічна техніка.—2006.—Вип. 10.—С. 29—35.
- Ємець В. В., Санін Ф. П. Автофажні ракети-носії. На шляху від ідеї до реалізації. I. З історії проблеми // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки: Зб. наук. праць / За ред. А. С. Макарової. — Дніпропетровськ: Навчальна книга, 2000.—Т. 2.—С. 5—14.
- Ємець В. В., Санін Ф. П. Автофажні ракети-носії. На шляху від ідеї до реалізації. II. Спалення бакових оболонок // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки: Зб. наук. праць / За ред. А. С. Макарової. — Дніпропетровськ: Навчальна книга, 2001.—Т. 3.—С. 5—18.
- Мишин В. П., Безвербий В. К. и др. Основы проектирования летательных аппаратов (транспортные системы): Учебник для технических вузов / Под ред. В. П. Мишина. — М.: Машиностроение, 1985.—360 с.
- Yemets V., Masliany M., Kostritsyn O. Coated Magnetic Powder as a Sealing and Damping Material // Magnetohydrodynamics.—2007.—43, N 3.—P. 3—9.

MOST EFFECTIVE AREAS FOR LAUNCH VEHICLES WITH COMBUSTIBLE POLYETHYLENE TANKS

V. V. Yemets

We present the analysis of modern and advanced ways of space transportation cost decreasing. The fact that using polyethylene tank shell as fuel is one of effective ways with unique abilities are demonstrated and supported by means of economical calculations. Particular features of the combustible launch vehicle (CLV) are its ability to be realized as a single-stage LV and the absence of conventional tankage structures. It allows us to develop the reusable CLV equipped with the inexpensive single descent module with recovering the engine and control devices. The CLV-technology is especially favourable for launching microsatellites by means of advanced small launch vehicles because the mass of the combustible polyethylene tank shell does not depend on the LV scale and always equals the mass of fuel only. The advantages of the CLV are illustrated through the comparison of the specific cost and cargo mass of different modern and advanced, expandable and reusable LVs. The procedure and formulas for the comparison are presented.

УДК 536.3:681.586.5

Г. Ф. Горностаев

Інститут проблем матеріалознавства ім. І. Н. Францевича Національної академії наук України, Київ

Стендовые испытания теплозащиты при лучистом нагреве

Надійшла до редакції 22.06.07

Експериментальним шляхом підтверджено ефект накопичення тепла у поверхневому шарі теплозахисного матеріалу при підвищенні його температури, а також явище перевипромінювання поверхнею ТЗМ променевої енергії, котра не була поглинута матеріалом. Запропоновано метод оцінки температури поверхні ТЗМ волоконно-оптичним датчиком, який не потребує застосування обтюратора.

ВВЕДЕНИЕ

При входе космического аппарата в плотные слои атмосферы со второй космической скоростью интенсивность лучистого нагрева поверхности теплозащиты становится соизмеримой с уровнем конвективного теплового потока. Это обуславливает необходимость разработки средств и методов [10] исследования разрушения теплозащиты в условиях лучистого нагрева, моделирующих натурные условия работы космического аппарата. В данной работе проведены результаты исследования процессов разрушения теплозащитных материалов с помощью волоконно-оптических датчиков двух типов: при торцевом освещении оптоволокна и при боковом освещении оптоволокна. Испытания проводились на гелиоконцентраторе СГУ-4 с диаметром зеркала 2 м и на установке «Уран» с ксеноновой лампой, установленной в центре зеркала диаметром 0,6 м. Максимальное значение лучистого теплового потока составляло 9,2 МВт/м² на установке СГУ-4, что примерно соответствует условиям входа баллистических систем, для которых были выполнены стендовые испытания материалов по заказу ЦКБМ (Россия).

ПРИМЕНЕНИЕ ДАТЧИКА С ТОРЦЕВЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ ОПТОВОЛОКНА

Задача численного расчета величины подводимого радиационного теплового потока (РТП) значительно усложняется, поскольку для этого необходимо знать термодинамические и оптические свойства газовой смеси в каждой точке слоя за скачком уплотнения, а также тепловые нагрузки в любой точке поверхности.

Анализ результатов [2, 4], полученных при испытании датчиков радиационного теплового потока со сквозным световодом в условиях радиационного нагрева (на солнечном концентраторе СГУ-4), свидетельствует о наличии трех характерных точек, определяющих динамику изменения величины светового потока на выходе «сквозного» световода в процессе его теплового разрушения (рис. 1).

Собственное излучение горячего торца оптоволокна J_{cb} можно определить из соотношения

$$J_{\text{cb}} = J_{\text{фпз}} - J_w \tau^*,$$

где $J_{\text{фпз}}$ — световой поток на фотоприемник после стабилизации сигнала (рис. 1, точка 3), τ^* — пропускание оплавленного световода, J_w — падающий лучистый поток.

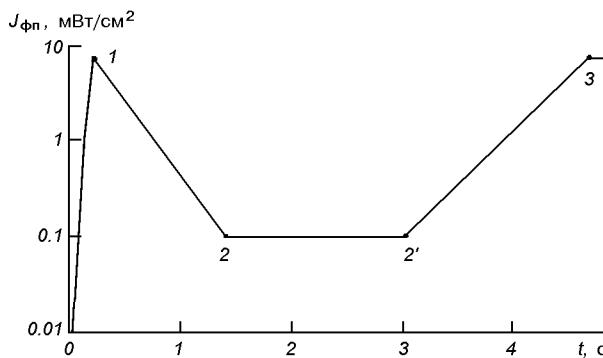


Рис. 1. Изменение светового потока $J_{\text{ФП}}$ на фотоприемник (установка СГУ-4, $J_w = 9.2 \text{ МВт/м}^2$, торцевое освещение сквозного световода)

Наличие участка 1—2—2'—3 (рис. 1) можно объяснить тем, что константа теплового разрушения [9], которая определяет количество тепла, накапливаемого на участке 1—2 в поверхностном слое материала в процессе повышения температуры от начала разрушения (плавления) в точке 1 до ее стабилизированного значения (в точке 3) играет фундаментальную роль [11] в процессах прогрева и уноса массы теплозащитного материала (ТЗМ). Она определяет закономерности перемещения поверхностных изотерм, нестационарного уноса массы и изменения температуры поверхности ТЗМ, а также объясняет наличие провала амплитуды сигнала на участке 1—2.

Петрографический анализ оплавленных световодов показал, что пленка расплава на торце состоит из трех стекол, соответствующих материалу жилы, оболочки и продукту их взаимодействия. Показатель преломления этой пленки оказался средним между показателем преломления оболочки и жилы световода:

$$\Pi_{\text{об}} = 1.450, \quad \Pi_{\text{пл}} = 1.457, \quad \Pi_{\text{ж}} = 1.463.$$

Потери энергии на термически разрушаемом торце и цилиндрической составляющей световода имеют сложный характер зависимости от структурных изменений поверхности, длины волны, времени, среды и т. д., поэтому теоретическое определение пропускания оплавляемого световода весьма затруднено [7]. Имея экспериментально определенное значение $\tau^* = 0.1\tau$, (τ — пропускание холодного световода) на стенде СГУ-4 с помощью датчиков со сквозными

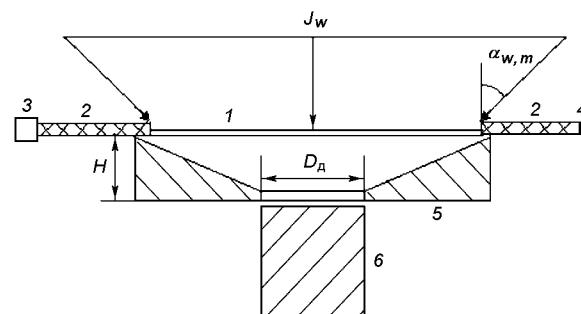


Рис. 2. Схема расположения распределенного датчика на установке «Кристалл-М»: 1 — кварцевая сердцевина оптоволокна, 2 — оптоволокно, 3 — фотоприемник, 4 — черный лак, 5 — диафрагма, 6 — ТЗМ, D_d — диаметр диафрагмы, J_w — падающий лучистый поток, $\alpha_{w, m}$ — максимальный угол падения пучка лучей, H — высота диафрагмы

световодами осуществлялся контроль изменения падающего потока J_w в процессе линейного уноса различных теплозащитных материалов при $J_w \leq 9.2 \text{ МВт/м}^2$: асбо- и стеклопластиков, сублимирующих материалов.

ПРИМЕНЕНИЕ ДАТЧИКА С БОКОВЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ ОПТОВОЛОКНА

С помощью распределенного волоконно-оптического датчика (рис. 2) антенного типа [3] был обнаружен эффект переизлучения нагреваемой поверхностью ТЗМ лучистой тепловой энергии, которая не была поглощена материалом.

Для контроля режима лучистого нагрева образцов был использован датчик РТП из гибкого оптоволокна диаметром 1 мм системы кварц-полимер с диаметром кварцевого сердечника около 0.4 мм. На участке 1 гибкого световода были сняты обе полимерные оболочки и кварцевая сердцевина освещалась излучением ксеноновых ламп.

Эксперименты проводили на установке лучистого нагрева «Кристалл-М» (ИПМ НАНУ) с тремя зеркальными концентраторами диаметром 0.6 м, оснащенными десятикиловаттными ксеноновыми лампами. Оси концентраторов были расположены под углом 120° к оптической оси установки. Датчик размещали над водоохлаждаемой диафрагмой. Аналоговый сигнал датчика

РТП выводился на экран персонального компьютера вместе с показаниями термопары, расположенной в исследуемом материале.

Основные потери в кварцевом оптоволокне (ОВ) вызваны упругим рэлеевским рассеянием, при котором не происходит изменение длины волны. Подводимое излучение возбуждает мелкомасштабные неоднородности в волокне, которые действуют как вторичные индуцированные дипольные излучатели, генерирующие излучение в широком угловом спектре. Световод с конечной числовой апертурой захватывает часть рассеянного излучения и канализирует его по направлению к торцам световода. Излучения от каждого элементарного рассеивателя суммируются векторно [6].

Для режимов постоянного интенсивного нагрева образца ТЗМ снижение температуры T_w поверхностного слоя Ti-Al (вследствие плавления Al) сопровождалось увеличением лучистого потока J_T от поверхности ТЗМ к сердцевине оптоволокна (рис. 3).

Аналогичный эффект был также ранее обнаружен с помощью световодного датчика радиационного теплового потока на границе шлак-металл в процессе выплавления слитка в кристаллизаторе установки электрошлакового переплава [9]. Это свидетельствует об общности данного процесса при высокointенсивном нагреве и плавлении различных материалов.

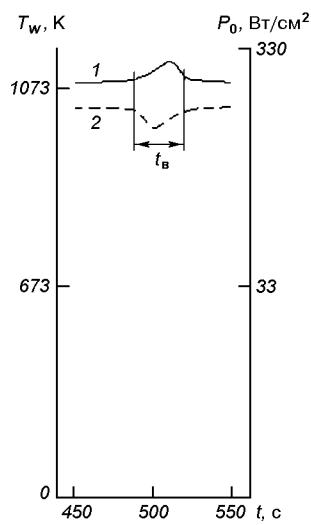


Рис. 3. Изменение лучистого потока P_0 (1), а также температуры (2) поверхности образца Ti — Al на установке «Кристалл-М»; t_B — время «высвечивания» поверхности ТЗМ

ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛА

Известны методы измерения температуры материала при торцевом освещении оптоволокна [1].

С целью применения распределенного датчика (рис. 2) с боковым освещением оптоволокна для оценки температуры поверхности ТЗМ в процессе лучистого нагрева на установке «Уран» были проведены одновременные измерения показаний распределенного датчика РТП и термопары, установленной под нагреваемой поверхностью образца из графита.

Целью создания распределенного датчика температуры поверхности ТЗМ является упрощение применяемой ранее методики испытаний ТЗМ при лучистом нагреве, которая использовала механическое затемнение нагреваемой поверхности образца теплозащитного материала с помощью вращающегося обтюратора.

На рис. 4 представлен результат градуировки распределенного датчика по температуре поверхности графитового образца, выполненной в режиме остывания материала (после выключения ксеноновой лампы на установке «Уран»).

В качестве фотоприемника использовался германиевый фотодиод, имеющий максимальную чувствительность в диапазоне длин волн

$$\lambda_{\max} = 1.4 \dots 1.65 \text{ мкм.}$$

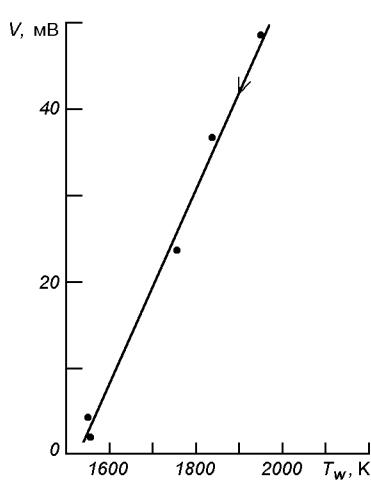


Рис. 4. Выходное напряжение $V(J_T)$ распределенного датчика, полученное при остывании графитового образца на установке «Уран» после выключения лампы

Вторичными излучателями являлись микродефекты в стекле оптоволокна.

Сравнительно небольшой вклад в общие потери вносит поглощение при взаимодействии фотонов с электронами или с колебательными состояниями основных компонентов материала сердцевины световода. Для кварца это поглощение существенно возрастает при $\lambda > 1.7$ мкм и для УФ-области спектра. Минимум потерь в кварцевых световодах определяется только фундаментальными механизмами, а не примесями и дефектами, и приходится на спектральную область 1.2—1.7 мкм.

Считается, что затухание света в среде SiO_2 происходит только вследствие рассеяния на неоднородностях. Современные ОВ изготавливаются из веществ, в которых размер неоднородностей много меньше длины волн. К ним относятся пространственные флуктуации показателя преломления порядка размера молекул, а также сами молекулы.

Мощность рэлеевского рассеяния в чистом веществе согласно [8] составляет

$$P = P_0 \frac{\sigma T}{\lambda_0} \beta \left(\rho n \frac{dn}{dp} \right)^2,$$

где T — абсолютная температура, λ_0 — длина волны излучения, σ — постоянная Больцмана, β — сжимаемость, n — показатель преломления, P_0 — мощность подводимого излучения, ρ — плотность вещества.

Часть рассеянной энергии, перехватываемая оптическим волокном, определяется по формуле [5]

$$Q = \frac{M^2}{4n_{10}},$$

где M — числовая апертура оптоволокна, n_{10} — показатель преломления сердцевины.

Плотность светового потока на фотоприемнике J_ϕ определяется как произведение эффективного коэффициента пропускания τ_s сердцевины оптоволокна на подводимый к датчику лучистый поток P_0 :

$$J_\phi = P_0 \tau_s.$$

На рис. 5 представлена зависимость величины поправки $\Delta V(I_n)$, которую необходимо вычесть из амплитуды сигнала $V(J_\phi)$ датчика при проведении измерений температуры материала в ре-

жиме нагрева образца на установке «Уран»:

$$V(T_w) = V(J_\phi) - \Delta V(I_n).$$

Это необходимо для того, чтобы выделить амплитуду сигнала датчика, обусловленную только нагретой поверхностью ТЗМ.

Зависимость, представленная на рис. 5, получена путем сравнения показаний датчика при одинаковой температуре T_w для двух режимов: режима нагрева и режима остывания образца после выключения лампы.

Величина $\Delta V(I_n)$ определяет величину выходного напряжения фотодиода, обусловленную только излучением ксеноновой лампы, падающим на боковую поверхность кварцевой сердцевины оптоволокна (рис. 3).

Сравнительно большая плотность лучистого потока, которую способны пропустить через себя современные кварцевые оптоволокна, объясняется их высокой прозрачностью в спектральной области излучения Солнца или искусственных имитаторов, например ксеноновых ламп.

Современные оптоволокна изготавливаются главным образом из химически чистого SiO_2 , в который при необходимости добавляют соответствующие присадки. Они содержат небольшую составляющую гидроксильной группы OH, заметно поглощающую на длинах волн 1.378...1.41 мкм.

Рэлеевское рассеяние обусловлено мелкомасштабными (по сравнению с длиной волны) флуктуациями плотности или химического состава вследствие неравновесных состояний, возникающих в момент стеклования. Результирующие неоднородности вызывают почти изотроп-

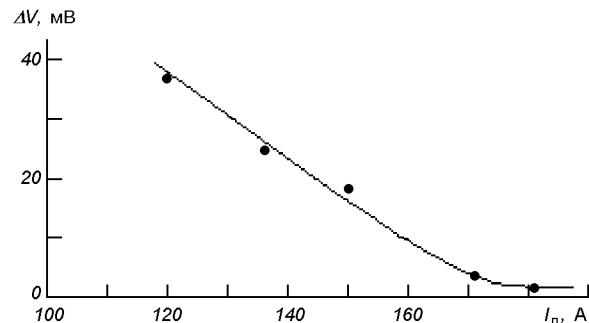


Рис. 5. Поправка $\Delta V(I_n)$, вычитаемая из показаний распределенного датчика температуры в режиме нагрева графитового образца на установке «Уран» в зависимости от тока I_n накала лампы

ное рэлеевское рассеяние ($\lambda \leq 1.55$ мкм), которое распространяется по направлению к торцу оптоволокна, на котором установлен инфракрасный германиевый фотодиод, регистрирующий рассеянный на микродефектах оптоволокна поток излучения, пропорциональный температуре поверхности образца ТЗМ.

ВЫВОДЫ

1. С помощью волоконно-оптических датчиков с торцевым и боковым освещением оптоволокна на стенах лучистого нагрева ИПМ НАНУ обнаружены эффекты накопления тепла в поверхностном слое ТЗМ и «высвечивания» (переизлучения) лучистого потока разрушающей поверхностью ТЗМ во внешнее пространство.

2. Разработан метод оценки уровня температуры поверхности ТЗМ в условиях лучистого нагрева с помощью распределенного волоконно-оптического датчика. Метод исключает необходимость использования механического обтюратора, что значительно упрощает процесс проведения температурных измерений при лучистом нагреве ТЗМ в стендовых условиях.

- Бельский О. И., Свет Д. Я., Шиш Ю. И. Измерение температуры ванны жидкого металла в конверторе светодиодным устройством // Объективные методы пирометрии излучения металлов. — М.: Наука, 1976.— С. 177—183.
- Горностаев Г. Ф., Пасичный В. В., Ткаченко Г. В. Метод измерения лучистой составляющей теплового потока на поверхности керамической теплозащиты // Космічна наука і технологія.—2006.—12, № 2/3.— С. 98—102.
- Горностаев Г. Ф., Пасичный В. В., Ткаченко Г. В. Разработка методов диагностики турбогенератора воло-

конно-оптическими датчиками // Промышленная теплотехника.—2007.—29, № 1.—С. 92—100.

- Горностаев Г. Ф., Теплякова О. А. Применение световодов для выделения лучистой составляющей теплового потока // Порошковая металлургия.—1996.—№ 5/6.— С. 48—51.
- Горностаев Г. Ф., Фролов Г. А., Пасичный В. В., Ткаченко Г. В. Волоконно-оптическая теплометрия и ее применение // ИФЖ.—2007.—80, № 3.—С. 180—185.
- Иванов А. Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. — М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 1999.—671 с.
- Окоси Т. Волоконно-оптические датчики: Пер. с япон. — Л.: Энергоатомиздат, 1991.—256 с.
- Скляров О. К. Современные волоконно-оптические системы передачи, аппаратура и элементы. — М.: СОЛОН-Р, 2001.—237 с.
- Скородод В. В., Фролов Г. А., Горностаев Г. Ф. Аномальная теплопередача на границе шлак—металл в установке электрошлакового переплава // Доп. НАН України.—2004.—№ 7.—С. 90—96.
- Слезингер И. И. Аппаратура для испытаний носовых частей баллистических ракет при входе в плотные слои атмосферы // Экспресс-информ. Испытательные приборы и стенды.—1978.—№ 23.—С. 17—31.
- Фролов Г. А. Температура поверхности тела, разрушающегося под действием постоянной тепловой нагрузки // ИФЖ.—1987.—53, № 3.—С. 420—426.

BENCH TESTS OF HEAT-SHIELDING AT RADIANT HEATING

G. F. Gornostaev

The effect of heat accumulation in the superficial layer of heat-shielding materials during the increase of its temperature was confirmed by an experimental approach. Experimentally, we confirmed the existence of emission of radiation energy which was not absorbed by a material by the surface of heat-shielding materials. We propose the method for the estimation of the temperature of the surface of a heat-shielding material with the use of the distributed fiber-optical gauge not demanding the application of the obturator.

УДК 629.(78)

Ю. Г. Даник

Національна академія оборони України, Київ

Безпілотні літальні апарати: означення, класифікація, стан та перспективи розвитку і використання

Надійшла до редакції 25.05.07

Розглянуто означення, класифікацію, стан, концептуальні напрямки розвитку та перспективи використання безпілотних засобів.

Радикальні зміни міжнародної обстановки, які відбуваються останнім часом, значно впливають на погляди про характер і рівень загрози національній безпеці у світі та Україні зокрема. Найбільш імовірні для східноєвропейських країн воєнні небезпеки й загрози пов'язуються із можливістю виникнення внутрішньодержавних і прикордонних конфліктів, обумовлених економічними й ресурсними кризами, істотною соціально-політичною неоднорідністю країн, взаємними територіальними претензіями, національно-етнічними, релігійними й регіональними чинниками. Все це може стати причиною того, що навіть при відсутності внутрішніх чинників у будь-якій країні її найближче оточення може перетворитися у потенційні вогнища конфліктів, що створюють загрозу їхній безпеці.

Тому у Законі України «Про основи національної безпеки України», у Військовій доктрині України та ряді інших документів зазначається, що найбільш імовірними із можливого спектру загроз національній безпеці України на найближчу перспективу є військово-політична нестабільність і конфлікти в сусідніх країнах, а також терористичні дії різноманітних угрупувань, діяльність яких становить загрозу усьому цивілізованому світу [2, 6]. При цьому слід

враховувати, що локальні війни і збройні конфлікти все частіше набувають характер довготривалих і важко врегульованих. За підрахунками експертів з початком третього тисячоліття на нашій планеті було зафіксовано близько 70 районів, які викликали крайню стурбованість світової спільноти, у 22 державах велись війни, у 24 спостерігалося зростання воєнної напруги, у 25 обстановка характеризувалася як передконфліктна, тобто коли конфліктуючі сторони знаходились на межі збройного зіткнення. Вибухонебезпечні райони охоплювали територію з населенням близько 30 млн чоловік.

У цих умовах потрібно підтримувати такий стан усіх складових національної безпеки, при якому її рівень не може бути нижчим за припустимі межі.

Сучасні концепції «глобальної бойової дії», «асиметричних бойових дій», «глобального обхвату», «мережевоцентричних війн», «стратегічного паралічу», «паралельних війн» передбачають бойову дію на вірогідних супротивників дистанційно з використанням всеосяжного розвідувально-інформаційного забезпечення, інформаційної, високоточної ракетної зброї, безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та інших бойових засобів. При цьому вважається, що

удари будуть наноситися перш за все по найважливіших об'єктах із забезпеченням гранично досяжної швидкості і точності дії на їхні «критичні» складові одночасно на всій території держави (...аналіз систем національної безпеки свідчить про обов'язкову наявність в них найбільш уразливих точок (підсистем, складових, об'єктів), які отримали назву «слабких ланок», «слабких місць», «болових» або «критичних» точок, вплив на які або знищує систему або незворотним чином змінює її характеристики і алгоритми функціонування [4]). Метою таких дій є порушення їхнього функціонування, поразки або знищення і позбавлення держави, по якій завдається удар, здатності ведення війни. Бойові дії при цьому прийматимуть динамічний, дуже часто осередковий характер, нерівномірно розвиватимуться по окремих операційних напрямах (із реалізацією принципу зосередження зусиль), стають об'ємно-багатовимірними.

Більшість елементів цих стратегій вже відпрацьовувалася практично і одержано підтвердження їхньої ефективності і застосовності у війнах майбутнього. Переважно — у звичних війнах нового вигляду будь-якого масштабу. Досягнення цілей при такому веденні війни може бути забезпечено, перш за все, на основі поразки об'єктів державного і воєнного управління, інформаційної інфраструктури та економіки шляхом узгодженого нанесення по них інформаційних ударів і масованих ударів безпілотної високоточної зброї різного базування. На цей час безпілотні засоби є одним із основних елементів інформаційно-розвідувального забезпечення і дистанційного впливу на противоручу сторону. Безпілотні авіаційні комплекси (БпАК) стали обов'язковою частиною озброєння сучасних армій. Розвиток силового компонента суб'єктів національної безпеки і оборони в ХХІ ст. буде неповним без широкого їхнього використання. Якщо раніше одержувана цими засобами інформація призначалася передусім для вирішення стратегічних, і рідше оперативних завдань, то з початку 1990-х рр. розвиток інформаційних систем і способів використання інформації, що поставляється ними, привів до суттєвого зростання їхньої ролі при веденні бойових дій в тактичній ланці. Неабиякого значення вони набувають і в цивільному секторі високорозвинених країн.

Метою роботи є дослідження концептуальних напрямків розвитку та застосування безпілотних засобів в інтересах вирішення задач національної безпеки та в інших сферах, виявлення й освітлення проблемних питань та шляхів їхнього вирішення.

Розгляд зазначених питань доцільно розпочати із уточнення поняття «безпілотний літальний апарат». У низці визначень, наданих у енциклопедичних виданнях та у фундаментальних працях відомих фахівців, найбільш вдалими і цікавими є такі.

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) — літальні апарати, управління якими здійснюється без екіпажу. До них відносяться дистанційно пілотовані (ДПЛА) і безпілотні літальні апарати літакової схеми, управління якими здійснюється автономно (БПЛА), а також автоматичні космічні апарати. ДПЛА і БПЛА можуть бути бойовими (ударними), розвідувальними і бути мішенями одно- чи багаторазового застосування. В ширшому сенсі до БПЛА відносять також і керовані ракети [1].

В американських джерелах на цей час розділяють поняття UAV (Unmanned Aerial Vehicle) і RPV (Remotely Piloted Vehicle). Термін RPV буквально означає «дистанційно пілотований апарат». Так американські фахівці називають літальні апарати, управління якими здійснює оператор. Останнім часом в обіг введено також термін UCAV (Unmanned Combat Aerial Vehicle) для визначення спеціалізованих ударних бойових безпілотних літальних апаратів. UCAV призначений для подавлення противника шляхом нанесення високоточних ударів.

Використовуються також такі визначення.

Дистанційно пілотований літальний апарат (ДПЛА) — безпілотний літальний апарат, безперервне управління яким здійснюється тим або іншим способом з нерухомого або рухомого пункту управління. ДПЛА — це автоматичний літальний апарат, здатний виконувати політ за заданим маршрутом і підтримувати свою орієнтацію в просторі без участі людини, але завжди готовий невідкладно реагувати на команди людини-оператора.

Деякі фахівці пропонують ввести термін безпілотний автоматичний літальний апарат (БПЛА) — безпілотний літальний апарат, який реалізує своє функціональне призначення в ав-

томатичному режимі згідно із закладеними в нього алгоритмами і програмами функціонування (крилаті ракети, літаки-розвідники і т. ін.).

(Цікаво, що за радянських часів різниця між БПЛА та ДПЛА була ще й суто відомчою: БПЛА — це Мінавіапром, а ДПЛА — Мінрадіопром. Але самі планери для ДПЛА Мінрадіопрому розробляли в КБ Мінавіапрому).

Підсумуємо приведені визначення термінів «безпілотний літальний апарат» і «дистанційно пілотований літальний апарат». Перш за все в сучасних зразках цієї техніки (окрім окремих зразків, наприклад деяких типів крилатих ракет), як правило, передбачені можливості реалізації як автономного управління за програмами, так і втручання у процес управління людини-оператора. По-друге, ці літальні апарати можуть будуватися за будь-якою схемою, і в залежності від цільового навантаження виконувати будь-які завдання. І хоча відомі проекти БПЛА, розроблені здебільшого для завдань розвідки, широкий спектр технологічних напрацювань з високим ступенем уніфікації і модульності побудови надає можливість створення систем (комплексів) БПЛА для виконання будь-яких завдань. Це може бути: збір інформації, що забезпечує ухвалення політичних рішень в кризових ситуаціях; оптична, радіометрична, радіолокаційна, радіо- і радіотехнічна, радіаційна, хімічна і бактеріологічна розвідка вдень і вночі; виявлення мін і мінних полів та їхня установка; радіоелектронна боротьба (постановка активних і пасивних радіоелектронних завад радіо- і радіотехнічним засобам супротивника); лазерна дальніометрія і лазерні цілевказівки системам ВТЗ; управління вогнем і цілевказівки наземній і морській артилерії; нанесення ударів по наземних цілях, ураження високозахищених цілей (у перспективі боротьба з повітряними цілями); виявлення і ураження РЛС; придушення ППО супротивника; оцінювання результатів ударів, нанесених по супротивнику; протиракетна оборона на ТВД, включаючи виявлення і знищення цілей; ретрансляція повідомлень і даних; збір метеорологічної інформації тощо. Тому питання цільового призначення і принципів управління (дистанційно, автономно) слід вилучити із визначень і передбачити у класифікації цих виробів. Їхньою найголовнішою відрізнювальною

відзнакою є те, що на їхньому борту фізично відсутня людина.

Виходячи із зазначених особливостей, можна запропонувати наступне визначення: БПЛА — це будь-який літальний апарат без людини на борту, призначений для рішення будь-яких завдань, керований дистанційно, програмно чи комбіновано.

Основними складовими БПЛА є: повітряна платформа з системою посадки, силова установка, джерело живлення для силової установки, система електроживлення, бортове радіоелектронне обладнання, до якого відносять бортове обладнання управління і електронні елементи цільового навантаження. До складу бортового обладнання управління входять бортова електронно-обчислювальна машина чи спеціальні процесори, приймач сигналів радіонавігаційної системи, висотомір, гіровертикаль, бортова система зв'язку і передачі даних, рульові машинки.

Таким чином, БПЛА є складним інтегрованим комплексом, який у свою чергу є складовоюю безпілотних авіаційних комплексів (БпАК). До БпАК входять також наземний (морський, повітряний) пункт управління та засоби забезпечення (підготовки до запуску, виконання запуску, транспортування, обслуговування).

Обов'язковими елементами пункту управління є: система засобів управління повітряною платформою (пілотування) із командним радіоканалом управління, система управління цільовою апаратурою із засобами, які забезпечують отримання поточної розвідувальної інформації та виконання інших цільових завдань, система обробки результатів розвідки та їхньої підготовки до використання, засоби зв'язку і передачі даних користувачам.

Надзвичайно важливим з практичної точки зору є питання класифікації БПЛА. Класифікувати БПЛА можна за такими ознаками: за масштабом вирішуваних завдань, за рівнем і ланкою використання, за характером завдань, що БПЛА виконують, за вагою, за тривалістю польоту, за практичною стелею польоту, за типом літального апарату, за базуванням, за кратністю застосування, за типом двигуна. Вперше система класифікації була надана в роботі [5]. Загальна удосконалена, доповнена і уточнена класифікація безпілотних засобів показана на рисунку.

<i>За масштабом вирішуваних завдань</i>			
тактичні	оперативно-тактичні		оперативно-стратегічні
ближньої дії (до 80 км)	малої дальності (до 300 км)	середньої дії (до 700 км)	великої дальності польоту (більше 700 км)
<i>За рівнем і ланкою використання</i>			
бригада, батальйон	армійський корпус, дивізія	оперативне управління СВ на ТВД	оперативне управління збройних сил на ТВД
<i>За характером завдань</i>			
розвідники, РЕБ	забезпечувальні (зв'язок, управління, метео, мішені)	комбіновані	бойові (ударні)
<i>За вагою</i>			
малорозмірні мікро — до 5 кг	середньорозмірні міні — 5—200 кг	великорозмірні 200—2000 кг	важкі > 5000 кг
<i>За тривалістю польоту</i>			
малої тривалості ($t < 6$ год)	середньої тривалості ($6 < t < 12$ год)	великої тривалості ($t > 12$ год)	
<i>За практичною стелею польоту</i>			
маловисотні ($H < 1$ км)	середньовисотні ($1 < H < 4$ км)	висотні ($4 < H < 12$ км)	стратосферні ($H > 12$ км)
<i>За типом літального апарату</i>			
за літаковою аеродинамічною схемою	за гелікоптерною аеродинамічною схемою (вільно літаючі)		легші за повітря (прив'язні)
<i>За базуванням</i>			
наземні	морські		космічні
<i>За кратністю застосування</i>			
одноразові	багаторазові		
<i>За типом двигуна</i>			
електричні	поршневі	турбовальні і турбогвинтові	турбо-реактивні
<i>За принципом управління</i>			
дистанційно пілотовані	автономно (за програмою) пілотовані		комбіновано пілотовані

Початок практичного застосування БПЛА сягає років Другої світової війни, коли їх вперше використовували як мішенні для тренування зенітників. Класичним прикладом першого ударного безпілотного літального апарату є німецький літак-снаряд «Фау-1».

Перші розвідувальні БПЛА створювалися в США на базі керованої повітряної мішенні ВQM-34A «Файербі». У результаті були створені безпілотні літаки-розвідники AQM-34 (типу 147) різноманітних модифікацій і призначень, а також літак радіопротидії AQM-34 Н. У бойовій обстановці БПЛА вперше були використані під час війни у Кореї (1950—1953 рр.). У В'єтнамі безпілотні літаки-розвідники застосовувалися в основному для аерофоторозвідки об'єктів на території країни: значних населених пунктів, позицій підрозділів ППО, мостів, переправ тощо. Всього за час війни у Південно-Східній Азії безпілотні літаки застосовувалися близько 3500 разів і виконали до 80 % всіх розвідувальних польотів при невисокому рівні втрат (блізько 4 % — від ППО та 5 % — через технічні неполадки). Це підтверджувало перевагу БПЛА над піловтонами літаками за критерієм «ефективність — вартість». Безпілотні літаки-розвідники застосовувалися у В'єтнамі, як правило, вдень (з 7 до 9 год та з 14 до 16 год), проте мали місце і нічні польоти з використанням інфрачервоної розвідувальної апаратури. Тактика застосування БПЛА передбачала: запуск з відстані 30—50 км від узбережжя з корабля або з літаконосія DC-130A; політ в район, що розвідується; ведення розвідки і повернення (керування здійснювалося за радіоканалами або за програмою); транспортування БПЛА з району приводнення (приземлення).

Крім того, спеціально обладнаними вертольотами CH-3 відпрацювалися прийоми підхоплення апаратів у повітрі під час їхнього зниження на парашутах. Спочатку аерофоторозвідка безпілотними літаками-розвідниками здійснювалася з великих висот, проте для зниження втрат від вогню ЗРК перейшли на польоти зі змінним профілем. Типовий профіль польоту БПЛА був таким: запуск з літака носія DC-130A на висоті 2000—3000 м; зниження і політ в район об'єкта на висотах 100—150 м після виходу з зони ППО; при поверненні — набір висоти 13 000—14 000 м і політ на цій висоті в район призем-

лення. При такому профілі польоту з висот 100—300 м фотографувалася смуга місцевості довжиною до 180 км і ширину до 1.5 км.

Безпілотні літальні апарати AQM-34 «Теледайл-Райап» виконували польоти на висоті 1000—1500 м і входили в район розташування підрозділів ЗРК за 1—1.5 хв до підходу літаків основних ударних груп. Входячи в зону вогню зенітних ракет першими, вони викликали вогонь на себе, демаскуючи в такий спосіб позиції ЗРК, по яких завдавали удари літаки ударних груп.

Реальним засобом ведення повітряної розвідки, що відповідає сучасним вимогам, стали лише БПЛА другого покоління. Принциповою їхньою відмінністю стало те, що замість фотоапаратів на них встановили портативні телекамери. Такі апарати могли годинами патрулювати потрібні райони, передаючи на наземні КП як загальну панорamu місцевості (для моніторингу), так і її окремі ділянки для детального обстеження.

Наприкінці 1970-х — на початку 1980-х рр. були розроблені і прийняті на озброєння ВПС Ізраїлю малорозмірні розвідувальні БПЛА «Мастиф» і «Скаут». Усього до літа 1982 р. ВПС Ізраїлю мали на озброєнні 620 БПЛА (230 — у розвідувальному варіанті, 390 — у варіанті РЕБ).

Коло завдань БПЛА розширилося: ведення оптико-електронної розвідки; цілевказання і коригування вогню артилерії; постанова активних і пасивних завад засобам ППО. Цьому сприяла наявність на борту різноманітного розвідувального обладнання: телевізійної розвідувальної камери, аерофотоапарата, ІЧ-станції переднього огляду, лазерного далекоміра-цилевказівника, апаратури постанови завад.

У ході ліванського військового конфлікту в червні 1982 р. БПЛА, крім ведення розвідки у глибині оборони противника, вперше вирішували завдання — ведення розвідки на полі бою (тобто у тактичній ланці). Вони могли вести розвідку не тільки стаціонарних, але і рухомих цілей. Дещо різноманітнішими стали засоби ведення повітряної розвідки. Перед нанесенням удару по сирійському угрупованню ППО в долині Бекаа безпілотні літаки-розвідники здійснювали розвідку позицій ЗРК та інших об'єктів ППО за 1-2 доби, а додаткову розвідку — за 1-2 год. У ході нанесення авіаційного удару БПЛА також здійснювали розвідку нових цілей

та оцінювали результати нальоту авіації. Крім розвідки, в реальному масштабі часу вирішувалися нові завдання: коригування артилерійського вогню; наведення літаків-штурмовиків на цілі і видача цілевказання ударним літакам, що мали зброю з лазерною системою наведення.

Вирішувати всі ці завдання дозволяла нова система отримання, передачі та обробки розвідувальної інформації. Зображення місцевості, одержане за допомогою телевізійної камери або ІЧ-станції БПЛА, радіоканалами передавалася на наземний пункт управління. Тут передане зображення відображалося на телевізійному екрані і записувалося на відеомагнітофон. За цією інформацією здійснювалося наведення авіації і коригування вогню артилерії. Обрані оператором об'єкти могли підсвічуватися лазерним променем з борту БПЛА з подальшим застосуванням по них керованої авіаційної зброї (керованих ракет і авіаційних бомб з лазерними голівками самонаведення). Крім того, за командами з землі могло здійснюватися фотографування обраних об'єктів або ділянок місцевості.

Безпілотні літальні апарати «Мастиф» і «Скайт» широко застосовувалися в якості удаваних цілей та ударних засобів. Так, за декілька годин до удару по угрупованню ППО здійснювався масовий запуск БПЛА, що входили до зон ураження зенітних комплексів, тримали в напрузі і фізично виморювали бойову обслугу наземних засобів ППО супротивника. Потім вже в ході нанесення авіаційного удару БПЛА використовувалися для ураження ЗРК.

Тактика їхнього застосування була такою: у заданий район перебування позиції підрозділу ЗРК запускається БПЛА, що на екрані станції наведення ракет сприймався обслугою як ціль. Станція захоплювала його на супровід, а в цей час з літаків ударної групи на працюючу РЛС наведення запускались протирадіолокаційні ракети типу «Шрайк» або «Стандарт АРМ» і виводили її з ладу.

Окремі БПЛА могли безпосередньо завдавати удари по РЛС ППО. Для цього вони обладнувалися бойовим зарядом і апаратурою самонаведення на випромінювання РЛС.

Широко застосовувалися БПЛА для здійснення радіоелектронного придушення радіоелектронних засобів ППО. У першому ешелоні засобів повітряного нападу діяли БПЛА — поста-

новники завад. Вони встановлювали пасивні завади у зонах вогню ЗРК, створювали активні шумові завади з метою придушення засобів радіозв'язку у мережах управління.

Для постановки активних шумових завад використовувалися як передавачі завад, встановлені на борту БПЛА, так і передавачі одноразового використання, які БПЛА скидають у безпосередній близькості від об'єкта придушення.

У ході першої воєнної кампанії у зоні Перської затоки (1991 р.) успішно застосовувалися літальні апарати MART — розробки фірм Франції і Великобританії, а також БПЛА «Піонер». Було розгорнуто шість безпілотних розвідувальних систем (три — в експедиційних силах морської піхоти США і по одній на лінкорах «Міссурі», «Вісконсін» і в армійському корпусі сухопутних військ). В інтересах ВМС вони використовувалися для пошуку морських мін, берегових пускових установок протикорабельних ракет (ПКР) і позицій зенітних ракет, а також для коригування вогню великої калібреної корабельної артилерії.

Частини сухопутних військ і морської піхоти застосовували БПЛА для цілевказання ударним літакам і вертольотам у масштабі часу, близькому до реального, а також для забезпечення тривалого спостереження за пересуваннями військ противника. Мала помітність апарату в акустичному, оптичному і радіолокаційному діапазонах забезпечувала високу живучість БПЛА над територією противника. За час бойових дій вогнем зенітної артилерії були збиті усього два апарати.

Як змінне розвідувальне обладнання використовувалися телевізійні і тепловізійні камери, а також комплекти хімічної і радіаційної розвідки, засоби постанови завад.

Якщо в операції «Буря в пустелі» розвідувальні БПЛА все ще застосовувалися епізодично, то в небі Югославії вони вже відігравали роль одного з основних засобів збору і верифікації інформації. На їхню долю припала і основна маса втрат — 19 апаратів. Частина з них була збита югославською ППО, більшість зазнало аварій під час посадки або від поганої погоди. Однак вартість БПЛА у 50—100 разів нижча, ніж вартість пілотованого літака, і він не має на борту льотчика, затрати на підготовку якого іноді порівнюють із вартістю золотого

злитку, сумірного із вагою самого пілота. Крім того, при рівні втрат понад 1-2 % американські військові взагалі відмовлялися підіматися в повітря (під час війни у В'єтнамі цей відсоток перевищував 20 %). Тому за критерієм «вартість — ефективність» вони виявилися поза конкуренцією.

У конфлікті на території колишньої Югославії вперше пройшов бойову перевірку безпілотний розвідник «Предатор», який на цей час вважається основним в Збройних Силах США. З 1995 до 1999 рр. експериментальні зразки цих БПЛА більш ніж 700 разів виконували розвідувальні польоти над територією Балканського півострова. У 1999 р. БПЛА «Предатор» використовувався не тільки як розвідник, але й як літаючий цілевказівник для підсвічування лазерним променем югославської бронетанкової техніки у Косово та для викриття військової ППО. Це дозволило виводити пілотовані літаки з зони ураження зенітними ракетами малої дальності.

У середині жовтня 2001 року БПЛА «Предатор» вперше використовувався як бойовий (ударний). Такий БПЛА, озброєний двома протитанковими керованими ракетами «Хеллфайр», атакував готель поблизу Кабула (Афганістан), де, як передбачалось, переховувались командири терористичної організації «Аль-Каїда». Ракети попали точно у вікно визначеного номеру.

Найбільш визначними і характерними рисами операції «Свобода Іраку» (2003 р.) стало відпрацювання об'єднаної повітряно- наземної операції та «всеосяжної операції» із нанесенням вибіркових ударів високоточною зброєю і локалізацією наземними підрозділами об'єктів, які підлягають збереженню. При цьому вперше був застосований переход до ведення «адаптивних» бойових дій завдяки комплексному широкомасштабному використанню нових засобів і систем розвідки, зв'язку, і особливо безпілотних їхніх засобів. Вперше була в повному обсязі створена і успішно використана інтегрована авіаційно-космічна розвідувальна система, яка комплексно діяла на всіх рівнях, включаючи тактичний. Переход на супутникові системи наведення дозволив радикально збільшити кількість літаків, здатних застосовувати високоточну керовану зброю по наземних об'єктах. Крім того, в цій компанії відбулося масштабне вико-

ристання безпілотних систем керованої зброї, застосування якої основувалося на даних, отриманих від засобів повітряно-космічної розвідки по каналах супутникового зв'язку в реальному масштабі часу та навігаційної інформації від КРНС НАВСТАР.

Широке застосування БПЛА арміями країн НАТО у війнах, військових конфліктах та миротворчих операціях надало їм можливість досягти високої ефективності розвідки і мати постійну інформаційну перевагу. Традиційні засоби і сили наземної і повітряної розвідки не могли забезпечити виконання цих вимог в повному обсязі. Крім того, обидва типи розвідки пов'язані з великим ризиком для життя задіяного особового складу. Застосування ж безпілотних засобів у комплексі із космічними засобами їхнього інформаційного забезпечення на практиці спричиняло швидку та ефективну паралізацію життєдіяльності держав, по яких завдавалися удари. При цьому формувалася обстановка крайньої невизначеності, високої динамічності, що характеризується раптовими і непередбачуваними змінами бойової ситуації, які вимагали негайного реагування на напад у реальному часі. Іншими словами, безпілотні літальні апарати у комплексі із космічними засобами значно розширили можливості сучасних високотехнологічних засобів збройної боротьби і мали велике значення як при підготовці, так і веденні бойових дій.

Таким чином, на сьогодні безпілотні авіаційні комплекси (БПАК) разом із космічними засобами стали обов'язковою частиною озброєння сучасних армій. Розвиток силового компонента суб'єктів національної безпеки і оборони в ХХІ ст. буде неповним без широкого їхнього використання. Якщо раніше одержувана цими засобами інформація призначалася передусім для вирішення стратегічних, і рідше оперативних задач, то з початку 1990-х років розвиток інформаційних систем і способів використання інформації, що поставляється ними, привів до суттєвого зростання їхньої ролі при веденні бойових дій в тактичній ланці.

Аналіз застосування ВТЗ, БПЛА та космічних засобів у розглянутих війнах, збройних конфліктах та миротворчих операціях наприкінці ХХ — на початку ХХІ століття показав постійне зростання їхньої кількості, типів і інтенсивності

використання (у середньому не менше ніж у три рази протягом десятиліття). Їхне використання дозволило значно підвищити ефективність бойового застосування всіх сил і засобів, надало можливість значно скоротити втрати.

Розглянемо можливості сучасних і перспективних БПЛА. Найбільше вражают можливості БПЛА в галузі тактичної повітряної розвідки та спостереження за полем бою. На сьогодні вони майже повністю витіснили армійську авіацію. Навіть розвідувальні та бойові вертольоти нового покоління (ОН-58D «Комбат Скаут», AH-64D «Лонгбоу Апач», «Тигр»), не кажучи про тактичні літаки, не можуть скласти їм конкуренції. БПЛА здатні годинами перебувати над потрібними районами і цілодобово вести тактичну розвідку (вдень за допомогою телекамер та лінійних сканерів, вночі — за допомогою ІЧ-або оптично-електронних систем огляду передньої півсфери, в складних метеорологічних умовах — за допомогою РЛС міліметрового діапазону або радарів з синтезованою апертурою (сантиметрового діапазону)). Як правило, інформація передається на наземний пункт управління за допомогою захищеного каналу в режимі реального часу, але багато зразків додатково оснащені засобами запису.

Безпілотні літальні апарати також виконують завдання забезпечення вогневої підтримки. Самі вони поки що не несуть бортового озброєння (виключенням є БПЛА «Предатор»), однак можуть надавати цілевказання артилерійським, ракетним або авіаційним системам, коригуючи їхній вогонь або підсвічувати цілі лазерним променем у разі застосування високоточної зброї. Бортові лазерні далекоміри-цилевказівники не тільки націлять на об'єкт удару «розумні» боєприпаси, але й забезпечать точне коригування при стрільбі звичайними, а телекамери дозволяють спостерігати результати дій. При використанні супутниковых систем навігації, зв'язку і цифрових карт місцевості для знищення нерухомої цілі (вогнева точка, вузол зв'язку тощо) досить 3-4 звичайних снарядів і 2-3 хв.

Паралельно з виконанням основного завдання — моніторингу поля бою — БПЛА можуть ефективно вирішувати і низку допоміжних: розвідку мінних полів і встановлення власних (шляхом розкидання одноразових мін). Вантажопідйомність середніх тактичних БПЛА (від

30 до 50 кг) дозволяє проводити постачання боєприпасами і дрібними вантажами своїх оточених підрозділів або розвідувальних груп у тактичній глибині.

Залежно від навантаження БПЛА як вогневі засоби можуть нести один нерухомо закріплений по осі апарату кулемет калібрі 7.62 мм або батарею 30—40 мм однозарядних гранатометів з картечними або шрапнельними зарядами, протитанкову керовану ракету (ПТКР), ЗКР або апаратуру РЕБ.

При оснащенні 1-2 ракетами класу «повітря-повітря» або ПТКР БПЛА, що розробляються, цілком зможуть вести боротьбу з вертольотами (або навіть легкими штурмовиками) і вражати окремі цілі на полі бою.

Також існує і розвивається ціла низка безпілотних апаратів, призначених для підтримки і забезпечення дій ВПС і ППО. До них належать БПЛА стратегічної розвідки, спеціалізованої розвідки (радіаційної, хімічної, біологічної, метеорологічної тощо), РЕБ, ретрансляції зв'язку, літаючі мішені, а також недорогі одноразові розвідувально-ударні апарати. З останніх найбільший інтерес викликає американський LOCAAS. Наприклад, винищувач F-16 може нести 16 таких БПЛА, стратегічні бомбардувальники B-2 — до 100 шт. Кожен апарат має дальність польоту 160 км і може самостійно відшукувати цілі за допомогою нового засобу виявлення — лазерного радара. Він дає тривимірне зображення об'єкта з високою точністю (на відміну від плоского «вигляду згори» від РЛС, фото- і ТВ-камер), яке бортовий процесор порівнює з записаним у пам'яті і в разі відповідності прийме рішення про його ураження боєголовкою масою до 10 кг. Можливість одночасного задіяння такої кількості БПЛА забезпечує можливість створення інформаційного переваження систем розвідки повітряного простору і суттєве зниження ефективності вражальних засобів протиповітряної оборони.

Виняткові можливості безпілотних апаратів щодо збору інформації забезпечуються трьома чинниками: досконалою апаратурою, великою тривалістю польоту і високою живучістю.

Цільове обладнання сучасних БПЛА (телекамери, ІЧ-системи, РЛС) тактичної ланки дозволяє за один політ обстежити район площею в сотні квадратних кілометрів. Область, що обсте-

жується, максимальна при польоті на висоті близько 500—1000 м, але такий режим можливий тільки при відсутності активної ППО (наприклад, у протипартизанських операціях). Якщо є загроза вогневої протидії висота польоту зменшується до 30—150 м. Однак завдяки наявності ширококутних об'єктивів смуга огляду достатня для інформаційного забезпечення бойових дій підрозділів рівня батальйону чи бригади.

Тривалість польоту тактичних БПЛА складає від чотирьох до десяти годин. Інакше кажучи, один комплекс з 3-4 апаратів і наземного обладнання може забезпечувати безперервне та цілодобове спостереження. Застосування композитів, вугле- та органопластиків дозволяє отримати легкі і міцні конструкції, пряме крило великої площині, хорошу аеродинамічну якість. У поєднанні з високоекономічними поршневими двигунами малої потужності (10—40 к.с.) це забезпечує великий (у порівнянні з пілотованою авіацією) час польоту.

Значну частину цього часу вони можуть перебувати над бойовими порядками або територією противника. Тому виникає проблема живучості БПЛА в умовах активної ППО.

Щоб збити ціль у повітрі, її передусім потрібно виявити. Оглядовими РЛС БПЛА практично не спостерігаються, оскільки їхній планер виконаний переважно з радіопрозорих матеріалів, і вони діють зазвичай на малих висотах, використовуючи рельєф місцевості. Інфрачервоні головки самонаведення зенітних ракет малої дальності («Стріла», «Стінгер» тощо), розраховані на тепловий струмінь реактивного двигуна, тобто їхні сенсори просто не реагують на поршневі двигуни малої потужності. Обстріл з стрілецької зброї неефективний у зв'язку з малими розмірами самих апаратів та їхньою високою маневреністю (як у горизонтальній, так і у вертикальній площині). З цих же причин вони практично «недосяжні» для винищувачів ППО. Якщо вони їх і виявляють на фоні землі, то збити не зможуть — ракети не реагують, гармата не влучить. Єдиною можливою загрозою є артилерійські комплекси малого (20—35 мм) калібріу, здатні за лічені секунди виставити щільні вогневі завіси, попадання в які фатальне для БПЛА. Однак дальність їхнього вогню не перевищує 2—4 км, і завдяки кращим можливостям виявлення БПЛА зможуть просто обминути не-

безпечну зону.

Крім того, конструктори безпілотних апаратів передбачили цілу низку заходів з зниженням помітності. Так, в нічних польотах поршневий двигун, що акустично демаскує апарат, може бути замінений безшумним електродвигуном з запасом батарей. Хоч тривалість польоту при цьому знижується до 1-2 год, досягається майже повна «невиявленність» (апарат і невидимий, і нечутний).

Для підвищення живучості в програмному забезпеченні польоту більшості БПЛА є низка спеціальних режимів: самодіагностики систем, повідомлень про відмови/пошкодження, резервування систем тощо. У разі пошкодження лінії зв'язку з апаратом передбачена програма автономного (без участі оператора) повернення до місця старту.

Досвід застосування БПЛА у бойових діях і при бойовій підготовці військ говорить про те, що процес розвитку БПЛА продовжуватиметься. На думку американських військових аналітиків, в майбутньому бригада з 3—5 тис. військово-службовців буде використовувати не менше ніж 200 безпілотних літальних апаратів. Більше того, в найближчому майбутньому, ймовірно, персональний мікро-БПЛА з'явиться у кожного піхотинця підрозділів спеціального призначення. Вже зараз Військовим агентством передових наукових досліджень США створено безпілотний літальний апарат «Wasp» («Оса») з розмахом крил близько 30 см і вагою приблизно 120 грамів. Він може перебувати у повітрі більш ніж 100 хв. Передбачається, що подібні літаки в найближчому майбутньому стануть частиною особистого спорядження солдатів, які ведуть бої у міських умовах. Безпілотні літальні мікроапарати (МБПЛА) — повнофункціональні літальні апарати з лінійними розмірами до 15 см почали активно розвиватися з 1996—1997 рр. Поштовхом до їхнього розвитку стали успіхи в інших областях науки і техніки, таких, як MEMS, мікровідеокамери, електроніка і т. ін. МБПЛА, з цими розмірами, або ще менші, дають можливість солдатові значно розширити свої бойові можливості і забезпечити його найповнішою інформацією про бойову обстановку. При необхідності солдат запускає літальний апарат і через хвилину отримує відеозображення обстановки у місцях, недоступних для

прямого спостереження.

Кількість держав, які виробляють БПЛА, швидко зростає. Якщо в 1986 р. їх налічувалося 18, в 1991 р. — 33, то в 1996 р. — вже 50. За станом на початок 2001 р. 53 фірми у 13 країнах розробляли і випускали БПЛА 143 типів. Наразі їхньою розробкою і виробництвом займаються вже сотні компаній. Оригінальні моделі цих машин нині виробляються в РФ, Україні, США, Ізраїлі, Франції, Великобританії, Швеції, Швейцарії, Нідерландах, ФРН, Італії, Австрії, Чехії, Хорватії, ЮАР, Малайзії і Сингапурі.

Кінець ХХ сторіччя характеризується поширенням технологій створення БПЛА також і в країні третього світу (держави Близького Сходу, Азії і деякі держави Африки) з відносно низьким рівнем промислового розвитку.

Провідні фахівці вважають, що БПЛА найближчим часом знайдуть дуже широке використання в цивільній сфері. Так, федеральна авіаслужба США підготувала нормативи, що регулюють правила використання безпілотних літаків для контролю за станом навколошного середовища, дорожнім рухом, для перевезення вантажів, гасіння лісових пожеж, проведення рятувальних операцій і т. д. За прогнозами вже протягом найближчих років в США налічуватиметься більше 10 тис. таких апаратів. У Мексиці вже зараз використовують БПЛА для моніторингу нафто- і газогонів.

Україна також не може залишатися останньою цих процесів. Тим більше, що як Збройні Сили України, так і підрозділи інших силових відомств потребують оснащення їх БПЛА у складі БпАК.

За загальносвітовим досвідом традиційними підходами до вирішення подібних проблем є: розробка та виробництво БпАК силами вітчизняних підприємств; закупівля ліцензії на виробництво БпАК та їхнє виробництво силами вітчизняних підприємств; розробка та виробництво БпАК спільно з іноземними фірмами; закупівля БпАК у іноземних виробників.

Кожен із цих варіантів, як показує світова практика, має як свої переваги, так і суттєві недоліки. Закупівля БпАК у іноземних виробників — це шлях найскорішого вирішення проблеми. Проте він веде до науково-технічної, технологічної і інформаційної залежності від іноземних виробників. Важливим стратегічним

аспектом військово-технічного співробітництва імпортера зброї з експортером є те, що воно складається не тільки й не стільки в його пошуці й приданні, а триває протягом усього його життєвого циклу (сервісне обслуговування силами заводів-виготовлювачів держави експортера, проведення доробок озброєння, постачання запасних і комплектувальних елементів, особливо із обмеженим строком експлуатації). Крім того, відомо, що країни-виробники, як правило, вживають превентивних дій із цілеспрямованого зниження можливостей систем озброєння й військової техніки, що поставляють іншим країнам, і забезпечення можливості примусового зовнішнього втручання у їхнє функціонування. Жодна їхня перевірка не є гарантією відсутності закладок і працездатності (правильного виконання задач), коли країни-постачальники у цьому не зацікавлені. Приклад Ірак. Більшість іракських літаків не могли злетіти через зовнішнє примусове втручання до функціонування їхнього навігаційного устаткування. Цей шлях також веде до гальмування розвитку свого власного військово-промислового комплексу.

Безумовно, розробка та виробництво БпАК силами вітчизняних підприємств є дуже привабливі з точки зору безпеки від вказаніх загроз, створення робочих місць, забезпечення науково-технічного і технологічного розвитку вітчизняних виробників, але важко навіть спрогнозувати, скільки часу знадобиться на створення власного БпАК. Вітчизняні виробники здатні виготовити літаючі платформи, але корисне навантаження все ж буде із іноземних складових. Ті ж самі вади є і при вирішенні питання шляхом закупівлі ліцензії на виробництво БпАК, і при розробці та виробництві БпАК спільно з іноземними фірмами. Але ці напрямки є більш прийнятнimi з точки зору співвідношення показників час — ефективність — вартість.

Також необхідно визначитися із питанням, які саме зразки БпАК і у якій кількості потрібні ЗС України і підрозділам інших силових відомств. Це надзвичайно важливе питання не може вирішуватися на основі лише емпіричних знань, особистих поглядів або уподобань. Обґрунтування тактико-технічних вимог повинно базуватися на основі всебічного аналізу стану справ у цій галузі, тенденцій розвитку засобів,

що розглядаються і досліджені із використанням сучасних методик [3].

Тому для обґрунтованого вибору варіанту забезпечення Збройних Сил України і підрозділів інших силових відомств безпілотними авіаційними комплексами необхідно проаналізувати та використати досвід, отриманий у цій сфері іншими країнами, з'ясувати найбільш актуальні на цей час проблеми та можливі шляхи їхнього подолання.

До початку 2000 р. на світовому ринку БПЛА сформувалося певне співвідношення між країнами-розробниками безпілотної техніки. Протягом положення за об'ємом виробництва і широтою асортименту пропонованої техніки займають США — 35 %. На частку Росії припадає всього 7.8 %, і вона займає після Ізраїлю четверте місце серед країн-виробників безпілотної техніки. Надходження кваліфікованих кадрів до Ізраїлю на початку 1990-х рр. дозволило йому за короткий час вийти на провідні позиції у світі з виробництва безпілотної техніки. Якщо за загальними об'ємами розробки і виробництва безпілотної техніки Ізраїль займає третє місце, то з розробки та виробництва стратегічних і тактичних розвідувальних БПЛА він посідає друге місце в світі після США.

Самі БпАК пройшли в своєму розвитку декілька періодів, у межах яких можна відзначити перехід від пошукових, розрізнених програм до єдиних програм, які мають на меті виконання завдань універсалізації, багатофункціональності і модульності побудови БПЛА для всіх видів ЗС.

У США між видами збройних сил неформально встановлено розподіл відповідальності за розробку розвідувальних БПЛА. Згідно з цим розподілом ВПС відповідають за стратегічні розвідувальні БПЛА на театрі військових дій, що ведуть розвідку наземних об'єктів з висоти понад 6000 м. Армія США керує розробкою БПЛА, які входять до складу мобільних сухопутних військ, а ВМС відповідають за розвідувальні БПЛА корабельного базування, що ведуть розвідку морських об'єктів і прибережних районів. Всі три види збройних сил працюють разом із управлінням перспективних досліджень Міністерства оборони США (DARPA), яке безпосередньо або побічно відповідає за більшість БПЛА як використовуваних в США в даний час, так і тих, що розроблюються.

До складу БпАК входить різне оснащення. Досягнуті в світі технологічні напрацювання в галузі їхнього створення на цей час стосуються не тільки і не стільки типів носіїв, а головним чином їхньої бортової апаратури, наземних засобів управління БПЛА, приймання і обробки інформації та допоміжних засобів. Саме їхня вартість складає левову частку загальної вартості БпАК. Так, наприклад, вартість програмно-апаратних засобів комплекту TCS (Tactical Control Station) ієрархічного управління БПЛА у залежності від рівня інформаційного продукту, що отримується споживачем від БПЛА, має наступні значення: для приймача зображення і тексту вона складе 100—300 тис. доларів, для приймача, крім зображення, обмеженого об'єму даних — 500—700 тис. доларів, для обладнання, яке забезпечує повний доступ до БПЛА — 0.8—1 млн доларів (вартість каналу зв'язку з підключенням споживача до будь-якого з патрульних БПЛА зараз знизилася до 14.6 млн доларів). Головна умова конкурсу на створення РЛС для БПЛА нового покоління — ціна РЛС не вища за 850 тис. доларів, що в даний час втричі менше вартості подібних засобів, що створюються для БПЛА вищих класів.

Вартість комплексу цільової апаратури БПЛА «Скайболл» SA-144/18, який має діаметр 35.5 см, змонтований на гіростабілізованій поворотній платформі (точність стабілізації від +0.5 до -0.5° , при цьому лінія візуування утримується з точністю 10—20 мкрад, а швидкість повороту платформи може змінюватися від 0.03 до 6900 град/хв), здатний здійснювати зйомку з висоти не більше 4500 м з роздільною здатністю на місцевості 20—30 см (на максимальній дальності), до складу якого входять тепловізійна станція (що працює в середньому ІЧ-діапазоні хвиль (3—5 мкм)), дві кольоворові телекамери денної зйомки і лазерний далекомір (дальність дії 10 км), складає біля 400 тис. доларів.

При цьому основні оперативно-тактичні і оперативно-стратегічні БПЛА США, які займають одне з провідних місць в арсеналі американських ВПС, мають таку вартість одного зразка: «Предатор» — 3.36 млн доларів; розвідники «Глоубал Хок» («Тайгер-2 plus») і «Дарк Стар» («Тайгер-3 minus», з малою радіолокаційною помітністю, виконаний за технологією «стелт») — близько 10 млн доларів. При цьому вартість

самої повітряної платформи, як правило, складає 10—20 % від загальної вартості БПЛА.

Це стало ще одним джерелом системних проприєріч у виборі концепцій розвитку безпілотної авіації. Так, з одного боку існує погляд, що на один і той самий носій необхідно встановлювати якомога більше цільової апаратури та робити його багатофункціональним і універсальним. Інша концепція полягає у створенні БПЛА, які не містять на борту нічого зайвого, окрім конче необхідного для вирішення завдання за його основним призначенням. Послідовники цієї концепції вважають, що БПЛА не є універсальною зброєю. Вони не повинні виконувати відразу усі завдання і застосовуватися у будь-яких умовах. В них все повинно бути направлено на рішення основної задачі. Для вирішення іншого завдання повинен бути інший БПЛА, нехай на тій же повітряній платформі, але з іншим цільовим навантаженням.

Вибір одного або другого шляху розвитку безпосередньо пов'язані як із досвідом створення БПЛА, так із особливостями їхнього застосування в сучасних умовах і у перспективі. Використання багатофункціональних БПЛА безумовно забезпечує доставку відразу усього цільового обладнання до місця виконання завдання. Це розвантажує системи управління і забезпечує отримання усієї можливої інформації і виконання відразу усіх завдань (вогневого ураження, радіоелектронного подавлення і т.ін.). Але такі багатофункціональні засоби, по-перше, надзвичайно дорогі (великі військові БПЛА коштують мільйони доларів), і тому їхня кількість буде невеликою (що не надає можливості реалізувати концепцію інформаційного перевантаження засобів розвідки і вогневих засобів противника). А у разі втрати такого апарату (ймовірність чого є дуже високою) завдання взагалі не буде виконане. Крім того, спроби створити багатофункціональні і універсальні БПЛА в США (розробки «Компас коуп» — початок 1970-х рр., «Акіла» — кінець 1970 — початок 1980-х рр.) не отримали якого-небудь практичного виходу, хоча витрати на їхню розробку склали сотні мільйонів доларів.

Створення малорозмірних, з мінімальним цільовим навантаженням засобів дозволяє навіть не дуже багатим державам забезпечити свої силові структури сучасними засобами, які є

обов'язковою складовою озброєння і військової техніки розвинених країн. Вартість таких БПЛА масою до 4 кг складає десятки тисяч доларів, і в оперативно-тактичній ланці вони забезпечують вирішення більшості завдань, що їх вирішують великі багатофункціональні БПЛА. В той же час втрата таких апаратів не є вирішальною ні з точки зору виконання завдань, ні з економічної точки зору.

Зважаючи на досить велику вартість досліджень, пов'язаних із розробкою нових БпАК, багато навіть передових держав світу створюють їх у кооперації. Для координації робіт у області створення перспективних БпАК, що проводяться в різних країнах — членах НАТО, розроблюються ряд документів, до яких належать стандарт для наземної станції управління польотом БПЛА і сімейство необхідних уніфікованих тактико-технічних характеристик БПЛА різних класів. Наприклад, для розробки системи тактичної безпілотної розвідки ВМС планами НАТО передбачається використовувати можливості декількох країн. Відповідно до одного з варіантів ФРН надасть для вказаної системи розвідувальний БПЛА, США — тактичну систему управління, а Великобританія — апаратуру лінії передачі даних.

Слід зазначити, що ефективне використання БПЛА неможливе без створення сучасної інфраструктури систем обміну інформацією між БПЛА і споживачами. Створення цих систем є одним із найбільш складних і відповідальних напрямків у побудові БпАК. До таких систем належать системи управління польотом БПЛА і розташованою на них апаратурою, а також отримання від БПЛА розвідувальної інформації в близькому до реального масштабі часі і приведення її до вигляду, зручного для користувача. Вартість наземних пунктів значно перевищує вартість самих БПЛА (до 90 % вартості БпАК). Функціонування систем отримання інформації обумовлює значне збільшення інтенсивності використання частотних діапазонів, в яких працює апаратура передачі інформації споживачам, що перебувають як на відстані прямого бачення, так і за її межами (наприклад, на БПЛА сімейства «Тайгер» встановлюється унікальний комплект радіозв'язку, що забезпечує рознесену передачу даних по одному каналу прямої видимості «БПЛА — Земля» сантиметрового діапа-

зону хвиль і двох космічних — УКВ- (військова супутникова система SATCOM) і Ки- (15—18 ГГц) діапазонів. Канал УКВ-діапазону дозволяє передавати статичні зображення з різною затримкою (до декількох хвилин) і якістю залежно від вживаного коефіцієнта стиснення, а Ки-діапазону — рухоме відеозображення телевізійного формату майже в реальному часі. На думку фахівців, такий комплект складає не менше половини корисного навантаження апарату).

У цих умовах основними завданнями стають питання стандартизації, кодування, стиснення даних, своєчасної передачі інформації користувачам і захист від завад.

Тому найважливішим питанням, що знайшло своє відображення у більшості іноземних НДР і ДКР, які проводяться в галузі створення і модернізації БПЛА в даний час, є інформаційно-системна реалізація загальної концепції застосування безпілотної авіації. Загальним положенням всіх концепцій в цій галузі є погляд на застосування безпілотної авіації як на функціонування деякої інформаційної мережі, в якій мають місце процеси отримання інформації, її передачі і обробки.

Вдосконалення бортових засобів обробки інформації і створення необхідних засобів обміну інформації є взаємопов'язаними питаннями: чим повніше буде обробка інформації на борту БПЛА, тим менші обсяги інформації доведеться передавати на пункти управління. Серед завдань удосконалення бортових засобів обробки інформації першочергове місце посідають питання автоматичного розпізнавання цілей і повна автоматизація процесів управління звичними режимами польоту. Якщо у процесі польоту відбулося порушення зв'язку БПЛА з пунктом управління, бортова система автоматичного управління БПЛА повинна самостійно ухвалити рішення і забезпечити продовження польоту до цілі або повернення на базу.

Загальна концепція створення необхідних засобів обміну інформацією сформувалася вже досить стійко. Вважається, що в інформаційній системі безпілотної авіації існує два незалежних компоненти: система, що зв'язує групу БПЛА один з одним, і система багатоканальної телекомунікації, яка працює з використанням висотних або космічних ретрансляторів і зв'язує

БПЛА з віддаленими джерелами інформації або наземним пунктом управління. Згідно з прогнозами американських фахівців найближчим часом вдасться створити придатні для використання на бойових БПЛА системи зв'язку Ки- і Ка-діапазонів (15—35 ГГц), які зможуть забезпечувати стійку передачу відеозображень з борту БПЛА користувачам.

Слід зазначити, що незважаючи на високі темпи робіт зі створення БПЛА та БпАК, жодній з провідних країн світу й дотепер не вдалося до кінця вирішити деякі технологічні проблеми. А саме:

- розробки системи автоматичного категорування та віднавання цілей;
- забезпечення надійного зв'язку з літальними апаратами;
- надання БПЛА властивостей, що дозволяють враховувати зміни в навколошньому середовищі при виконанні польотного завдання в автономному режимі;
- розробки бортової системи обробки інформації, яка могла б зі всього потоку розвідувальних даних, що надходять на БПЛА, виділяти найважливіші відомості, що дозволить істотно скоротити об'єм даних при передачі користувачам;
- відпрацювання програм навігаційного забезпечення БПЛА, які дозволять їм виконувати польоти у складі групи, вибирати альтернативні маршрути і здійснювати взаємодію між собою.

Широкий спектр задач, виконуваних з використанням сучасних БпАК арміями провідних країн світу, доповнюється можливістю, окрім підвищення ефективності розвідки, поліпшити показники ефективності управління військами і ураження цілей супротивника. На сьогодні безпілотні системи вже не тільки доповнюють пілотовані платформи, але і починають виступати як альтернатива останнім. На IX міжнародній конференції з UAV, що пройшла в 2001 р. у Франції, прозвучала думка про те, що в 2010—2015 рр. бойові операції зведуться до війни автоматизованих систем, тобто до протиборства роботів. Так, відповідно до наявних планів до формування перших ланок, оснащених бойовими БПЛА (UCAV), командування ВПС США має намір приступити саме в 2010 р. Хоча роботи з їхнього створення та випробування

активно проводяться вже зараз.

Взагалі на сьогоднішній день БпАК можна розглядати як особливий вид військової техніки, успішне освоєння і застосування якої вимагає створення одної структури, яка замовляє, виробовує і використовує цю техніку в інтересах збройних сил.

Але, як випливає із загальносвітового досвіду застосування та перспектив розвитку БПЛА, їхнє дійсно ефективне використання неможливе без задіяння космічних систем [7]. Зараз особливо актуальними є питання ведення воєнних дій в умовах активного використання космосу та появи принципово нового фактора — військово-космічного, який все більше впливає на засоби та характер миротворчих операцій, підготовку та ведення збройної боротьби в цілому.

Всі розглянуті питання в комплексі формують підґрунтя для застосування в інтересах національної безпеки і оборони таких високотехнологічних засобів, як безпілотні авіаційні комплекси, для підвищення ефективності використання яких передбачається застосовувати космічні системи.

Реалізація пріоритетів у галузі використання безпілотних засобів повинна здійснюватися на основі використання світового досвіду їхнього застосування в інтересах національної безпеки і оборони, виходячи із стану розвитку національної науково-виробничої бази та реалізації накопиченого науково-технічного і технологічного потенціалу України в інформаційній, телекомунікаційній, авіаційній, космічній та суміжних галузях, наявності в Україні діючих еле-

ментів наземної космічної інфраструктури, а також з урахуванням реальних геополітичних, економічних і ресурсних обмежень.

1. Военный энциклопедический словарь. — М.: Изд. дом «ОНИКС 21 век», 2002.—1432 с.
2. Весна доктрина України // Національна безпека і оборона.—2004.—№ 8.—С. 2—7.
3. Даник Ю. Г., Пічугін М. Ф. Особливості обґрунтування вимог до космічних систем, призначених для вирішення завдань в інтересах національної безпеки і оборони // Зб. наук. праць ЖВІРЕ. — Житомир: ЖВІРЕ, 2006.— Вип. 10.—С. 38—47.
4. Даник Ю. Г., Пічугін М. Ф., Катков Ю. І. Національна безпека: запобігання критичним ситуаціям. — Житомир: Рута, 2006.—388 с.
5. Довідник з протиповітряної оборони / А. Я. Торопчин, І. О. Романенко, Ю. Г. Даник та ін. — К.: МО України, 2003.—368 с.
6. Закон України «Про основи національної безпеки України» від 19 червня 2003 року // Відомості Верховної Ради України.—2003.—№ 39.—С. 351.
7. Космічні системи інформаційного забезпечення безпілотних засобів різного призначення: Підручник / О. О. Стеценко, Ю. Г. Даник, М. С. Паствушенко — Харків: ХУПІС, 2006.—348 с.

UNMANNED AERIAL VEHICLES: DEFINITION, CLASSIFICATION, STATE AND PROSPECTS FOR USING

Yu. H. Danyk

The definition, classification, state, conceptual directions of development, and prospects of using unmanned aerial vehicles are considered.

УДК 550.388.2

Д. А. Дзюбанов¹, М. В. Ляшенко¹, Л. Ф. Черногор²

¹Інститут іоносфери Національної академії наук та Міністерства освіти і науки України, Харків

²Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Исследование и моделирование вариаций параметров ионосферной плазмы в период минимума 23-го цикла солнечной активности

Надійшла до редакції 15.06.07

Представлено результати аналізу добових і сезонних варіацій параметрів геокосмічної плазми (концентрації електронів N , температури електронів T_e та іонів T_i) у період мінімуму 23-го циклу сонячної активності. Підтверджено існування сезонної та піврічної аномалій у варіаціях N у максимумі області F2 іоносфери. Проведено напівмісячне моделювання параметрів динамічних процесів у геокосмосі. Виявлено особливості просторово-часового розподілу параметрів іоносфери над центрально-європейським регіоном у мінімумі сонячної активності.

ВВЕДЕНИЕ

Наблюдение, интерпретация и моделирование поведения основных параметров геокосмической плазмы в настоящее время являются одной из важных фундаментальных и прикладных задач исследования околоземного космического пространства.

Исследованию вариаций параметров ионосферной плазмы в различных гелиогеофизических условиях посвящено большое количество работ [4—6, 13, 19—21, 23—27]. Особое внимание уделяется исследованию эффектов редких и уникальных событий в геокосмосе — сильнейших геокосмических бурь, затмений Солнца и др. [1, 3]. Однако изучение и анализ поведения ионосферной плазмы в спокойных условиях не менее актуально, поскольку все возмущения разворачиваются на этом фоне.

В настоящее время на практике используются несколько глобальных моделей ионосферы, описывающих поведение основных параметров геокосмоса в различных условиях [18, 22]. Боль-

шинство современных моделей построены на массивах экспериментальных данных, полученных на глобальной сети ионосферных станций и сети радаров некогерентного рассеяния (НР) североамериканского региона. При сравнении с экспериментальными данными, полученными в восточном полушарии, наблюдаются существенные различия распределений основных параметров ионосферы [4]. Поэтому создание и дальнейшее развитие региональных моделей ионосферы является перспективным направлением в геофизике.

Радар НР в г. Харькове является единственным и наиболее информативным источником сведений о состоянии геокосмоса над центрально-европейским регионом. Как указывалось ранее [4], данные НР могут быть использованы для построения региональной модели ионосферы.

В работах [8—10] проведены исследования количественных характеристик суточных и сезонных вариаций параметров ионосферной плазмы в периоды роста, максимума и спада солнеч-

ной активности. Для рассмотренных периодов выполнено полуэмпирическое моделирование параметров среды, непосредственно не измеряемых на радаре НР. Методы исследования и анализа экспериментальных данных в этих работах аналогичны.

Целью настоящей работы является исследование количественных характеристик основных параметров геокосмической среды в период минимума солнечной активности, а также моделирование вариаций параметров динамических процессов в ионосферной плазме.

МЕТОДЫ И ИНСТРУМЕНТЫ

Для геофизического анализа и моделирования вариаций параметров плазмы и динамических процессов в ионосфере использованы данные харьковского радара НР Института ионосферы НАН и МОН Украины [13]. Измерения на радаре НР проведены для четырех периодов: 29–31 марта, 21–23 июня, 20–22 сентября и 19–22 декабря 2006 г.

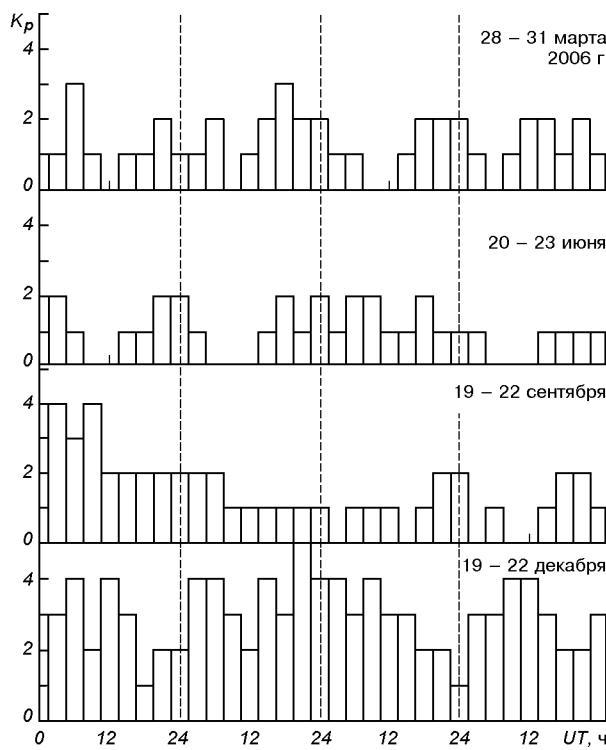


Рис. 1. Значение параметра K_p для выбранных периодов

Значения параметров геомагнитной и солнечной активности для рассмотренных периодов представлены на рис. 1 и в табл. 1.

Из рис. 1 видно, что периоды, близкие к весеннему и осеннему равноденствиям, а также летнему солнцестоянию, характеризовались спокойной геомагнитной обстановкой. Индексы геомагнитной активности K_p в эти периоды не превышали 3–4 единиц. В период зимнего солнцестояния имела место умеренная магнитная буря (индексы $K_p = 4–5$).

Из табл. 1 видно, что все рассматриваемые периоды характеризовались спокойной солнечной активностью. Значения потока солнечного радиоизлучения на длине волн 10.7 см не превышали 78 единиц.

Географические координаты радара: 49.6° с. ш., 36.3° в. д.; геомагнитные: $\Phi = 45.4^\circ$, $\Lambda = 117.7^\circ$; наклонение геомагнитного поля 66° , параметр Мак-Илвейна $L \approx 1.9$. Радар имеет крупнейшую в мире зенитную двухзеркальную параболическую антенну диаметром 100 м и предназначен для исследования ионосферы в интервале высот 100–1500 км. Рабочая частота радара — 158 МГц. Импульсная мощность радиопередающего устройства составляет 2–4 МВт. Более подробно технические характеристики радара НР описаны в [7, 13].

Основное влияние на точность измерения параметров ионосферы оказывает статистическая погрешность, которая зависит от отношения сиг-

Таблица 1. Индексы солнечной и геомагнитной активностей для выбранных четырех периодов

Дата, 2006 г.	$F_{10.7}$	W	A_p
29 марта	78	31	6
30 марта	78	35	4
31 марта	78	39	4
21 июня	76	19	4
22 июня	75	0	6
23 июня	75	0	2
20 сентября	77	11	5
21 сентября	77	11	4
22 сентября	77	17	3
19 декабря	73	0	8
20 декабря	72	0	14
21 декабря	72	0	24
22 декабря	73	0	14

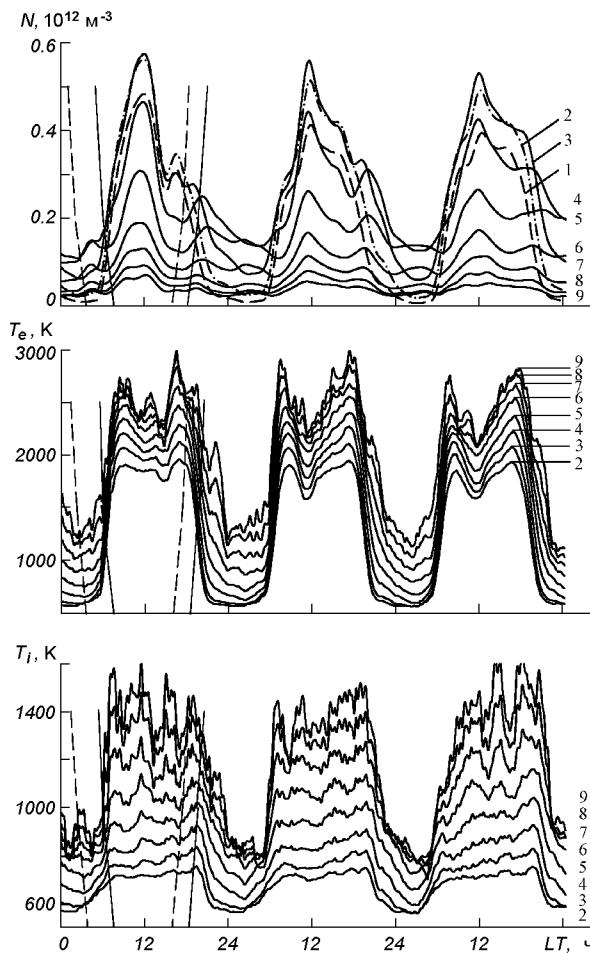


Рис. 2. Суточные вариации концентрации электронов, температуры ионов и электронов в период, близкий к весеннему равноденствию 29—31 марта 2006 г. Здесь и далее цифрами на графиках обозначены высоты: 1 — 190 км, 2 — 210 км, 3 — 240 км, 4 — 290 км, 5 — 340 км, 6 — 410 км, 7 — 490 км, 8 — 580 км, 9 — 680 км; сплошные и штриховые наклонные линии показывают восход и заход в Харькове и магнитосопряженной точке на разных высотах

нал/шум и частоты повторения зондирующих радиоимпульсов. При частоте повторения 24 Гц и времени накопления 15 мин средняя относительная погрешность определения температуры электронов и ионов составляет 3—5 %, электронной концентрации 5—7 %, скорости переноса плазмы 10—15 м/с (на высотах, близких к высоте максимума области F2 ионосферы в дневное время) [7].

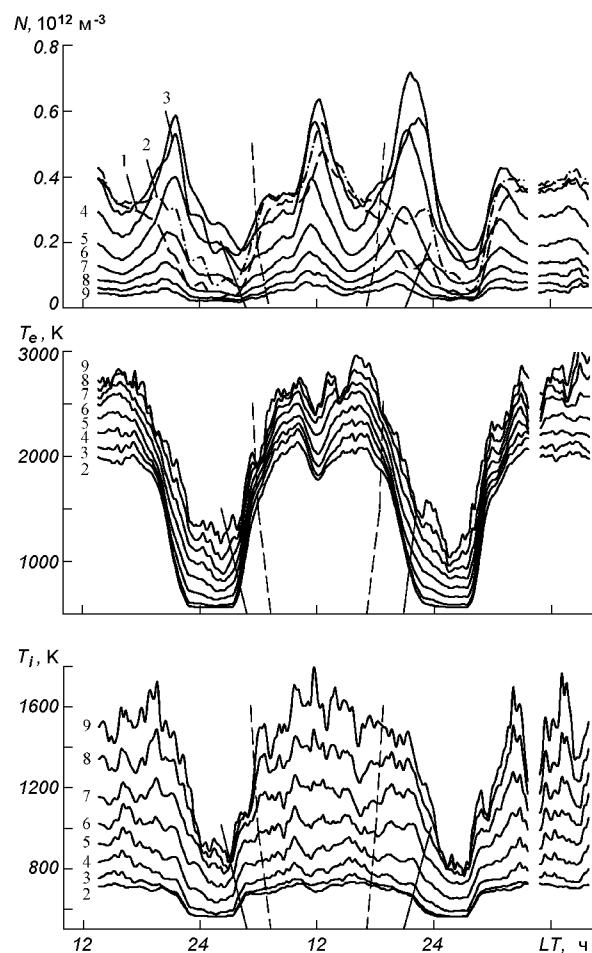


Рис. 3. То же для периода, близкого к летнему солнцестоянию 21—23 июня 2006 г.

Радар НР в зависимости от режимов работы позволяет получать с высокой точностью и заданным разрешением по высоте (10—100 км) следующие параметры ионосферы: концентрацию электронов N , температуры ионов T_i и электронов T_e , вертикальную составляющую скорости переноса плазмы V_z и относительного содержания ионов [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

На рис. 2—5 представлены суточные вариации концентрации электронов, температуры электронов и ионов для периодов, близких к весенне-

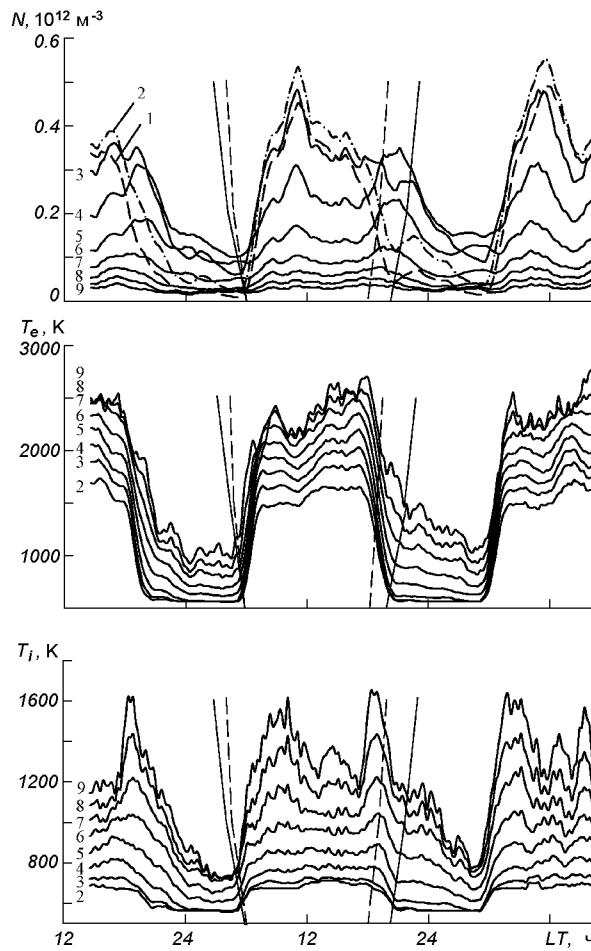


Рис. 4. То же для периода, близкого к осеннему равноденствию 20—22 сентября 2006 г.

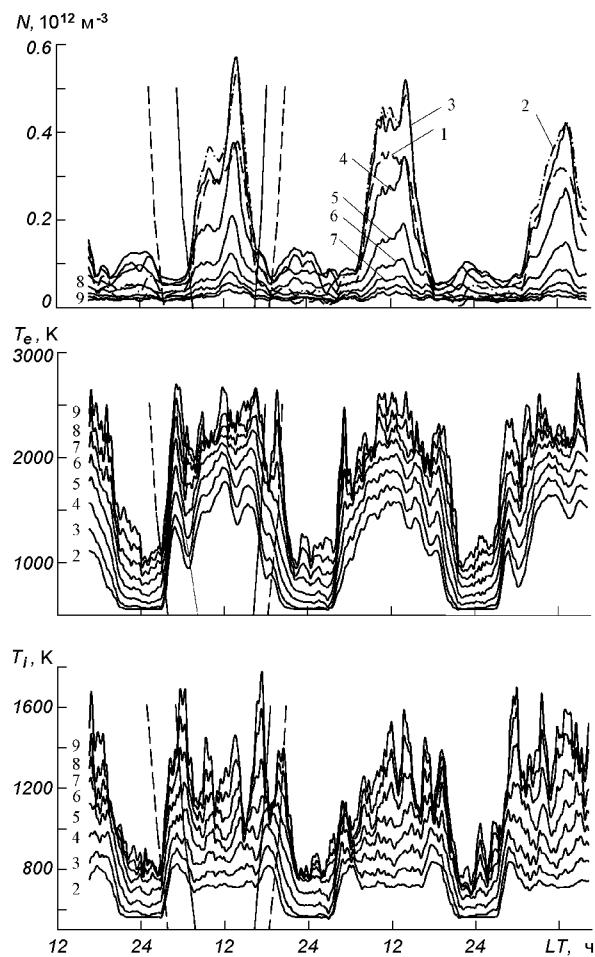


Рис. 5. То же для периода, близкого к зимнему солнцестоянию 20—22 декабря 2006 г.

му и осеннему равноденствиям, летнему и зимнему солнцестояниям. Рассмотрим более подробно количественные характеристики основных параметров геокосмической плазмы.

Суточные вариации концентрации электронов. В период весеннего равноденствия (рис. 2) концентрация электронов N испытывала значительные вариации в течение суток. На высотах $h \leq 240$ км в суточном ходе наблюдалась протяженная область с наибольшими значениями N около 11—12 LT. С увеличением высоты в суточном ходе N имела место тенденция к появлению вечернего максимума N около 20—21 LT. Следует отметить, что на высотах

$h \geq 290$ км величина вечернего максимума соизмерима с величиной дневного максимума.

В околополуденные часы на высотах $h = 210$ — 240 км абсолютные значения $N \approx 0.5 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-3}$. В ночные часы в этом диапазоне высот концентрация N принимает значения $(0.05—0.1) \cdot 10^{12} \text{ м}^{-3}$. На высоте 490 км днем $N \approx 0.1 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-3}$, в ночные часы $N \approx 0.04 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-3}$.

Поведение концентрации N в период, близкий к осеннему равноденству (рис. 4), подобно вариациям N в весенний период. Как и весной, на высотах $h \leq 240$ км в суточных вариациях N имел место максимум примерно в 11 LT. Для высот $h \geq 290$ км в суточном ходе появился

вечерний максимум (около 20 LT). Интересно, что значение вечернего максимума могло пре-восходить значение дневного максимума на высотах $h = 290—410$ км.

Днем на высотах 210 и 240 км концентрация электронов достигала значений $N \approx (0.4—0.45) \cdot 10^{12} \text{ м}^{-3}$, в околополуночные часы $(0.05—0.1) \cdot 10^{12} \text{ м}^{-3}$ и $(0.1—0.2) \cdot 10^{12} \text{ м}^{-3}$ для высот 210 и 240 км соответственно. На высоте $h = 490$ км N не превышала значений $0.07 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-3}$ вблизи полудня и $0.03 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-3}$ в ночное время.

Вариации концентрации электронов для летнего солнцестояния представлены на рис. 3. На высоте $h = 190$ км в суточных вариациях N имел место один максимум в полдень. С увеличением высоты проявлялась тенденция к появлению вечернего максимума. На высотах $h \geq 240$ км наблюдался вечерний максимум (около 22—24 LT), значение которого больше значения дневного максимума.

На высотах 210 и 240 км концентрация N около полудня достигала $(0.5—0.6) \cdot 10^{12} \text{ м}^{-3}$, в ночное время — $(0.15—0.4) \cdot 10^{12} \text{ м}^{-3}$. На высоте $h = 490$ км $N \approx 0.15 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-3}$ вблизи полудня, а ночью концентрация электронов уменьшалась до значений $0.06 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-3}$.

На рис. 5 представлены временные вариации концентрации электронов в период, близкий к зимнему солнцестоянию. Для 21 декабря 2006 г. на высотах 210—240 км в околополуденные часы N составляла примерно $0.5 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-3}$, вочные часы значения N на этих же высотах были на порядок меньше и не превышали $0.05 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-3}$. На высоте 490 км в дневные часы $N \approx 0.07 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-3}$, ночью — не более $(0.05—0.06) \cdot 10^{12} \text{ м}^{-3}$. Следует отметить, что для 20 декабря на высотах 210—240 км значения N были примерно на 15—20 % больше значений для 21 декабря в околополуденные часы.

Суточные вариации температуры электронов и ионов. Вариации температуры электронов и ионов для рассмотренных четырех периодов имеют подобный ход. Для температуры электронов в суточном ходе имели место два максимума — утром и в вечернее время. Достаточно хорошо выражен локальный минимум в суточных вариациях T_e около полудня.

В суточных вариациях температуры ионов явно выраженные максимумы не обнаруживаются. Температура ионов T_i увеличивалась с вос-

ходом Солнца в месте наблюдения, достигала максимальных значений в дневные часы и уменьшалась после захода Солнца.

Для периодов весеннего и осеннего равноденствий (рис. 2 и 4) вариации T_e подобны. Максимумы в суточном ходе T_e имеют место в 8—9 и 17—18 LT. Локальный минимум наблюдался в полдень. Для марта и сентября на высотах 240 и 490 км в дневные часы T_e достигала значений примерно 1700 и 2100 K, в околополуночные часы $T_e \approx 580$ и 1000 K соответственно.

Температура ионов в периоды равноденствий мало различалась. Так, на высоте 240 км днем $T_i \approx 740—750$ K, вочных условиях $T_i \leq 560—580$ K. На высоте 490 км в период весеннего равноденствия $T_i \approx 1170$ K вблизи полудня, ночью — $T_i \approx 900—1000$ K. Осенью на этой высоте днем $T_i \approx 1060$ K, вблизи полуночи $T_i \approx 790—800$ K.

Для периода летнего солнцестояния особенности суточных вариаций T_e наиболее ярко выражены. Утренний и вечерний максимумы в суточном ходе имели место в 10 и 16 LT. Локальный минимум, как и для периодов равноденствий, наблюдался в околополуденные часы. Днем на высотах 240 и 490 км значения T_e составляли соответственно 1800 и 2400 K, ночью — 600 и 1150 K.

Температура ионов в период летнего солнцестояния на высотах 240 и 490 км днем достигала соответственно 700 и 1200 K, вочных условиях — 600 и 900 K.

Вариации температуры электронов в период зимнего солнцестояния имели ряд особенностей. Так, для 20 декабря 2006 г. в суточных вариациях T_e явно выражен эффект влияния магнито-сопряженной точки (МСТ). С восходом Солнца в МСТ наблюдалось увеличение T_e в месте измерения, за которым следовало уменьшение температуры электронов, затем T_e увеличивалась после местного восхода Солнца.

В околополуденные часы на высотах 210—240 км T_e составляла 1550—1750 K соответственно. Ночью на этих высотах T_e не превышала 550—600 K. На высоте 490 км днем $T_e \approx 2250$ K, вочных часы $T_e \approx 900$ K. Различие вариаций T_e 20 и 21 декабря 2006 г. было небольшим и составляло примерно 10 %.

Температура ионов в период зимнего солнцестояния выявляла значительные суточные вариации. Подобно T_e , температура ионов начинала увеличиваться в момент восхода Солнца в МСТ, далее следовал малоинерционный спад и последующее незначительное увеличение T_i после восхода Солнца в Харькове. В околополуденные часы на высотах 210 и 240 км она составляла 720 и 760 К соответственно, ночью — около 560 К. На высоте 490 км днем значения $T_i \approx 1160$ К, вочные часы T_i не превышала 800 К.

Сезонные вариации параметров геокосмической плазмы. Для рассматриваемых периодов летнего и зимнего солнцестояний наблюдалась сезонная аномалия. Зимние полуденные значения N примерно на 10—15 % превышали летние на высотах, близких высоте максимума слоя $F2$. С увеличением высоты, а также вочных условиях, сезонная аномалия не наблюдалась.

Следует также отметить полугодовую аномалию, которая заключается в превышении полуденных значений N в периоды равноденствий над значениями N в периоды солнцестояний на высотах, близких высоте максимума области $F2$ ионосферы. В нашем случае весенние и осенние значения N больше летних и зимних примерно на 6 %.

Весной и осенью значения N различались менее чем на 5—10 % в рассматриваемом диапазоне высот.

Для всех сезонов суточные вариации температур электронов и ионов имели подобный характер. Для периодов весеннего и осеннего равноденствий различие T_e и T_i не более 10—15 % как в дневных, так и вочных условиях. В то же время в период летнего солнцестояния дневные значения T_e превышали зимние примерно на 50 и 350 К на высотах 240 и 490 км соответственно. Вочных условиях летние значения T_e на высоте 240 км больше зимних примерно на 50 К, на высоте 490 км — на 250 К.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВАРИАЦИЙ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Одной из задач теоретического моделирования является расчет вторичных параметров процессов по измеренным первичным параметрам. Как

известно, на высотах области $F2$ ионосферы и выше процессы переноса плазмы и энергии становятся более существенными, чем фотохимические процессы образования и исчезновения заряженных частиц. Поэтому динамические процессы играют важную роль в формировании высотного профиля концентрации электронов в целом и области $F2$ ионосферы в частности.

В настоящей работе проведено полуэмпирическое моделирование вариаций параметров геокосмической плазмы с использованием известных теоретических соотношений и основных параметров ионосферы, полученных на радаре НР. Для расчетов параметров нейтральной атмосферы привлекалась модель NRLMSISE-00 [22]. Ее использование оправдано тем, что в спокойных гелиогеофизических условиях параметры нейтральной атмосферы не должны существенно различаться в западном и восточном полушариях. Параметры ионосферы в этих полушариях могут существенно различаться.

Исходные теоретические соотношения, используемые здесь, такие же, как и в работах [8—10]. На рис. 6—10 представлены результаты полуэмпирического моделирования вариаций параметров динамических процессов в геокосмической плазме.

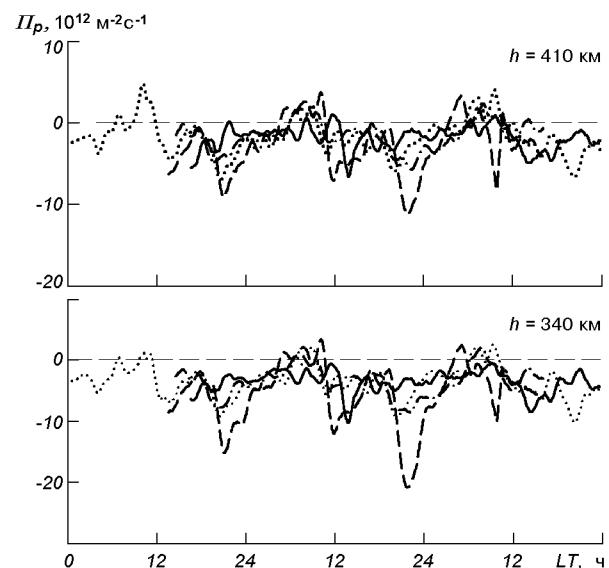


Рис. 6. Суточные вариации плотности полного потока плазмы Π_p на фиксированных высотах. Здесь и далее на графиках обозначены кривые: точки — 29—31 марта 2006 г., тире — 21—23 июня 2006 г., штриховая — 20—22 сентября 2006 г., сплошная — 20—22 декабря 2006 г.

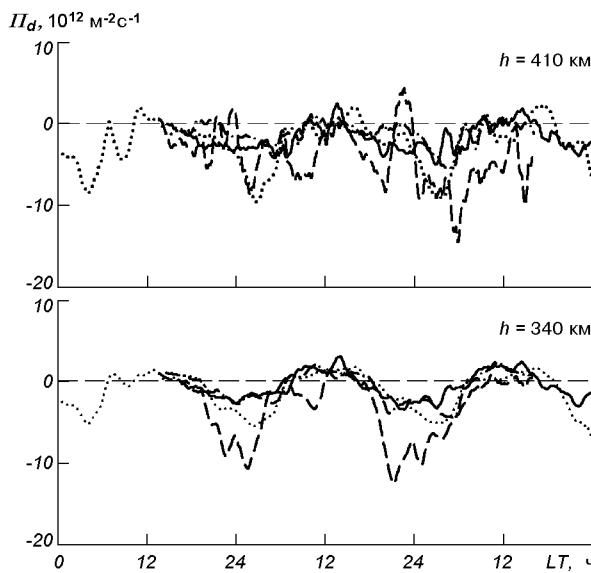


Рис. 7. Суточные вариации плотности потока плазмы за счет амбиополярной диффузии Π_d на фиксированных высотах

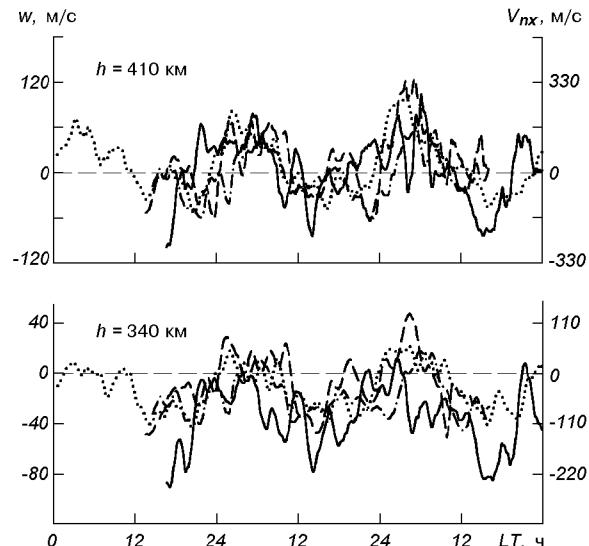


Рис. 8. Суточные вариации эквивалентного нейтрального ветра w и меридиональной составляющей скорости V_{nx} нейтрального ветра на фиксированных высотах

Потоки заряженных частиц в ионосфере. Суточные вариации плотности полного потока частиц Π_p представлены на рис. 6. Для всех сезонов формы суточных вариаций Π_p подобны. Максимальный по величине нисходящий поток имел место в ночные часы (около 22 LT). В периоды равноденствий в околополуденные часы на высоте 340 км $\Pi_p \approx -4 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$, на высоте 410 км $\Pi_p \approx -2 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Летом в дневное время $\Pi_p \approx -(15...20) \cdot 10^{12}$ и $-(8...10) \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ на высотах 340 и 410 км соответственно. Для периода зимнего солнцестояния в околополуденные часы значения плотности полного потока частиц достигали величин $-2 \cdot 10^{12}$ и $3 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ на высотах 340 и 410 км. В ночных условиях на высоте 340 км $\Pi_p \approx -3.5 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$, на высоте 410 км $\Pi_p \approx -2 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

На рис. 7 представлены суточные зависимости плотности потока Π_d частиц за счет амбиополярной диффузии. В период весеннего и осеннего равноденствий в околополуденные часы поток Π_d достигал значений $(1-2) \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ на высоте 340 км. Формы суточных вариаций для данных сезонов также подобны. В ночные часы (около 02 LT) на высоте 340 км имел место

нисходящий поток заряженных частиц со значениями $\Pi_d \approx -2 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Летом на высоте 340 км в 12 LT наблюдался незначительный по величине восходящий поток плазмы. В ночных условиях на данной высоте $\Pi_d \approx -9 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

Зимой в околополуденные часы на высоте 340 км наблюдался восходящий диффузионный поток $\Pi_d \approx 10^{12} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$, на высоте 410 км имел место нисходящий поток заряженных частиц, плотность которого $\Pi_d \approx -10^{12} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$. В ночные часы на этих же высотах наблюдался нисходящий поток плазмы за счет амбиополярной диффузии со значениями $\Pi_d \approx -2.5 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

Термосферные ветры в ионосфере. На рис. 8 приведены значения скорости w эквивалентного нейтрального ветра и величины меридиональной составляющей скорости нейтрального ветра V_{nx} . Для рассматриваемых сезонов суточные вариации w и V_{nx} имели сложный характер. На высотах 340 и 410 км в первую половину суток имел место термосферный ветер, направленный от полюса к экватору. В околополуденные часы происходила смена знака, и направление w и V_{nx} изменялось на противоположное.

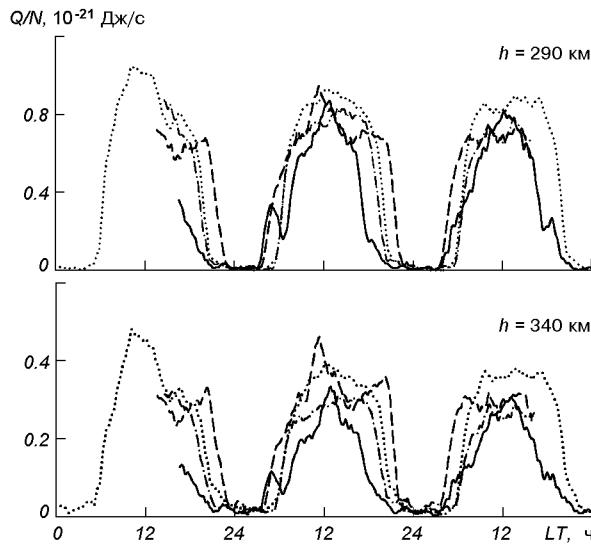


Рис. 9. Суточные вариации значения энергии Q/N , подводимой к электрону в единицу времени

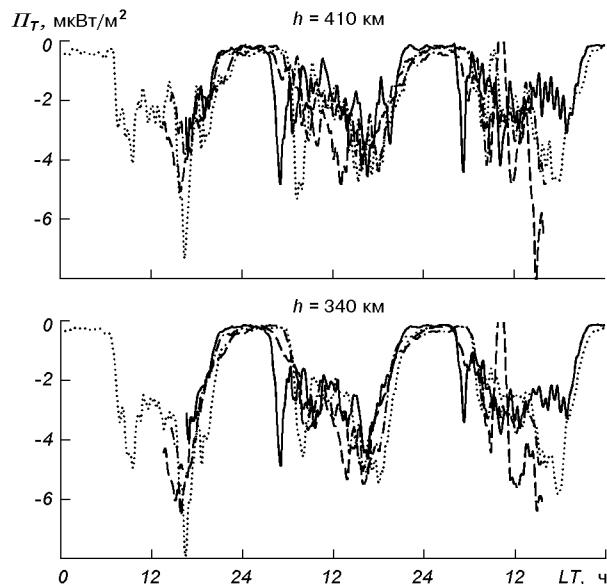


Рис. 10. Суточные вариации плотности потока тепла Π_T , переносимого электронами из плазмосферы в ионосферу

Величина энергии, подводимой к электронному газу. На рис. 9 приведены значения энергии Q/N , подводимой к электронному газу, для весеннего и осеннего равноденствий, а также летнего и зимнего солнцестояний. Величина Q/N в околополуденные часы для всех рассмотренных сезонов примерно равна $8 \cdot 10^{-22}$ Дж/с на высоте 290 км. На высоте 340 км $Q/N \approx 3 \cdot 10^{-22}$ Дж/с для осеннего равноденствия и зимнего солнцестояния; для лета и весны значение Q/N составляло $4 \cdot 10^{-22}$ Дж/с. В ночные часы на рассмотренных высотах для всех сезонов величина Q/N близка к нулю.

Поток тепла из плазмосферы в ионосферу. В суточных вариациях плотности потока тепла Π_T имели место два явно выраженных минимума — утренний (около 07—08 LT) и вечерний (около 16—17 LT) (рис. 10). Следует отметить, что амплитуда вечернего минимума больше утреннего. В околополуденные часы для всех сезонов на высоте 340 км Π_T достигала значений $-(2-3)$ мкВт/м². На высоте 410 км в околополуденные часы $\Pi_T \approx -(3-4)$ мкВт/м², для зимнего солнцестояния $\Pi_T \approx -2.4$ мкВт/м². В ночные часы в периоды равноденствий и солнцестояний поток тепла из плазмосферы в ионосферу был незначительным.

ОБСУЖДЕНИЕ

Ионосфера Земли представляет собой сложную открытую для внешних воздействий динамическую нелинейную систему [14—17]. Поэтому процессы в ней отличаются большим разнообразием, что существенно затрудняет прогнозирование и моделирование состояния ионосферы.

Суточные вариации концентрации электронов. Для рассматриваемых сезонов в суточных вариациях N на высотах 190—240 км имеет место один максимум в околополуденные часы. Такое поведение концентрации электронов контролируется в основном вариациями зенитного угла Солнца. На больших высотах на формирование высотного профиля N существенно влияет перенос частиц и энергии.

Типичной особенностью суточных вариаций N является увеличение значений N в околополуденные часы на высотах, близких к высоте максимума области $F2$ ионосферы. В нашей работе такая особенность поведения N наблюдается в период зимнего солнцестояния [11, 20].

В работе [20] проведен детальный анализ появления такого увеличения N в разных гелиофизических условиях по данным мировой сети ионозондов. Выявлены два локальные максимума в ночных условиях — предполуночный (око-

ло 22—23 LT) и послеполуночный (около 04 LT) в средних широтах Евразийского региона. В нашей работе для периода зимнего солнцестояния получено локальное увеличение N в предполуночные часы (около 23—24 LT) на высоте максимума области $F2$. Второй максимум в послеполуночные часы зимой не наблюдался. Летом также имел место один локальный максимум концентрации электронов примерно в 22—23 LT. Поведение N в течение суток в равноденственные периоды рассмотрим ниже. Относительная амплитуда летнего максимума больше зимнего, что согласуется с результатами [20] для минимума солнечной активности.

Наиболее вероятными причинами локального увеличения N ночью являются потоки частиц из плазмосферы в ионосферу и поднятие за счет электрических полей и термосферных ветров слоя $F2$ на большие высоты, где коэффициент рекомбинации мал [2, 11, 20]. Также не исключается поступление плазмы из магнитосопряженной ионосферы летнего южного полушария, однако вклад данного процесса в увеличение N мало существен [20, 24].

Наши модельные расчеты показали, что максимальный нисходящий поток плазмы имел место примерно в 22 LT. На высоте 340 км величины потоков заряженных частиц составляли примерно $-10 \cdot 10^{12}$ летом и $-3.5 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2}\text{s}^{-1}$ зимой. Такие потоки совместно с термосферными ветрами могут привести к наблюдаемому увеличению концентрации электронов вочные часы.

Рассмотрим поведение N в периоды равноденствий. Как известно, в эти периоды происходит переход от зимнего типа суточных вариаций концентрации электронов на высотах, близких к высоте максимума области $F2$, к летнему (и наоборот). Данный процесс происходит сравнительно быстро, примерно в течение двух недель [6, 21]. Для определения типа суточных зависимостей N_m воспользуемся классификацией, предложенной в работе [21]. Отметим, что суточные вариации концентрации электронов в периоды весеннего и осеннего равноденствий подобны. Согласно классификации [21] суточные зависимости N_m для 29—31 марта и 20—22 сентября 2006 г. можно отнести к SW-типу. Суточным вариациям SW-типа, как и WS-типа, присущи особенности как летних, так и зимних

форм суточных вариаций. В нашем же случае вариации N_m более похожи на вариации концентрации в летний период. На это указывает достаточно продолжительное уменьшение концентрации электронов после полудня с тенденцией к появлению вечернего максимума примерно в 21—22 LT. К зимним особенностям можно отнести достаточно резкое увеличение N_m в утренние часы и последующее увеличение до максимальных значений в околоволноденные часы.

Суточные вариации температуры электронов и ионов. Как известно, на высотах нижней ионосферы ($h < 160$ км) сохраняется тепловое равновесие между электронным, ионным и нейтральным газами ($T_e \approx T_i \approx T_n$). Такое соотношение температур заряженных и нейтральных частиц можно объяснить интенсивным охлаждением электронов и ионов за счет соударений с частицами нейтрального газа. Начиная с высот $h \approx 160$ км за счет уменьшения частоты электрон-нейтральных соударений температура электронов превышает температуру ионного и нейтрального газов, причем температура ионов остается близкой к температуре нейтральных частиц до высот $h \approx 350$ —400 км. На высотах $h > 350$ —400 км справедливо соотношение $T_e > T_i \geq T_n$ [2].

Для всех рассмотренных сезонов в суточных вариациях T_e наблюдались два максимума — утренний (около 9—10 LT) и вечерний (около 16—18 LT). Появление этих максимумов в суточных зависимостях T_e можно объяснить увеличением величины плотности потока тепла из плазмосферы в ионосферу на высотах $h > 350$ км (рис. 10) и подводом энергии к электронам на высотах 290—340 км (рис. 9).

Локальное уменьшение T_e в околоволноденные часы объясняется тем, что охлаждение электронов происходит на фоне увеличения их концентрации и скорости передачи тепла от электронов к ионам в процессе электрон-ионных соударений. В этом случае $T_e \propto N^{-1}$ [19, 28].

Суточные вариации параметров динамических процессов в ионосфере. Вариации полного потока частиц и потока частиц за счет амбиополярной диффузии в течение суток для всех рассмотренных сезонов подобны (рис. 6, 7). Наибольшая плотность нисходящего потока за-

ряженных частиц имела место около 22—24 LT.

Суточные вариации скоростей термосферного ветра (рис. 8) также подобны в периоды равноденствий и солнцестояний и имели сложный характер. В первую половину суток наблюдается термосферный ветер, направленный от полюса к экватору. В околополуденные часы происходила смена знака и направление w и V_{ns} изменялось на противоположное. Такое поведение термосферного ветра согласуется с ранее полученными результатами для разных уровней солнечной активности [8—10].

Вариации величины энергии, подводимой к электронам, в течение суток заключаются в следующем. Наибольшие значения Q/N достигаются в околополуденные часы на высоте $h = 290$ км. Форма суточных зависимостей Q/N для разных сезонов подобна (рис. 9). В ночные часы величина Q/N незначительна.

Временные зависимости плотности потока тепла для всех сезонов выявляют два всплеска в утренние и вечерние часы (рис. 10). В ночные часы плотность потока тепла, переносимого электронами из плазмосферы, была незначительной.

Сезонные вариации параметров ионосферной плазмы. Как известно, основные параметры геокосмической плазмы подвержены годовым и полугодовым вариациям, вариациям, связанным с солнечной и геомагнитной активностями, и др. [2, 12, 23—27]. Хорошо известным фактом является сезонная и полугодовая аномалия в изменениях концентрации электронов на высотах, близких к высоте максимума области F2 ионосферы [2, 6, 24—27].

Сезонная аномалия заключается в превышении зимних полуденных значений N над летними на высотах, близких к высоте максимума области F2 ионосферы. Более явно сезонная аномалия выражена при высокой солнечной активности. В нашем случае зимние полуденные значения N примерно на 10—15 % больше летних. С увеличением высоты и ночью эффекты сезонной аномалии не проявляются.

Полугодовая аномалия заключается в том, что значения концентрации электронов в периоды равноденствий больше, чем в периоды солнцестояний как в дневных, так иочных условиях. В настоящей работе выявлено, что весенние и осенние значения N превышали летние и зим-

ние примерно на 6 %. Заметим, что погрешность определения N при сглаживании на интервале 75 мин и сдвигом 15 мин составляет не более 3 %. Следует также отметить, что эффекты полугодовой аномалии проявлялись в периоды спада, роста и максимума солнечной активности [8—10].

Для объяснения сезонной и полугодовой аномалий предложен ряд механизмов [6, 25, 27]. Основную роль в появлении сезонной аномалии играют сезонные вариации нейтрального состава на высотах максимума ионизации, которые, в свою очередь, обусловлены сезонными изменениями параметров термосферной циркуляции. Под действием градиентов давления легкие составляющие нейтральной атмосферы переносятся из более разогретых областей в холодные, в результате чего происходит увеличение в холодном зимнем полушарии концентрации O и He, а летнее полушарие насыщается более тяжелыми молекулами — N₂ и O₂ [2, 6, 24]. Концентрация электронов на высотах, близких к высоте максимума области F2, пропорциональна безразмерному параметру $p = N(O)/(N(N_2) + N(O_2))$, где $N(O)$ — концентрация атомарного кислорода, $N(N_2)$ и $N(O_2)$ — концентрации молекул азота и кислорода соответственно.

В табл. 2 представлены значения концентраций $N(O)$, $N(N_2) + N(O_2)$ и параметра p на высоте 280 км для 00 и 12 LT, рассчитанные по модели NRLMSISE [20]. Видно, что зимой в полдень значения p в 2.15 раза больше, чем летом, значения $N(O)$ зимой также превышали летние.

Появление полугодовой аномалии в сезонных вариациях N может быть связано с равноденственными максимумами концентраций частиц в нейтральной атмосфере, полугодовыми вариациями параметров геомагнитного поля, полугодовыми вариациями параметров волновых возмущений в нижней и средней атмосфере, полугодовыми вариациями высоты максимума области F2 [24, 26]. Из табл. 2 видно, что концентрация атомарного кислорода в равноденственные периоды в 1.1—1.5 раза больше, чем в периоды солнцестояний.

Сезонные вариации температуры электронов T_e заключались в следующем. В период летнего солнцестояния дневные значения T_e превышали зимние на 50 К и 350 К на высотах 240 и 490 км

Таблица 2. Сезонные вариации параметров нейтральной атмосферы на высоте 280 км, рассчитанные по модели NRLMSISE [20]

Месяц	00 LT			12 LT		
	$N(O) \cdot 10^{-14}$, м ⁻³	$(N(O_2) + (N_2)) \cdot 10^{-14}$, м ⁻³	p	$N(O) \cdot 10^{-14}$, м ⁻³	$(N(O_2) + (N_2)) \cdot 10^{-14}$, м ⁻³	p
март	4.20	1.14	3.75	6.30	1.82	3.47
сентябрь	4.15	0.99	4.48	6.25	1.20	4.87
июнь	2.40	0.56	4.27	4.05	1.19	3.41
декабрь	4.50	0.61	7.58	5.80	0.79	7.33

соответственно. В ночных условиях летние значения T_e на высоте 240 км превышали зимние примерно на 50 К, на высоте 490 км — 250 К. В периоды равноденствий T_e как днем, так и ночью больше, чем T_e в зимний период, но меньше летних значений.

Выводы

Представлен анализ суточных и сезонных вариаций параметров геокосмической плазмы (концентрации электронов N , температуры электронов T_e и ионов T_i) в период минимума 23-го цикла солнечной активности. В ходе компьютерного моделирования получены значения плотностей потоков заряженных частиц, тепла, величины энергии, подводимой к электронам, скоростей нейтральных (термосферных) ветров.

1. Подтверждено, что в минимуме солнечной активности основные параметры геокосмической плазмы испытывали значительные суточные и сезонные вариации.

2. На высотах ниже максимума области $F2$ ионосферы концентрация электронов контролируется в основном величиной зенитного угла Солнца. На высотах максимума области $F2$ и выше основную роль в формировании высотного профиля N играют процессы переноса частиц и энергии.

3. Подтверждено наличие сезонной и полугодовой аномалий в вариациях концентрации электронов на высотах, близких к высоте максимума области $F2$. Зимние полуденные значения N превышали летние примерно на 10—15 %. Концентрация электронов в период равноденствий примерно на 6 % больше, чем в периоды солнцестояний.

4. В суточных вариациях T_e имели место два максимума в утренние (около 9—10 LT) и вечерние (около 16—18 LT) часы. В периоды равноденствий T_e и T_i различались не более чем на 10—15 % как в дневные, так и ночные часы. В период летнего солнцестояния дневные значения T_e превышали зимние на 50 и 350 К на высотах 240 и 490 км соответственно. В ночных условиях летние значения T_e на высоте 240 км больше зимних примерно на 50 К, на высоте 490 км — 250 К.

5. Расчеты показали, что максимальная плотность нисходящего полного потока заряженных частиц Π_p имела место около 22 LT. Весной и осенью в оклополуденные часы на высотах 340 и 410 км Π_p составляла $-4 \cdot 10^{12}$ и $-2 \cdot 10^{12}$ м⁻²с⁻¹ соответственно. Летом в дневное время значения Π_p достигали $-20 \cdot 10^{12}$ и $-10 \cdot 10^{12}$ м⁻²с⁻¹ на этих же высотах. Для периода зимнего солнцестояния в 12 LT значения Π_p не превышали $-2 \cdot 10^{12}$ и $3 \cdot 10^{12}$ м⁻²с⁻¹ на высотах 340 и 410 км соответственно. В ночные часы на этих же высотах Π_p равнялась $-3.5 \cdot 10^{12}$ и $-2 \cdot 10^{12}$ м⁻²с⁻¹.

6. В ходе компьютерного моделирования получено, что в периоды равноденствий в оклополуденные часы на высоте 340 км плотность потока за счет амбиционарной диффузии $\Pi_d \approx -1(2) \cdot 10^{12}$ м⁻²с⁻¹, в ночных условиях $\Pi_d \approx -2 \cdot 10^{12}$ м⁻²с⁻¹. Летом на высоте 340 км в 12 LT наблюдался незначительный по величине восходящий поток плазмы. В ночных условиях на данной высоте $\Pi_d \approx -9 \cdot 10^{12}$ м⁻²с⁻¹. Получено, что форма суточных вариаций для данных сезонов также подобна.

7. Рассчитанная величина Q/N в оклополуденные часы для всех рассмотренных сезонов примерно равна $8 \cdot 10^{-22}$ Дж/с на высоте 290 км.

На высоте 340 км $Q/N \approx 3 \cdot 10^{-22}$ Дж/с для осеннего равноденствия и зимнего солнцестояния; для лета и весны величина Q/N составляет $4 \cdot 10^{-22}$ Дж/с. В ночные часы на рассмотренных высотах для всех сезонов значения Q/N близки к нулю.

8. В суточных вариациях плотности потока тепла Π_T имели место два явно выраженных минимума — утренний (около 07—08 LT) и вечерний (около 16—17 LT). В полдень для всех сезонов $\Pi_T \approx -(2-3)$ мкВт/м² на высоте 340 км. На высоте 410 км в окополуденные часы $\Pi_T \approx -(3-4)$ мкВт/м², для зимнего солнцестояния $\Pi_T \approx -2.4$ мкВт/м². В ночные часы в периоды равноденствий и солнцестояний поток тепла из плазмосферы в ионосферу незначителен по величине.

Авторы благодарят В. И. Тарана за интерес к работе, Л. Я. Емельянова, А. Ф. Кононенко, И. Б. Склярова, Ю. В. Черняка — за проведение экспериментов на радаре НР, а А. В. Болибок — за первичную обработку экспериментальных данных.

1. Акимов Л. А., Григоренко Е. И., Таран В. И. и др. Комплексные радиофизические и оптические исследования динамических процессов в атмосфере и геокосмосе, вызванных солнечным затмением 11 августа 1999 года // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники.—2002.—№ 2.—С. 25—63.
2. Брюнелли Б. Е., Намгладзе А. А. Физика ионосферы. — М.: Наука, 1988.—528 с.
3. Григоренко Е. И., Лысенко В. Н., Пазюра С. А. и др. Аномальная ионосферная буря 21 марта 2003 года // Космічна наука і технологія.—2004.—10, № 1.—С. 4—11.
4. Дзюбанов Д. А., Захаров И. Г., Ляшенко М. В. Моделирование полуденных значений электронной концентрации в максимуме области F2 ионосферы по данным Харьковского радара некогерентного рассеяния // Космічна наука і технологія.—2004.—10, № 2/3.—С. 28—35.
5. Емельянов Л. Я., Григоренко Е. И., Скляров И. Б. Радиофизические наблюдения вертикального дрейфа плазмы в области F ионосферы на Харьковском радаре некогерентного рассеяния // Радиотехника.—2004.—Вып. 136.—С. 102—108.
6. Иванов-Холодный Г. С., Михайлов А. В. Прогнозирование состояния ионосферы. — Л.: Гидрометеоиздат, 1980.—190 с.
7. Лысенко В. Н. Измерение вертикальной составляющей скорости дрейфа плазмы и кинетических температур в ионосфере // Геомагнетизм и астрономия.—2001.—41, № 3.—С. 365—368.
8. Ляшенко М. В., Пуляев В. А., Черногор Л. Ф. Суточные и сезонные вариации параметров ионосферной плазмы в период роста солнечной активности // Космічна наука і технологія.—2006.—12, № 5/6.—С. 58—68.
9. Ляшенко М. В., Скляров И. Б., Черногор Л. Ф., Черняк Ю. В. Суточные и сезонные вариации параметров ионосферной плазмы в период спада солнечной активности // Космічна наука і технологія.—2006.—12, № 2/3.—С. 45—58.
10. Ляшенко М. В., Черногор Л. Ф., Черняк Ю. В. Суточные и сезонные вариации параметров ионосферной плазмы в период максимума солнечной активности // Космічна наука і технологія.—2006.—12, № 4.—С. 56—70.
11. Михайлов А. В., Островский Г. И. Явление зимнего возрастания электронной концентрации в ночной F2-области и его возможное объяснение // Геомагнетизм и астрономия.—1980.—20, № 1.—С. 29—32.
12. Ришбет Г., Гарриот О. К. Введение в физику ионосферы. — Л.: Гидрометеоиздат, 1975.—304 с.
13. Таран В. И. Исследования ионосферы в естественных и искусственно возмущенных состояниях методом некогерентного рассеяния // Геомагнетизм и астрономия.—2001.—41, № 5.—С. 659—666.
14. Черногор Л. Ф. Физика Земли, атмосферы и геокосмоса в свете системной парадигмы // Радиофизика и радиоастрономия.—2003.—8, № 1.—С. 56—104.
15. Черногор Л. Ф. Земля — атмосфера — геокосмос как открытая динамическая нелинейная система // Космічна наука і технологія.—2003.—9, № 5/6.—С. 96—105.
16. Черногор Л. Ф. «Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера» как открытая динамическая нелинейная физическая система (часть 1) // Нелинейный мир.—2006.—4, № 12.—С. 655—697.
17. Черногор Л. Ф. «Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера» как открытая динамическая нелинейная физическая система (часть 2) // Нелинейный мир.—2007.—5, № 4.—С. 198—231.
18. Bilitza D. International Reference Ionosphere 2000 // Radio Sci.—2001.—36, N 2.—P. 261—275.
19. Evans J. V. Seasonal and sunspot cycle variations of F-region electron temperatures and protonospheric heat fluxes // J. Geophys. Res.—1973.—78, N 13.—P. 2344.
20. Farelo A. F., Herraiz M., Mikhailov A. V. Global morphology of night-time N_mF2 enhancements // Ann. Geophysicae.—2002.—20.—P. 1795—1806.
21. Mikhailov A. V., Schlegel K. Equinoctial transitions in the ionosphere and thermosphere // Ann. Geophysicae.—2001.—19.—P. 783—796.
22. Picone J. M., Hedin A. E., Drob D. P., Aikin A. C. NRLMSISE-00 empirical model of the atmosphere: Statistical comparisons and scientific issues // J. Geophys. Res.—2002.—107, N A12.—P. 1—16.
23. Richards P. G. Seasonal and solar cycle variations of the ionospheric peak electron density: Comparison of measurement and models // J. Geophys. Res.—2001.—106, N A7.—P. 12803—12819.
24. Rishbeth H. How the thermospheric circulation affects the ionospheric F2-layer // J. Atmos. Solar-Terr. Phys.—1998.—60.—P. 1385—1402.

25. Rishbeth H., Muller-Wodarg I. C. F. Why is there more ionosphere in January than in July? The annual asymmetry in the F2-layer // Ann. Geophysicae.—2006.—24.—P. 3293—3311.
26. Rishbeth H., Sedgemore-Schlüthess K. J. F., Ulich T. Annual and semiannual variations in the ionospheric F2-layer: II. Physical discussion // Ann. Geophysicae.—2000.—18.—P. 945—956.
27. Salah J. E., Evans J., Wand R. N. Seasonal variations in the thermosphere above Millstone Hill // Radio Sci.—1974.—9, N 2.—P. 231—238.
28. Schunk R. W., Nagy A. F. Ionospheres: physics, plasma physics, and chemistry // Cambridge atmospheric and space science series.—2000.—555 p.
29. Sethi N. K., Dabas R. S., Vohra V. K. Diurnal and seasonal variations of h_mF2 deduced from digital ionosonde over New Delhi and its comparison with IRI 2001 // Ann. Geophysicae.—2004.—22.—P. 453—458.
30. Zang S., Holt J. M., Zalucha A. M. Midlatitude ionospheric plasma temperature climatology and empirical model based

on Saint-Saintin incoherent scatter radar data from 1966 to 1987 // J. Geophys. Res.—2004.—109, N A11.—P. 1—9.

**INVESTIGATION AND MODELING
OF IONOSPHERIC PLASMA PARAMETER
VARIATIONS DURING MINIMUM PERIOD
OF THE 23-th SOLAR ACTIVITY CYCLE**

D. A. Dzyubanov, M. V. Lyashenko, L. F. Chernogor

Analysis results of diurnal and seasonal variations of ionospheric plasma parameters (electron density N , electron T_e and ion T_i temperatures) for the 23-th solar activity cycle minimum are presented. Seasonal and semiannual F2-peak anomalies were confirmed. Semi-empirical simulation of geospace dynamic processes was carried out. Regional features of spatial and temporal distribution of ionospheric parameters over the Central Europe at solar activity minimum were revealed.

УДК 520.16+523.31+523.9:520.86, 550.388

М. В. Ляшенко¹, Л. Ф. Черногор²

¹Інститут іоносфери Національної академії наук і Міністерства освіти і науки України, Харків

²Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Атмосферно-ионосферные эффекты частного солнечного затмения 3 октября 2005 г. в Харькове.

2. Результаты расчетов и обсуждение

Надійшла до редакції 06.04.07

Проведено розрахунок параметрів динамічних процесів і теплового режиму термосфери та іоносфери, які супроводжували часткове (близько 24 %) затмінення Сонця 3 жовтня 2005 р. Показано, що затмінення викликало значне збільшення повного потоку заряджених частинок на висотах 340—410 км, зменшення температури нейтралів на 5—15 К на висотах 300—360 км, зменшення на 40—20 % енергії, яка підводиться до електронного газу, на висотах 290—340 км, зменшення на 17—13 % модуля густини потоку тепла, яке передається електронами, на висотах 290—340 км. Проведено також порівняння атмосферно-іоносферних ефектів затмінень Сонця 11 серпня 1999 р., 31 травня 2003 р., 3 жовтня 2005 р. і 29 березня 2006 р., які мали місце поблизу м. Харкова.

ВВЕДЕНИЕ

Наблюдение, интерпретация и моделирование эффектов затмений в геокосмосе позволяют расширить наши знания о поведении параметров атмосферы, ионосферы и магнитосферы Земли во время развития нестационарных процессов в системе Земля — Солнце. Затмение Солнца (ЗС) вызывает перестройку среды к ночным условиям и качественно напоминает поведение параметров плазмы в вечерне-утренние часы [1—7, 10—13, 15—18, 20].

Целью нашей работы является моделирование вариаций динамических процессов в геокосмосе во время затмения Солнца 3 октября 2005 г. на основе интерпретации данных его наблюдений в Харькове, описанных нами в работе [7]. В

работе также представлено сравнение эффектов в геокосмической плазме над Харьковом, вызванных частными затмениями Солнца 19 августа 1999 г., 31 мая 2003 г., 3 октября 2005 г. и 29 марта 2006 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ИОНОСФЕРЕ. ИСХОДНЫЕ СООТНОШЕНИЯ

Радар некогерентного рассеяния (НР) в Харькове позволяет получать с высокой точностью и достаточным разрешением по высоте следующие параметры геокосмической плазмы: концентрацию электронов N , температуру электронов T_e и

ионов T_i , вертикальную составляющую скорости переноса частиц V_z и ионный состав [14].

Эти параметры вместе с оценками параметров нейтральной атмосферы, полученными в рамках современных моделей термосферы, можно использовать для расчета параметров среды, непосредственно не измеряемых на радаре НР. К таким параметрам относятся: продольные составляющие тензоров теплопроводности и амби-полярной диффузии, частоты соударений заряженных и нейтральных частиц, плотности потоков частиц, энергии, подводимой к заряженным частицам и т. п.

Потоки частиц в ионосфере. Плотность полного потока ионосферной плазмы в вертикальном направлении можно вычислить, используя данные о вертикальной составляющей скорости переноса плазмы и концентрации электронов. В общем виде выражение для вертикальной составляющей скорости переноса имеет вид [6, 20]

$$V_z = (V_{d\parallel})_z + (V_{n\parallel})_z + (V_\perp)_z, \quad (1)$$

где $(V_{d\parallel})_z$ — вертикальная составляющая скорости частиц за счет амби-полярной диффузии, которая идет в основном вдоль силовых линий геомагнитного поля; $(V_{n\parallel})_z$ — вертикальная составляющая скорости ветрового увлечения заряженных частиц; $(V_\perp)_z$ — вертикальная составляющая скорости увлечения частиц электромагнитным дрейфом. Подставив в выражение (1) значения каждого из слагаемых, получаем

$$\begin{aligned} V_z = & V_{dz} + V_{nx} \sin I \cos I \cos D - V_{ny} \sin I \cos I \sin D + \\ & + V_{nz} \sin^2 I + \frac{E_x}{B} \cos I \sin D + \frac{E_y}{B} \cos I \cos D, \end{aligned} \quad (2)$$

где

$$V_{dz} = -D_a \sin^2 I \left(\frac{1}{H_p} + \frac{1}{N} \frac{\partial N}{\partial z} + \frac{1}{T_p} \frac{\partial T_p}{\partial z} \right)$$

— скорость переноса частиц за счет амби-полярной диффузии; $D_a = kT_p / (m_i v_{in})$ — продольная составляющая тензора амби-полярной диффузии; $v_{in} = v_{O^+, O} + v_{O^+, O_2} + v_{O^+, N_2} + v_{O^+, H} + v_{O^+, He}$ — суммарная частота соударений ионов с нейтралами; $v_{O^+, O}$, v_{O^+, O_2} , v_{O^+, N_2} , $v_{O^+, H}$, $v_{O^+, He}$ — частоты соударений ионов кислорода в собственном газе, с атомами и молекулами кислорода, азота, водо-

рода и гелия соответственно, $T_p = T_e + T_i$ — плазменная температура, $H_p = k T_p / (mg)$ — плазменная приведенная высота, I и D — наклонение и склонение геомагнитного поля; E_x и E_y — компоненты электрического поля, B — модуль индукции магнитного поля Земли.

Плотность полного потока плазмы в вертикальном направлении вычисляется по формуле

$$\Pi_p = V_z N. \quad (3)$$

Выражение для расчета величины плотности потока заряженных частиц за счет амби-полярной диффузии имеет вид

$$\Pi_d = V_{dz} N. \quad (4)$$

Скорость эквивалентного нейтрального ветра и меридиональная составляющая скорости нейтрального ветра. Величину скорости эквивалентного нейтрального ветра можно рассчитать, используя выражение (2) и сделав следующие упрощения. Принимая во внимание незначительный вклад среднеширотных электрических полей ($E_{x,y} \rightarrow 0$) в спокойных гелиогеофизических условиях и пренебрегая эффектами склонения ($D \rightarrow 0$), выражение для скорости эквивалентного нейтрального ветра запишем в виде

$$w \approx V_z - V_{dz}. \quad (5)$$

Меридиональную составляющую скорости нейтрального ветра можно рассчитать, используя следующее соотношение

$$V_{nx} \approx \frac{V_z - V_{dz}}{\sin I \cos I}. \quad (6)$$

Энергия, подводимая к электронному газу. В области F ионосферы частота столкновений электронов с нейтралами становится меньше, чем частота столкновений с ионами. Основные механизмы охлаждения электронного газа здесь — потеря тепла при столкновениях электронов с ионами, потеря энергии на возбуждение тонкой структуры атомов кислорода и перенос теплоты электронным газом [16]. Имеет место перенос фотоэлектронов и связанный с этим переносом нелокальный нагрев электронного газа.

На высотах $h \leq 350$ км теплопроводностью электронного газа можно пренебречь, и уравнение баланса энергии электронов в стационарном

случае будет иметь вид [16]

$$\begin{aligned} Q &= L_{ei} + L_e, \\ L_{ei} &= 8 \cdot 10^{-32} N^2 (T_e - T_i) T_e^{-3/2}, \\ L_e &= 6.4 \cdot 10^{-37} N \cdot N(O) (T_e - T_i) T_n^{-1}, \end{aligned} \quad (7)$$

где Q — энергия, передаваемая тепловым электронам при кулоновских столкновениях с фотоэлектронами; L_{ei} — энергия, теряемая при электрон-ионных столкновениях; L_e — энергия, затрачиваемая на возбуждение тонкой структуры атомов кислорода; $N(O)$ — концентрация атомов кислорода. Температура нейтралов T_n и концентрация $N(O)$ рассчитывалась с привлечением модели NRLMSISE-00.

Поток тепла, переносимого электронами. Тепловой баланс электронного газа зависит от величины потока тепла, переносимого электронами из плазмосферы в ионосферу. Тепло в плазмосфере накапливается за счет сверхтепловых электронов, убегающих из места своего образования во внешнюю ионосферу. Часть электронов теряют свою энергию в кулоновских соударениях с тепловыми электронами и ионами. Другая часть электронов попадает в магнитную силовую трубку. В этой трубке захваченные электроны термализуются в процессе многократных отражений от ее концов. Таким образом, в плазмосфере имеет место накопление тепла, которое поступает обратно в ионосферу путем переноса теплоты электронным газом [6, 16, 20].

Тепловой поток можно определить из кинетического уравнения с учетом переноса сверхтепловых электронов. Выражение для расчета величины плотности потока теплоты, поступающей из плазмосферы в вертикальном направлении, имеет вид [16, 19]:

$$\Pi_T = -\kappa_e \sin^2 I \frac{\partial T_e}{\partial z}, \quad (8)$$

где $\kappa_e = 2.08 \cdot k^2 N T_e / (m v_{ei})$ — продольная составляющая тензора теплопроводности электронного газа, k — постоянная Больцмана, m — масса электрона.

Частоту соударений электронов с ионами O^+ для расчета величины продольной составляющей тензора теплопроводности в (8) можно найти, используя выражение вида [1, 2, 9]:

$$\nu_{ei} \approx 5.5 \cdot 10^{-6} N T_e^{-3/2} \ln(2.2 \cdot 10^4 T_e N^{-1/3}).$$

Температура нейтралов. Температура нейтральных частиц, совпадающая с температурой атмосферы, на радаре НР непосредственно не измеряется. Ее можно вычислить по имеющимся значениям T_e , T_i , N , $N(O)$, $N(N_2)$ и $N(O_2)$ [1, 2]. Использование такой методики справедливо в диапазоне высот 250—350 км. Для высот $z \leq 250$ км температура атмосферы примерно равна T_i , выше 350 км в расчетах необходимо учитывать теплопроводность газа. Данная методика предполагает также квазистационарность процессов в ионосфере и атмосфере.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Потоки частиц в ионосфере. На рис. 1 представлены временные вариации плотности полного потока заряженных частиц в течение затмения Солнца и контрольный день 4 октября 2005 г. В течение ЗС поток частиц направлен вниз.

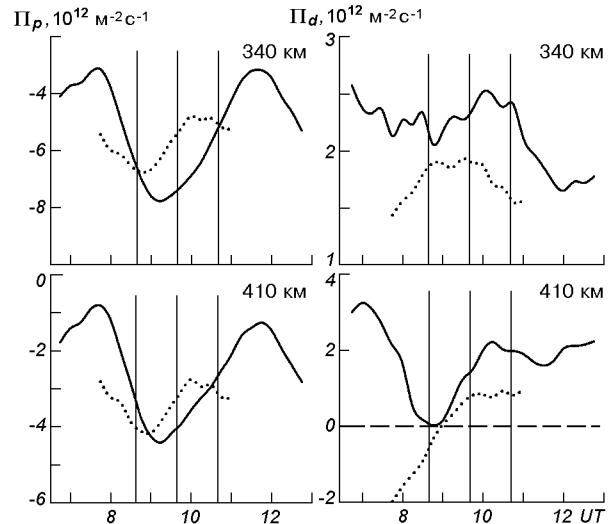


Рис. 1. Временные вариации плотности Π_p полного потока плазмы и плотности Π_d потока плазмы за счет амбиополярной диффузии на фиксированных высотах во время ЗС 3 октября (здесь и далее сплошная линия) и контрольный день 4 октября 2005 г. (здесь и далее точки). Вертикальными линиями отмечено начало, максимальная фаза и окончание ЗС

В момент максимальной фазы затмения 3 октября $|\Pi_p| \approx 7.5 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ и $4 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ на высотах 340 и 410 км соответственно. В контрольный день 4 октября значения модуля Π_p достигали величин $5.3 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ и $3.2 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ на аналогичных высотах.

На рис. 1 представлены временные зависимости плотности потока заряженных частиц за счет амбиополярной диффузии. Видно, что ЗС сопровождалось существенными изменениями Π_d .

Скорость эквивалентного нейтрального ветра и меридиональная составляющая скорости нейтрального ветра. Результаты расчета w и V_{nx} на фиксированных высотах представлены на рис. 2. В момент максимального покрытия диска Солнца 3 октября и контрольный день 4 октября расчетные значения w и

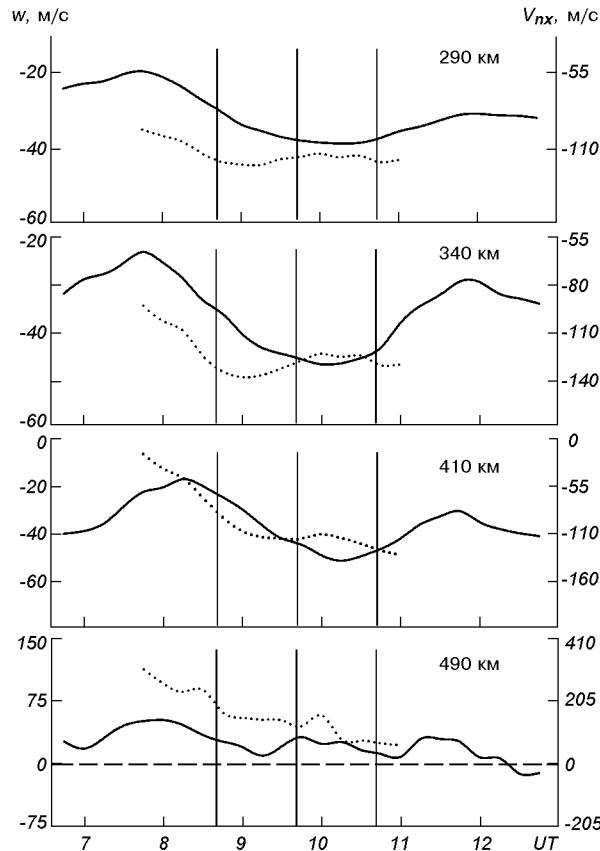


Рис. 2. Временные вариации скорости эквивалентного нейтрального ветра w и меридиональной составляющей скорости нейтрального ветра V_{nx} на фиксированных высотах во время ЗС 3 октября и контрольный день 4 октября 2005 г.

V_{nx} заметно отличались. Так, на высоте 290 км во время ЗС и контрольный день w и V_{nx} составляли около -40 и -100 м/с соответственно. На высоте 490 км $w \approx 30-45$ м/с, $V_{nx} \approx 80-110$ м/с. Следует отметить, что в течение ЗС сохранялось направление нейтрального ветра от экватора к полюсу, что соответствует дневным условиям. По-видимому, кратковременное (~ 2 ч) и относительно локальное уменьшение освещенности Земли во время ЗС не сильно изменило глобальное распределение термосферных ветров.

Энергия, подводимая к электронному газу. Модельные вариации величины энергии, подводимой к электронам, представлены на рис. 3. Во время ЗС и контрольный день вариации Q/N подобны. Минимальные значения Q/N имели место около 09:00. В момент наступления максимальной фазы ЗС значения $Q/N \approx 5.9 \cdot 10^{-22}$ и $2.65 \cdot 10^{-22}$ Дж/с на высотах 290—340 км соответственно. В контрольные сутки 4 октября на этих же высотах Q/N составляла $6.6 \cdot 10^{-22}$ и $2.9 \cdot 10^{-22}$ Дж/с. Затмение вызвало уменьшение величины Q/N примерно на 40—20 % на высотах 290—340 км соответственно.

Плотность потока тепла в ионосферу. На рис. 3 представлены временные вариации плотности потока тепла Π_T , переносимого электроно-

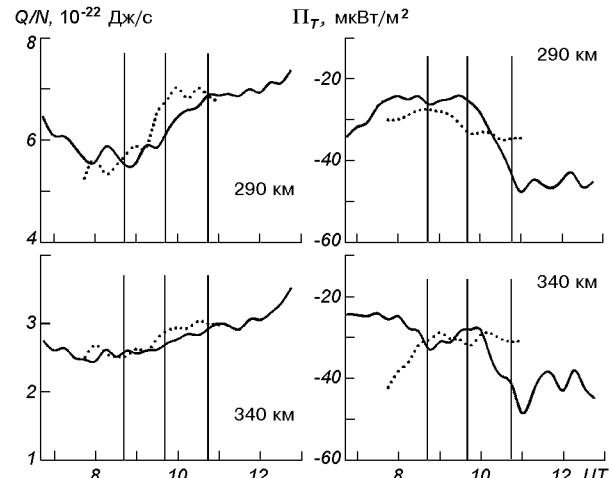


Рис. 3. Временные вариации величины энергии Q/N , подводимой к электронному газу, и плотности Π_T потока тепла во время затмения Солнца 3 октября и контрольный день 4 октября 2005 г.

ми из плазмосфера в ионосферу. Как видно, затмение привело к уменьшению величины $|\Pi_T|$ в диапазоне высот 290–340 км. В момент максимального покрытия диска Солнца 3 октября $|\Pi_T| \approx 2.5 \cdot 10^{-5} - 2.8 \cdot 10^{-5}$ Вт/м² на высотах 290–340 км соответственно. В контрольный день для указанного временного интервала величина $|\Pi_T|$ составляла $3.3 \cdot 10^{-5}$ Вт/м² на этих же высотах.

Температура нейтралов. На рис. 4 представлены временные вариации температуры нейтралов на фиксированных высотах во время ЗС 3 октября и контрольный день 23 сентября 2005 г. В контрольный день зависимость $T_n(t)$ не была монотонной: примерно в 09:30 наблюдался слабо возмущенный минимум (до 30 К). После 09:30 имело место увеличение T_n .

В день затмения T_n также уменьшалась после 09:00, но достигла минимальных значений в

09:50 и 09:53 на высотах 360 и 300 км соответственно, т. е. через 12 и 5 мин после момента главной фазы затмения. Уменьшение T_n составило 35 и 45 К для высот 300 и 360 км соответственно.

ОБСУЖДЕНИЕ

Температура воздуха в приземной атмосфере. Существенное уменьшение температуры воздуха в день ЗС началось после наступления главной фазы затмения. Значения t_a уменьшились на 1.0–1.4 °C или на 6–8 %. Это имело место в 10:30. В целом же эффект уменьшения t_a продолжался около 60–70 мин. Лишь через 10–20 мин после окончания затмения значения t_a достигли своих невозмущенных значений.

Уровень флюктуаций геомагнитного поля. В отличие от эффектов затмения в приземной атмосфере, эффекты в геомагнитном поле уверенно не наблюдались. С затмением, возможно, связано некоторое увеличение уровня H - и D -составляющих в интервалах времени 09:00–09:50 и 10:10–10:30. Эффект наблюдался в диапазоне периодов 20–1000 с, но сильнее был выражен в диапазоне $T = 300$ –1000 с. Этот диапазон относится к диапазону внутренних гравитационных волн (ВГВ). Как известно [2, 9], ЗС обычно сопровождаются некоторым усилением волновой активности в нейтральной атмосфере и ионосфере. ВГВ модулируют плотность ионосферного тока в диапазоне высот 100–150 км, а также приводят к генерации стороннего электрического тока. Последний, в свою очередь, вызывает вариации индукции геомагнитного поля с периодами ВГВ. Наши расчеты показали, что относительные изменения концентрации электронов в ВГВ $\delta_N = 1\%$ в зависимости от состояния ионосферы могут привести к магнитному эффекту ВГВ от десятых долей до нескольких нанотесла. Примерно такие же значения наблюдались в эксперименте.

Концентрация электронов в ионосфере. Характерной особенностью дневных вариаций N в осенне время является ее уменьшение примерно после 09:00–10:00. Поэтому уменьшение N , связанное с ЗС, маскировалось указанной особенностью. Тем не менее в зависимости $N_m(t)$ вблизи главной фазы затмения до-

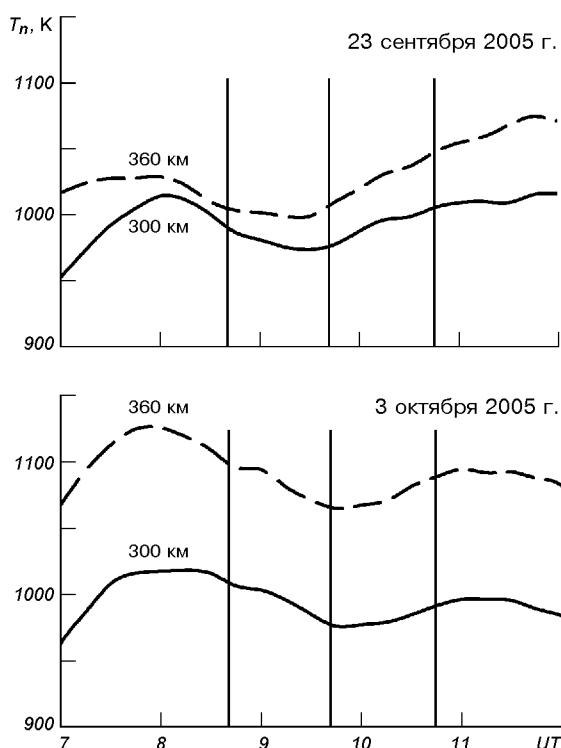


Рис. 4. Временные вариации температуры нейтралов T_n на фиксированных высотах во время ЗС 3 октября и контрольный день 23 сентября 2005 г. Скользящее усреднение на интервале 75 мин со сдвигом на 15 мин

статочно уверенно удалось выделить эффект уменьшения N_m , составляющий примерно 5–6 %. Увеличение z_m было незначительным.

С затмением Солнца, кроме того, связано замедление скорости падения N на высотах 190–250 км и ее ускорение на высотах 290–680 км.

Температуры электронов и ионов в ионосфере. Уменьшение T_e на 100–200 К в главную фазу ЗС четко выражено на высотах 400–500 км соответственно. На меньших высотах $\Delta T_e \approx 50$ –70 К. Как и следовало ожидать, временные вариации T_e практически без запаздывания повторяли изменения функции покрытия Солнца $A(t)$. Это обусловлено относительно небольшими (~ 100 с) временами становления T_e за счет теплопроводности электронов на этих высотах [2].

Затмение Солнца сопровождалось уменьшением T_i на 15–80 К на высотах 240–490 км соответственно. Эффект охлаждения ионов, в отличие от эффекта охлаждения электронов, был инерционным. Время запаздывания $T_{i\min}$ по отношению к A_{\min} составляло 25–5 мин на высотах 240–410 км соответственно. Время t_T становления T_i определяется процессом переноса тепла [2]. При этом $t_T = H\nu_{nn}/g$, где H — приведенная высота нейтральной атмосферы, ν_{nn} — частота соударений нейтралов с нейтралами, g — ускорение свободного падения. Например, при $H = 50$ км $\nu_{nn} = 0.1 \text{ с}^{-1}$ имеем $t_T \approx 8$ мин.

Затмению сопутствовало уменьшение T_n на 35–45 К на высотах 300–360 км. Важно, что время запаздывания этого эффекта по отношению к моменту главной фазы ЗС составляло 12–5 мин для указанных высот. Учитывая, что в контрольный день также имело место (хотя и несколько раньше) уменьшение T_n до 30 К, можно сделать вывод, что ЗС привело к уменьшению T_n по крайней мере на 5–15 К, или на 0.5–1.5 %.

Скорость переноса плазмы. В день ЗС на высотах 360–470 км наблюдалось увеличение модуля скорости $V_z(t)$ примерно на 20 м/с. Зависимость $V_z(t)$ практически отслеживала временные изменения $A(t)$. Наблюдаемое поведение $V_z(t)$ аналогично поведению в вечерне-утреннее время и связано с движением плазмы вниз для

частичного восполнения ионов в результате ослабления источника ионизации при ЗС.

Концентрация ионов водорода в ионосфере. Затмение Солнца вызвало увеличение на 20–10 % $N(\text{H}^+)/N$ на высотах 900–1200 км соответственно. Значения $N(\text{H}^+)$ увеличились вдвое на высотах 400–800 км, в диапазоне высот 900–1200 км они уменьшились в 7–10 раз. Увеличение $N(\text{H}^+)$ является результатом усиления потока частиц из плазмосферы в ионосферу.

Волновые возмущения в ионосфере. О влиянии ЗС на волновую активность, по-видимому, свидетельствует «сбой фазы» колебания вскоре после наступления главной фазы затмения. При этом наблюдалось 1.5–2 колебания с существенно отличающимися от фоновых значений амплитудой и периодом. В соседний день, 4 октября 2005 г., подобный эффект не отмечался. Наиболее четко генерируемое волновое возмущение наблюдалось на высоте около 200 км, его период составлял 60 мин, а $\delta_N \approx 0.04$.

Причиной генерации колебательных процессов в плазме была генерация ВГВ в термосфере в результате ее охлаждения при частичном покрытии диска Солнца. И хотя уменьшение температуры атмосферы было незначительным (~ 10 К или около 1 %), это оказалось достаточным для генерации ВГВ с относительной амплитудой порядка 1 %.

Потоки частиц. В контрольный день 4 октября 2005 г. плотность полного потока плазмы Π_p из плазмосферы в ионосферу увеличивалась по величине примерно до 09:00, затем в течение одного часа она уменьшалась (рис. 1). Увеличение $|\Pi_p|$ не превышало 20–40 % на высотах 340–410 км. В день ЗС описанный процесс наложился на процесс, связанный с затмением, и $|\Pi_p|$ на тех же высотах увеличилась в 2.5–4.5 раза. Качественно Π_p изменялась так же, как и во время других ЗС [1, 2, 11].

Плотности потоков заряженных частиц Π_d за счет амбиполярной диффузии в контрольный день и день ЗС заметно отличались (рис. 1). В течение затмения значения Π_d увеличились на десятки процентов. Во время ЗС 29 марта 2006 г. значения Π_d уменьшались. Это связано с различным поведением ионосферных параметров (N , T_e , T_i и др.) в периоды затмений Солнца 2005 и 2006 гг.

Тепловые процессы в электронном газе. Как и следовало ожидать, покрытие диска Солнца обусловило уменьшение энергии, подводимой к электронам, примерно на 40—20 % на высотах 290—340 км соответственно.

Уменьшение подводимой к электронам энергии привело к уменьшению T_e и, как следствие, — к уменьшению величины плотности потока тепла $|\Pi_T|$, переносимого электронами. При уменьшении T_e примерно на 4 % $|\Pi_T|$ уменьшилась на 17—13 % на высотах 290—340 км соответственно.

Такие же, но большие по величине, тепловые эффекты сопровождали ЗС 1999, 2003 и 2006 гг. [1, 2, 11].

Эффекты нейтральных ветров. На высотах 290—340 км составляющая скорости w вертикального переноса плазмы за счет ветрового увлечения и электромагнитного дрейфа, а также меридиональная скорость ветра V_{nx} в течение ЗС слабо отличались от своих значений в контрольный день (рис. 2). На высотах 410—490 км значения w и V_{nx} уменьшались на несколько десятков метров в секунду. Примерно такой же эффект, но больший по величине, наблюдался нами в течение ЗС 29 марта 2006 г. [11].

Сравнение атмосферно-ионосферных эффектов затмений Солнца 1999, 2003, 2005 и 2006 гг. Все ЗС были частными, A_{\max} составляло 0.73, 0.64, 0.24 и 0.77. Затмения 1999, 2005 и 2006 гг. имели место вблизи местного полудня. Затмение 2003 г. наблюдалось в утреннее время на фоне релаксирующей магнитной бури.

Наиболее удобным для сравнения эффектов затмения 2005 г. является затмение Солнца 2006 г. Они оба произошли вблизи равноденствия и минимума солнечной активности, но сильно (более чем в три раза) отличались по степени покрытия диска Солнца. При этом относительные уменьшения температуры воздуха, равные 8 и 18 %, отличались примерно в 2.2—2.3 раза. Относительные изменения концентрации электронов в максимуме слоя $F2$, составляющие 5—6 и 28—30 %, отличались в 5—6 раз. Значения ΔT_e и $\Delta T_e/T_e$ на высоте около 350 км отличались примерно в 3 и 2.3 раза соответственно. В значениях ΔT_i и $\Delta T_i/T_i$ на высотах 500—600 км различия были намного меньше (десятки процентов). Изменения $|V_z|$ составляли около

20 и 80 м/с, т. е. отличались примерно в 4 раза.

Для ЗС 2005 и 2006 гг. качественно подобными оказались и результаты моделирования процессов, сопутствовавших затмениям. Количественные характеристики, естественно, отличались.

Основным итогом проведенных экспериментальных исследований и модельных расчетов явилось доказательство того факта, что данное слабое частное ЗС ($A_{\max} \approx 0.24$) привело к регистрируемым возмущениям в атмосфере, ионосфере и, по-видимому, в магнитном поле.

ВЫВОДЫ

- Показано, что на высотах 340—410 км ЗС сопровождалось существенным увеличением значений плотности полного потока плазмы из плазмосферы.

- Установлено, что ЗС сопутствовало увеличение на десятки процентов плотности потока заряженных частиц за счет амбиополярной диффузии.

- Выявлено, что ЗС на высотах 290—340 км привело к уменьшению на 40—20 % величины энергии, подводимой к электронам.

- Показано, что величина плотности потока тепла, переносимого электронами, уменьшалась на 17—13 % на высотах 290—340 км соответственно.

- Установлено, что ЗС сопровождалось уменьшением температуры нейтралов на 35—45 К на высотах 300—360 км. Затмение вызвало уменьшение этой температуры по крайней мере на 5—15 К.

- Крупномасштабное (порядка нескольких тысяч километров) уменьшение температуры газа в термосфере могло быть причиной наблюдавшихся изменений волновой активности в атмосфере и ионосфере.

- Продемонстрировано, что на высотах 410—490 км в течение ЗС происходили существенные изменения составляющей скорости вертикального переноса плазмы за счет ветрового увлечения и электромагнитного дрейфа, а также меридиональной скорости ветра.

- Указано, что атмосферно-ионосферные эффекты солнечных затмений 1999, 2003, 2005 и 2006 гг. в основном были качественно подобны-

ми, но различались количественно. Естественно, к различиям приводило и то, что эти затмения имели место в разных гелиогеофизических условиях (при разных уровнях солнечной и магнитной активностей, в разное время суток и т. д.).

8. Показано, что даже слабое частное ЗС способно привести к заметной перестройке физических процессов в атмосфере, ионосфере и, скорее всего, магнитном поле.

Авторы благодарят В. И. Тарана за интерес к работе, а также К. П. Гармаша и С. Г. Леуса за проведение измерений на магнитометре-флюксметре, Л. Я. Емельянова, А. Ф. Кононенко, В. Н. Лысенко, И. Б. Склярова и Ю. В. Черняка — на радаре некогерентного рассеяния.

1. Акимов Л. А., Богословский В. К., Григоренко Е. И. и др. Атмосферно-ионосферные эффекты солнечного затмения 31 мая 2003 года в Харькове // Геомагнетизм и аэрономия.—2005.—45, № 4.—С. 526—551.
2. Акимов Л. А., Григоренко Е. И., Таран В. И. и др. Комплексные радиофизические и оптические исследования динамических процессов в атмосфере и геокосмосе, вызванных солнечным затмением 11 августа 1999 года // Зарубеж. радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники.—2002.—№ 2.—С. 25—63.
3. Бойтман О. Н., Каляхман А. Д., Ташилин А. В. Среднеширотная ионосфера в период полного солнечного затмения 9 марта 1997 г. 1. Моделирование эффектов затмения // Геомагнетизм и аэрономия.—1999.—39, № 6.—С. 45—51.
4. Бойтман О. Н., Каляхман А. Д., Ташилин А. В. Среднеширотная ионосфера в период полного солнечного затмения 9 марта 1997 г. 2. Данные наблюдений и сравнения с результатами моделирования // Геомагнетизм и аэрономия.—1999.—39, № 6.—С. 52—60.
5. Борисов Б. Б., Егоров Д. А., Егоров Н. Е. и др. Комплексное экспериментальное исследование реакции ионосферы на солнечное затмение 9 марта 1997 г. // Геомагнетизм и аэрономия.—2000.—40, № 3.—С. 94—103.
6. Брюнелли Б. Е., Намгладзе А. А. Физика ионосферы. — М.: Наука, 1988.—528 с.
7. Бурмака В. П., Лысенко В. Н., Ляшенко М. В., Черногор Л. Ф. Атмосферно-ионосферные эффекты частного солнечного затмения 3 октября 2005 г. в Харькове. 1. Результаты наблюдений // Космічна наука і технологія.—2007.—13, № 6.—С. 74—86.
8. Бурмака В. П., Таран В. И., Черногор Л. Ф. Результаты исследования волновых возмущений в ионосфере методом некогерентного рассеяния // Успехи современной радиоэлектроники.—2005.—№ 3.—С. 4—35.
9. Гинзбург В. Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. — М.: Наука, 1967.—564 с.
10. Гоков А. М., Черногор Л. Ф. Результаты наблюдения процессов в нижней ионосфере, сопутствующих затме-

нию Солнца 11 августа 1999 г. // Радиофизика иadioastronomia.—2000.—5, № 4.—С. 348—360.

11. Григоренко Е. И., Ляшенко М. В., Черногор Л. Ф. Эффекты в ионосфере, вызванные солнечным затмением 29 марта 2006 г. // Геомагнетизм и аэрономия.—2008.—48, № 3.—С. 1—15.
12. Колоколов Л. Е., Легенька А. Д., Пулинец С. А. Ионосферные эффекты, связанные с солнечным затмением 18 марта 1988 г. // Геомагнетизм и аэрономия.—1993.—33, № 1.—С. 49—57.
13. Костров Л. С., Черногор Л. Ф. Результаты наблюдения процессов в средней ионосфере, сопутствующих затмению Солнца 11 августа 1999 г. // Радиофизика и radioastronomia.—2000.—5, № 4.—С. 361—370.
14. Таран В. И. Исследования ионосферы в естественном и искусственно возмущенном состояниях методом некогерентного рассеяния // Геомагнетизм и аэрономия.—2001.—41, № 5.—С. 659—666.
15. Черногор Л. Ф. Высыпание электронов из магнитосферы, стимулированное затмением Солнца // Радиофизика и radioastronomia.—2000.—5, № 4.—С. 371—375.
16. Эванс Дж. Теоретические и практические вопросы исследования ионосферы методом некогерентного рассеяния радиоволн // ТИИЭР.—1969.—57, № 4.—С. 139—177.
17. Afraimovich E. L., Kosogorov E. A., Lesyuta O. S. Effects of the August 11, 1999 total solar eclipse as deduced from total electron content measurements at the GPS network // J. Atmos. Solar-Terr. Phys.—2002.—64, N. 18.—P. 1933—1941.
18. Stubbe P. The F-region during an eclipse — A theoretical study // J. Atmos. Terr. Phys.—1970.—32, N. 6.—P. 1109—1116.
19. Schunk R. W., Nagy A. F. Ionospheres: Physics, plasma physics, and chemistry. — Cambridge: atmospheric and space science series.—2000.—555 p.

TROPOSPHERIC-IONOSPHERIC EFFECTS OF THE 3 OCTOBER 2005 PARTIAL SOLAR ECLIPSE IN KHARKIV. 2. MODELING AND DISCUSSION

M. V. Lyashenko, L. F. Chernogor

The thermal structure and dynamical processes that occurred in the thermosphere-ionosphere system during the 3 October 2005 partial (24 %) solar eclipse are modeled. The solar eclipse is shown to cause a significant increase in the plasma fluxes in the 340—410 km altitude range, respectively, a decrease of 5—15 K in the neutral temperature in the 300—360 km altitude range, a decrease of 40—20 % in the energy inputs to the electron gas in the 290—340 km altitude range, and a decrease of 17—13 % in the electron heat flow in the same 290—340 km altitude range. The effects which were observed in the thermosphere-ionosphere system near Kharkiv during the 11 August 1999, 31 May 2003, 3 October 2005, and 29 March 2006 solar eclipses are compared.

УДК 550.388, 520.16+523.31+523.9:520.86

С. А. Пазюра¹, В. И. Таран¹, Л. Ф. Черногор²

¹Інститут іоносфери Національної академії наук і Міністерства освіти і науки України, Харків

²Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Особенности ионосферной бури 4—6 апреля 2006 г.

Надійшла до редакції 20.06.07

Наведено результати дослідження відгуку шару F та зовнішньої іоносфери на помірну магнітну бурю 4—6 квітня 2006 р. Спостереження проведено за допомогою радара некогерентного розсіяння в Харкові. Магнітна буря супроводжувалася іоносферною бурею зі змінними фазами. Особливістю даної іоносферної бури є наявність двох позитивних фаз збурення. Розглянуто головні механізми, що формують розвиток позитивних та негативної фаз бури.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что значительные возмущения космической погоды приводят к выходу из строя космических аппаратов, энергосистем, средств телекоммуникаций и т. д. Для предотвращения возможных аварий и своевременного предупреждения населения об изменениях космической погоды (в частности о магнитных бурях) требуется продолжительные и комплексные наблюдения за состоянием космической погоды в широком диапазоне высот, истолкование наблюдавшихся физических процессов, а также их моделирование и предсказание.

Многообразие процессов в геокосмосе и сложность их взаимодействия делают индивидуальной каждую бурю, что затрудняет прогнозирование ее развития. Анализ каждой новой бури дает дополнительную информацию о формирующихся ее процессах.

При помощи единственного в среднеширотной Европе харьковского радара некогерентного рассеяния (НР) метрового диапазона на протяжении почти трех циклов солнечной активности (СА) проводятся наблюдения состояния ионо-

сферной плазмы и космической погоды [3—11, 15, 26, 27, 29, 30]. Расположение харьковского радара некогерентного рассеяния (геомагнитная широта 45.7° , $L \approx 1.9$) дает возможность исследовать эффекты, связанные с процессами ионосферно-магнитосферного взаимодействия глубоко во внутренней плазмосфере. Роль этих эффектов существенно возрастает во время сильных геомагнитных возмущений, которые охватывают не только высокие широты, но проникают также в средние широты.

Ранее авторы основное внимание уделяли исследованию сильнейших ионосферных бурь, которые происходят сравнительно редко и, как правило, вблизи периода максимальной солнечной активности [3—11, 15, 26, 27, 29, 30]. В то же время умеренные ионосферные бури возникают значительно чаще, но они остаются менее изученными.

Целью работы является исследование особенностей поведения области $F2$ и внешней ионосферы во время умеренной магнитной бури 4—6 апреля 2006 г. (максимальное значение индекса $K_p \approx 5$).

Наблюдения бури проводились с 27 марта по

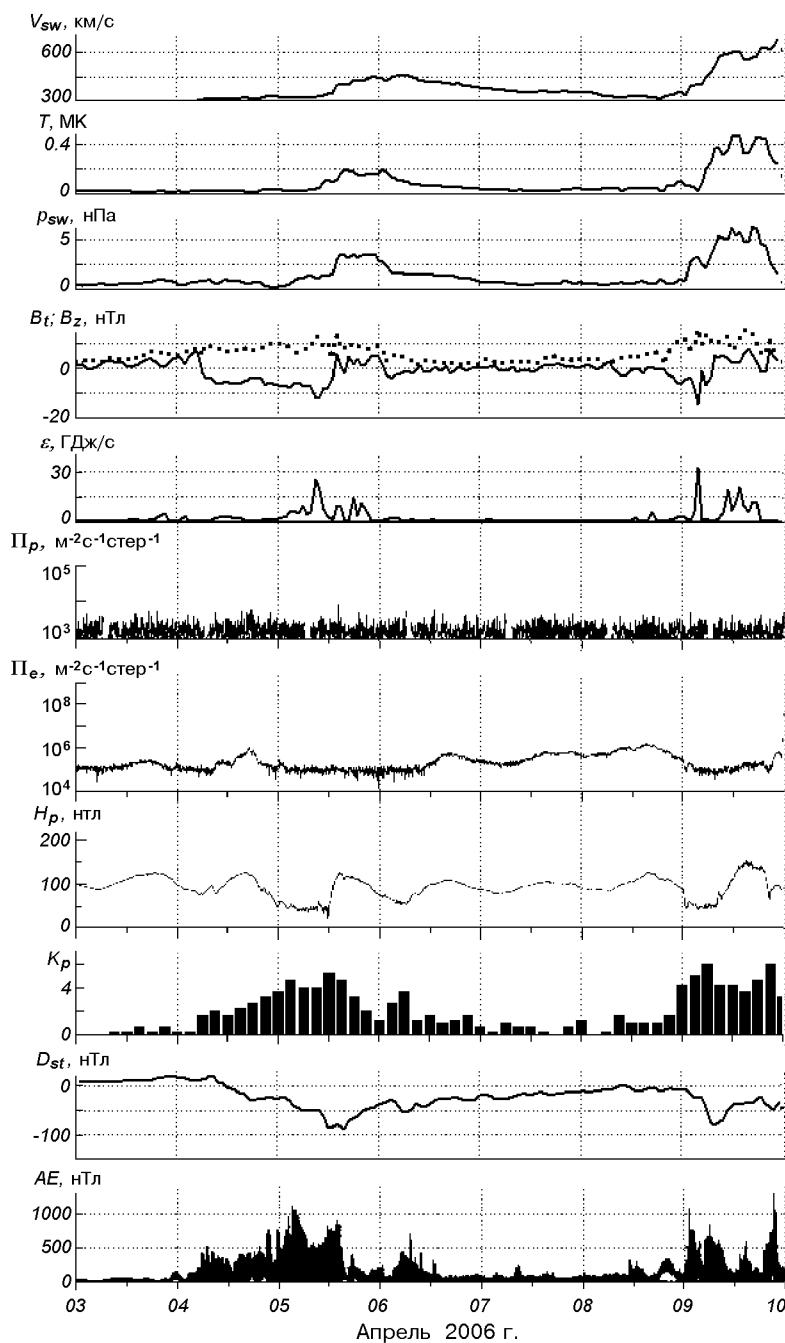


Рис. 1. Временные вариации параметров солнечного ветра: радиальной скорости V_{sw} , температуры T , рассчитанных значений динамического давления p_{sw} , модуля B_t - (точки) и B_z -составляющих (линия) ММП, рассчитанных значений энергии ε , передаваемой солнечным ветром магнитосфере Земли в единицу времени, плотности потоков протонов Π_p с энергиями более 10, 50 и 100 МэВ и электронов Π_e с энергией более 2 МэВ, H_p -составляющей геомагнитного поля, K_p -индекса (<http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/index.jsp>), D_{st} -индекса (WDC-C2 for Geomagnetism, Kyoto University) и AE -индекса (WDC Kyoto) в течение 3—9 апреля 2006 г.

6 апреля 2006 г. в соответствии с международной программой LTCS-C/NOFS (Lower Thermosphere Coupling Study-Communications /Navigation Outage Forecasting System).

СРЕДСТВА НАБЛЮДЕНИЙ

Радар некогерентного рассеяния. Использованный радар некогерентного рассеяния (географические координаты: 49.6° N, 36.3° E, геомагнитные координаты: 45.7°, 117.8°) [6, 15] работал 27 марта — 6 апреля 2006 г. в режиме излучения двухчастотного составного сигнала с двумя импульсами длительностью 660 и 130 мкс на частотах f_1 и $f_1 \pm 100$ кГц, где $f_1 \approx 158$ МГц. Такой режим обеспечивал высотное разрешение примерно 100 и 20 км в диапазонах высот 200—1000 и 100—400 км соответственно.

Ионозонд «Базис» использовался для получения ионограмм вертикального зондирования, измерения критической частоты f_0F2 слоя F2 ионосфера и калибровки профиля электронной концентрации, получаемого методом некогерентного рассеяния (НР).

СОСТОЯНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ И ГЕОМАГНИТНАЯ БУРЯ

Магнитная буря 4—6 апреля 2006 г. протекала на фоне низкой вспышечной активности Солнца. Параметры, определяющие состояние космической погоды 3—9 апреля 2006 г., приведены на рис. 1. До 4 апреля геомагнитное поле было спокойным. Скорость солнечного ветра не превышала 300 км/с. Примерно в 06:00 (здесь и далее время UT) 4 апреля B_z -составляющая межпланетного магнитного поля резко повернула к югу, достигла значения -11 нТл, оставаясь отрицательной до 18:00 5 апреля. В это же время скорость солнечного ветра постепенно увеличивалась до 350 км/с, в 18:00 5 апреля наблюдается более резкое увеличение V_{sw} до 400 км/с, после чего продолжалось постепенное увеличение скорости до 450 км/с. В результате этого возникла умеренная магнитная буря 4—6 апреля 2006 г. с экстремальными значениями индексов $A_p = 29$, $D_{st} = -100$ нТл. Буря началась внезапно 4 апреля около 07:00, главная фаза

продолжалась до 15:00 5 апреля, а фаза восстановления — до конца периода наблюдений.

ИОНОСФЕРНАЯ БУРЯ

Магнитная буря сопровождалась ионосферной бурей со знакопеременными фазами (рис. 2). Особенностью данной ионосферной бури является наличие двух положительных фаз возмущения. Первая фаза носила характер длительного (~ 5 ч) положительного возмущения с наибольшим отклонением δf_0F2 около +30 %. Затем последовала отрицательная фаза. Она была менее интенсивной, максимальное отклонение δf_0F2 составило -25 %. Фаза продолжалась 22 ч, ее запаздывание относительно начала магнитной бури составило около 15 ч. Вблизи 05:00 6 апреля имела место вторая положительная фаза возмущений с наибольшим отклонением δf_0F2 около +30 %, которая продолжалась до конца наблюдений (12:45).

Первая положительная фаза 4 апреля сопровождалась увеличением критической частоты f_0F2 по сравнению с контрольным днем. Наибольшее отклонение δf_0F2 составило 30 % около 20:00, что соответствовало увеличению N_mF2 примерно в 1.4 раза (рис. 2). При этом высота максимума слоя z_mF2 увеличилась по сравнению с контрольным днем 1—3 апреля на 30—40 км (рис. 2).

Отрицательная фаза началась 4 апреля около 23:00 и развивалась в течение 5 апреля. Максимальное падение f_0F2 по сравнению с контрольным днем наблюдалось 5 апреля около 03:00 и составило 1.3 МГц, что соответствовало уменьшению N_mF2 в 1.8 раза (рис. 2). На рис. 2 приведены также временные вариации высоты z_mF2 . До местного полуночи 4 апреля поведение z_mF2 можно считать характерным для слабо возмущенной среднеширотной ионосферы: ночью значения $z_mF2 \approx 320$ км превышали дневные значения, равные 220—240 км. Вариации z_mF2 , как известно, обусловлены регулярными суточными изменениями нейтрального состава, фотохимических процессов и термосферных ветров. После захода Солнца высота z_mF2 увеличилась и достигла характерныхочных значений. Во время ионосферных возмущений

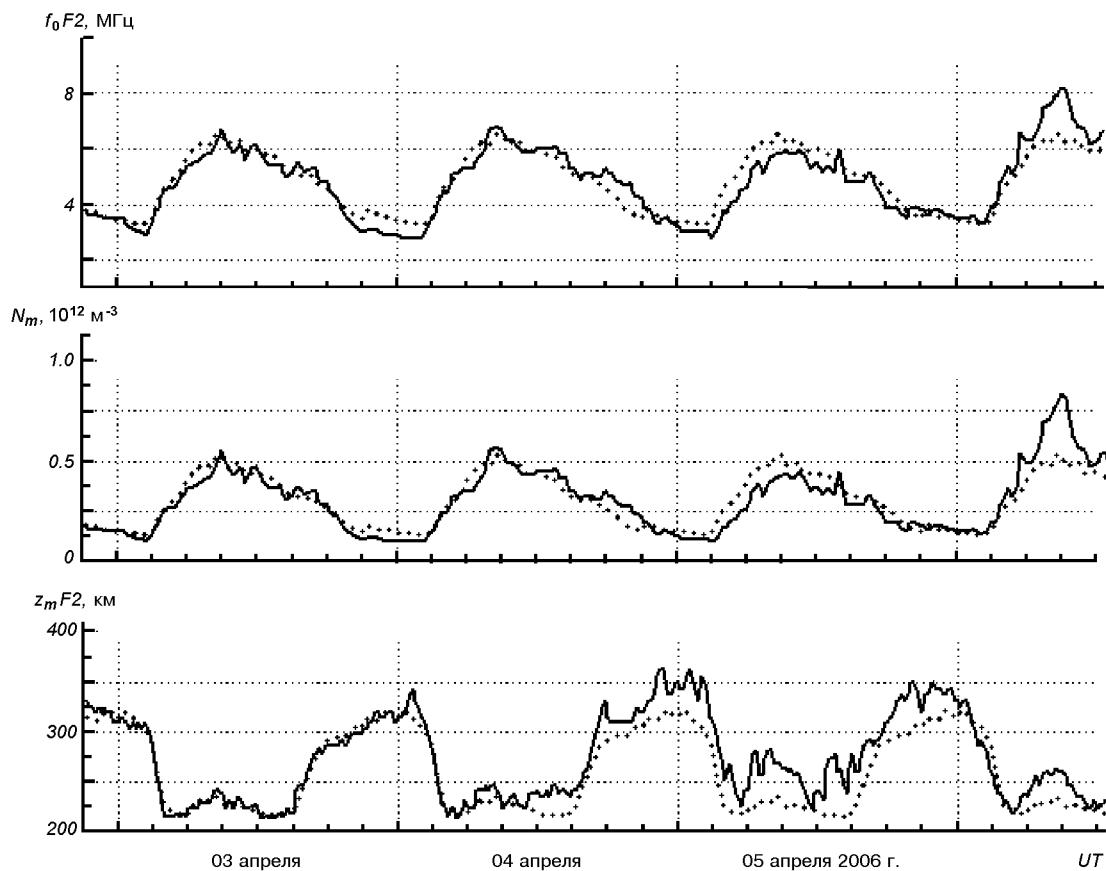


Рис. 2. Вариации критической частоты f_0F2 , электронной концентрации N_mF2 в максимуме слоя $F2$, высоты максимума z_mF2 в течение 3—6 апреля 2006 г. (линия) и в контрольный день (точки), полученные при усреднении данных 1—3 апреля 2006 г.

4—6 апреля наблюдался подъем z_mF2 по сравнению с контрольным периодом 1—3 апреля на 30—50 км.

Вторая положительная фаза началась 6 апреля около 01:00 и сопровождалась увеличением критической частоты f_0F2 по сравнению с контрольным днем. Наибольшее отклонение δf_0F2 составило 30 % около 10:00, что соответствовало увеличению N_mF2 примерно в 1.4 раза (см. рис. 2). При этом высота максимума слоя z_mF2 увеличилась по сравнению с контрольным днем 1—3 апреля на 30 км (см. рис. 2).

Вариации температуры электронов и ионов. На рис. 3 приведены вариации температур электронов и ионов в период 3—6 апреля.

Суточные изменения температуры электронов T_e в спокойной ионосфере при средней солнечной активности характеризуются быстрым увеличением во время восхода Солнца, уменьшением T_e вблизи полудня за счет увеличения теплопередачи от электронов к ионам, которая пропорциональна N^2 , и уменьшением T_e после захода Солнца (см. данные за 3 апреля, которые в рассматриваемом цикле измерений соответствуют спокойным условиям: $A_p = 1$). В контрольный день 3 апреля, например в 09:00 на высоте 300 км, $T_e \approx 2000$ К. В последующие сутки поведение T_e определялось значениями концентрации электронов N , а значит и характером ионосферного возмущения. Так, 4, 5, 6 апреля

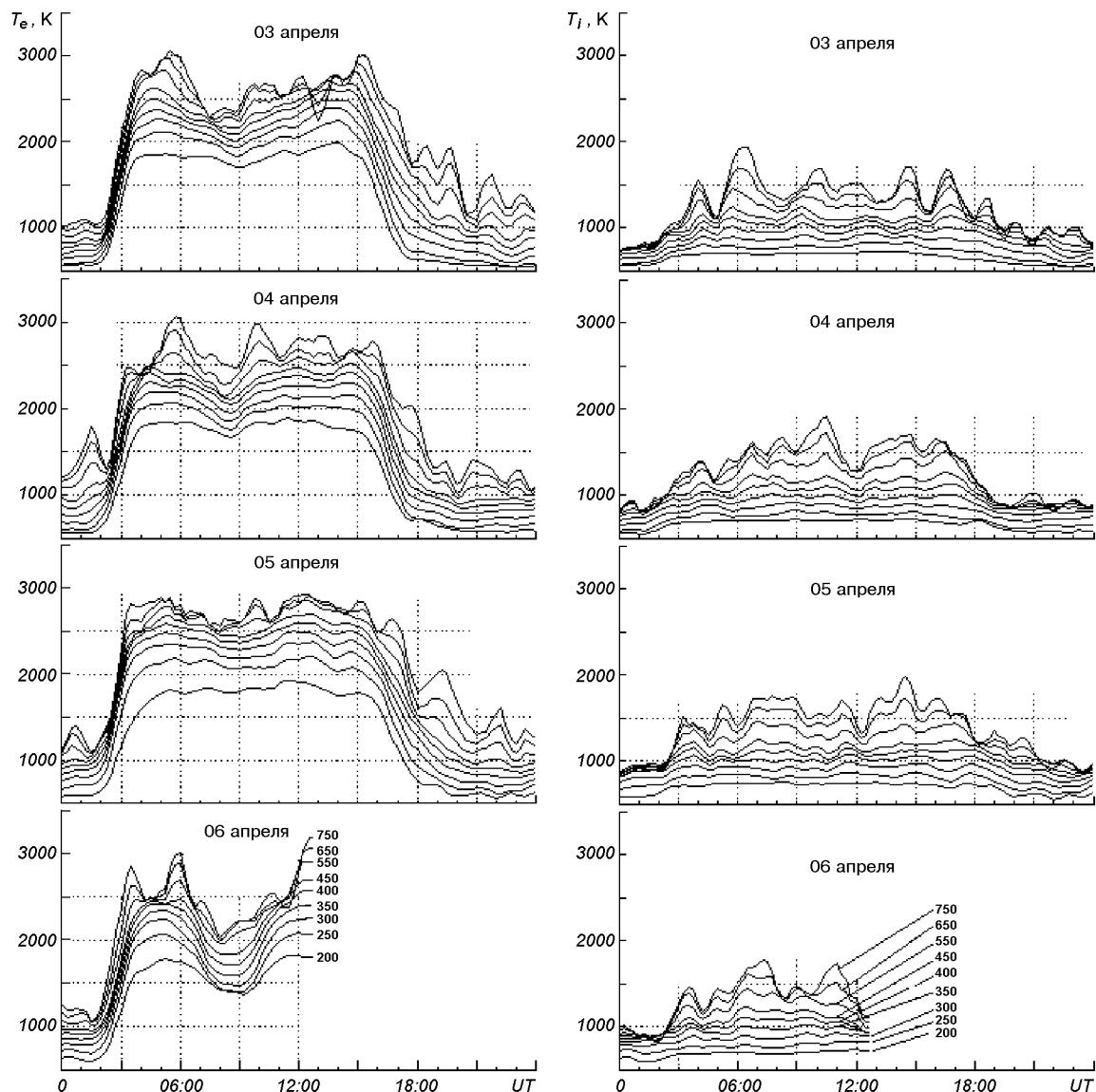


Рис. 3. Вариации температур электронов T_e (слева) и ионов T_i (справа) в магнитоспокойный день 3 апреля и возмущенные сутки 4—6 апреля 2006 г. (скользящее усреднение на интервале 75 мин с шагом 15 мин)

вблизи местного полудня в 09:00 температура электронов на высоте 300 км составляла $T_e \approx 2000, 2200$ и 1650 К соответственно.

Значения изменения T_i как в контрольный день 3 апреля, так и в возмущенные дни отличались незначительно. Ионосферные возмущения слабо повлияли на нагрев ионов.

РАСЧЕТЫ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Концентрация нейтралов. Состав нейтральной атмосферы, как известно, определяет скорости фотохимических процессов в ионосфере, процессов переноса плазмы и поведение заряженных частиц (электронной концентрации).

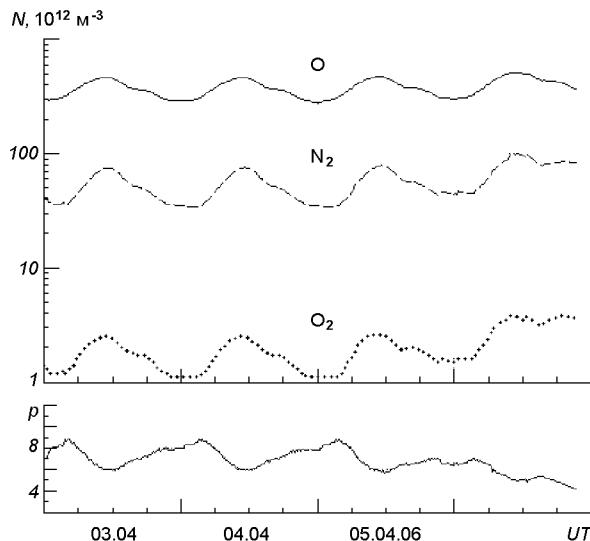


Рис. 4. Вариации концентрации основных компонентов нейтральной атмосферы и параметра $p = N(O)/(N(N_2) + N(O_2))$ на высоте 300 км в период 3—6 апреля 2006 г. (из расчета по модели NRLMSISE-00 [http://uarp-www.nrl.navy.mil/models_web/])

На рис. 4 приведены вариации концентрации основных компонентов нейтральной атмосферы $N(N_2)$, $N(O)$, $N(O_2)$ — молекулярного азота, атомарного и молекулярного кислорода на высоте 300 км в течение 3—6 апреля 2006 г. Данные получены из расчетов по модели нейтральной атмосферы NRLMSISE-00 [31]. Дополнительно приведены временные вариации параметра $p = N(O)/(N(N_2) + N(O_2))$, который характеризует соотношение процессов образования и потерь ионов O^+ и пропорционален концентрации электронов в области F ионосферы. Во время отрицательной фазы ионосферной бури 5 апреля максимальное уменьшение электронной концентрации в максимуме слоя $F2$ (до 1.8 раза) наблюдалось около 04:00. В это время согласно модели концентрация основных компонентов нейтральной атмосферы на высоте 300 км по сравнению с контрольным днем почти не изменилась. Со второй половины 5 апреля наблюдается увеличение $N(O_2)$ и $N(N_2)$. В результате параметр p уменьшился менее чем на 30 %.

Вариации параметра $p_1 = N(O)/N(N_2)$ и TEC по данным прибора GUVI на борту спутника TIMED [http://guvi.jhuapl.edu/-levels/level3/guvi_on2_tec/plot/summary/gif/] около 06:00

для широты города Харькова составляли $p_1 = 0.5, 0.5, 0.3, 0.7$ для 3, 4, 5, 6 марта 2006 г. соответственно. По сравнению со спокойным днем 3 марта уменьшение параметра p_1 во время отрицательной фазы бури 5 марта в 06:00 достигало примерно 1.6 раз, значения N_mF2 уменьшились в это время также в 1.6 раза (рис. 2). Во время положительной фазы бури 6 марта в 06:00 увеличение параметра p_1 составляло примерно 1.4 раза, что соответствовало увеличению значения N_mF2 в это время. Заметим, что на высотах $z = 200$ км параметр $p_1 \approx p$.

Температура нейтрального газа. Нагрев нейтрального газа является одним из эффектов термосферных возмущений, связанных с магнитной бурей. Температура нейтралов T_n вычислялась по методике [34, 35] на основе уравнения теплового баланса ионного газа [1, 21, 36]. В расчете использовались параметры ионосферы N , T_e , T_i , измеренные непосредственно методом некогерентного рассеяния. Для нахождения концентраций нейтральных компонент привлекалась модель NRLMSISE-00. Временные вариации T_n в спокойные сутки 3 апреля и в возмущенный период 4—6 апреля 2006 г. на высотах 250—450 км показаны на рис. 5. Здесь же для сравнения приведены данные T_{nMSIS} , рассчитанные по модели NRLMSISE-00.

Анализ результатов расчета T_n позволил обнаружить следующие особенности. В данном цикле измерений высота термопаузы, где атмосфера становится изотермичной, составляла около 300 км. В течение отрицательной фазы бури температура нейтралов увеличилась в среднем на 50 К по сравнению со спокойным днем.

Реакции на ионосферные возмущения температуры нейтрального газа, рассчитанной по модели NRLMSISE-00, не наблюдалось.

Подвод энергии к электронам. Нагрев тепловых электронов осуществляется в процессе термализации сверхтепловых электронов, который в нижней части ионосферы ($z \leq 300$ км) из-за малости их длин свободного пробега носит локальный характер. Выше 200 км частота соударений электронов с нейтралами становится меньше, чем с ионами v_{ei} , и основными механизмами охлаждения электронного газа являются кулоновские соударения с ионами, а также возбуждение уровней тонкой структуры атомов

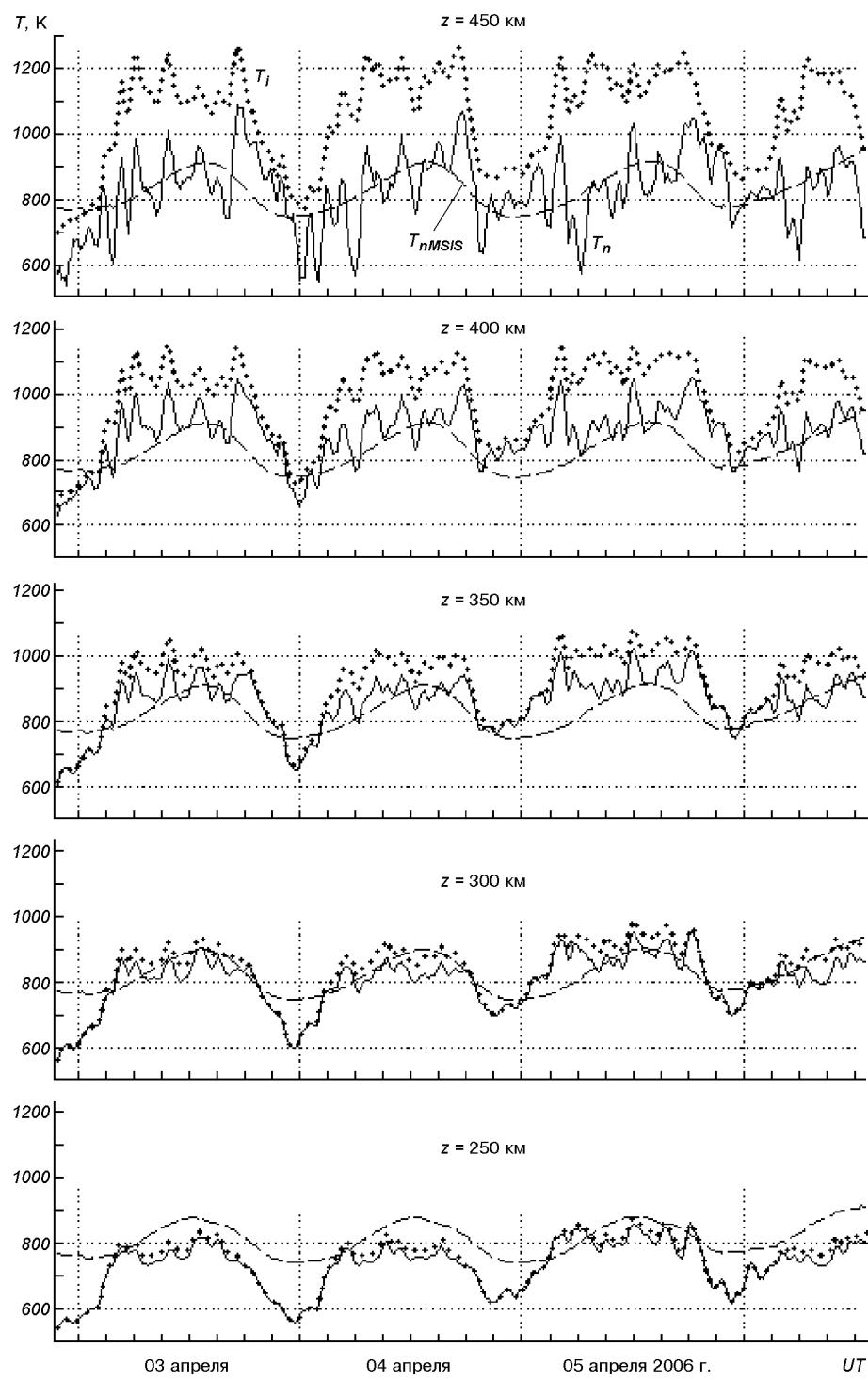


Рис. 5. Временные вариации измеренных температур ионов T_i (точки) и рассчитанных температур нейтралов T_n по данным радара HP (сплошные линии) и $T_{n\text{MSIS}}$ по модели NRLMSISE-00 (штриховая) в период 3—6 апреля 2006 г.

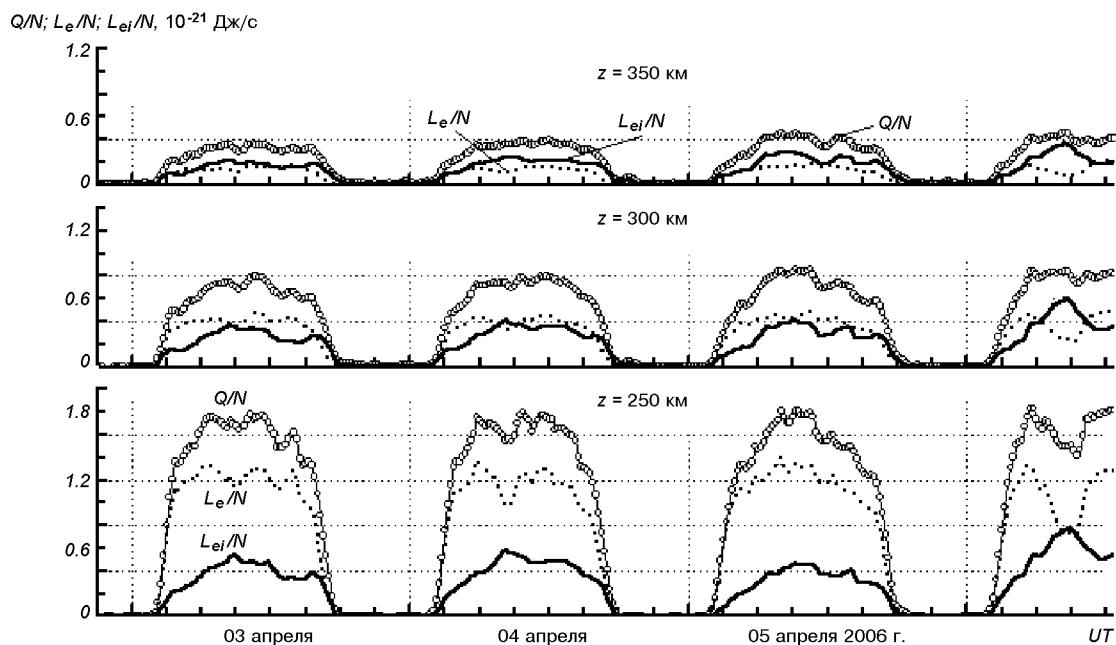


Рис. 6. Временные вариации скоростей нагрева электронного газа Q/N и теплообмена электронов с ионами L_{ei}/N и атомами кислорода L_e/N в период 3–6 апреля 2006 г. (скользящее усреднение на интервале 45 мин с шагом 15 мин)

кислорода и теплопроводность электронного газа [1, 36]. Последней можно пренебречь, если время переноса тепла электронами t_{T_e} намного больше времени становления t_{T_e} за счет первых двух механизмов. Уравнение баланса энергии электронов в стационарном случае в системе СИ имеет вид [22, 28]

$$\begin{aligned} Q &= L_{ei} + L_e, \\ L_{ei} &= 8 \cdot 10^{-32} N^2 (T_e - T_i) T_e^{-3/2}, \\ L_e &= 6.4 \cdot 10^{-37} N(O)(T_e - T_i) T_n^{-1}, \end{aligned}$$

где Q — энергия, передаваемая тепловым электронам при кулоновских столкновениях со сверхтепловыми электронами, L_{ei} — энергия, теряемая при столкновении электронов с ионами, L_e — энергия, затрачиваемая на возбуждение тонкой структуры атомов кислорода, $N(O)$ — концентрация этих атомов (Q , L_{ei} и L_e — соответствующие значения энергии в единицу времени, отнесенные к единичному объему).

На рис. 6 приведены оценки энергии Q/N , подводимой к электрону в единицу времени, а

также составляющих потерь энергии электронного газа в процессе теплообмена с ионами L_{ei}/N и нейтралами L_e/N . В расчетах использовались значения T_e , T_i и N , получаемые методом НР. Параметры T_n и $N(O)$ взяты из модели NRLMSISE-00. Видно, что в разные даты вклад составляющих L_{ei}/L_{ei} и L_e/N в процесс охлаждения электронного газа был разным. Например, в спокойный день 3 апреля 2006 г. вблизи максимума слоя $F2$, на высоте 250 км, около местного полудня (когда $f_0F2 \approx 6$ МГц) преобладали потери в процессе неупругого теплообмена электронов с нейтралами L_e/N за счет высокой разности температур $T_e - T_i$ при малых значениях N , что характерно для условий невысокой СА. На высоте около 350 км вклад двух механизмов охлаждения электронов, по-видимому, сравнялся за счет уменьшения с высотой концентрации атомов кислорода $N(O)$ и увеличения потерь энергии электронов L_{ei}/N в кулоновских соударениях с ионами. В возмущенный период на высоте 350 км преобладающими стали в основном потери энергии электронов в кулоновских соударениях с ионами. 4 и 6 апреля вблизи

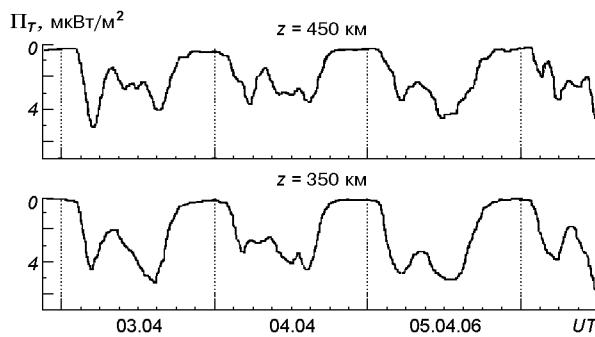


Рис. 7. Временные вариации плотности потока тепла Π_T , переносимого электронами из плазмосферы в ионосферу, в период 3—6 апреля 2006 г. (скользящее усреднение на интервале 105 мин с шагом 15 мин)

местного полудня наблюдалось стремительное уменьшение потерь энергии электронного газа в процессе теплообмена с нейтралами и увеличение потерь энергии электронов в кулоновских соударениях с ионами, что на высотах 300 и 350 км не повлияло на суточные вариации подвода энергии к электронному газу. Причиной могло послужить увеличение высоты максимума слоя $F2$ и изменения нейтрального состава в эти периоды.

Потоки тепла, переносимого электронами, характеризуют приток энергии к электронному газу из плазмосферы за счет теплопроводности электронного газа. Вертикальная составляющая плотности потока тепла равна

$$\Pi_T = -\kappa_e \sin^2 I \frac{\partial T_e}{\partial z},$$

где $\kappa_e = 2.08k^2 NT_e / (mv_{ei})$ — коэффициент теплопроводности электронного газа, k — постоянная Больцмана, m — масса электрона, $I = 66.4^\circ$ — наклонение геомагнитного поля. В системе СИ [2]

$$v_{ei} \approx 5.5 \cdot 10^{-6} N T_e^{-3/2} \ln(2.2 \cdot 10^4 T_e N^{-1/3}).$$

Результаты расчета величины плотности Π_T потока в период 3—6 апреля 2006 г. приведены на рис. 7. Наибольшее по модулю значение Π_T наблюдалось 5 апреля. Это объясняется тем, что плотность потока тепла сильно зависит от T_e ($\Pi_T \sim T_e^{5/2}$), а также от градиента T_e .

ОБСУЖДЕНИЕ

Положительные фазы бури. Физические механизмы, которые поддерживают длительную положительную фазу, и особенности ее проявления изучены до настоящего времени еще недостаточно. Возможны следующие причины положительных возмущений [12, 23]. Первая связана с подъемом слоя $F2$ вверх за счет усиления меридиональных ветров, направленных к экватору, в область более низкой рекомбинации. Согласно работе [23] этот механизм более эффективен в дневное время, когда главенствуют процессы ионообразования. Другой механизм связан с изменением состава нейтральной атмосферы за счет оседания легких компонентов газа в низких и средних широтах. Роль второго механизма более существенна ночью. Причиной таких крупномасштабных возмущений термосферной циркуляции и нейтрального состава является высокоширотный нагрев термосферы во время магнитной бури [23]. В этих двух случаях воздействие солнечного ветра происходит по следующему каналу: граничный слой хвоста магнитосферы — плазменный слой — продольные токи — джоулево нагревание — изменение термосферной циркуляции и нейтрального состава [12, 14, 23]. Высыпание мягких частиц с энергиями $E \leq 1$ кэВ в область дневного каспа также может вносить значительный вклад в положительную фазу бури. Энергия частиц поглощается на высотах области F (200—300 км), вызывая ее разогрев, а также меридиональную циркуляцию, что способствует переносу обогащенного атомарным кислородом газа к экватору [13]. Высыпание мягких частиц в дневной касп связано с дневными граничными слоями магнитосферы и не имеет непосредственного отношения к плазменному слою, который контролирует развитие кольцевого тока, магнитную активность и высыпание авроральных частиц.

Перечисленные процессы могут происходить одновременно, создавая большое разнообразие ионосферных бурь.

Рассмотрим возможность реализации первого механизма. Сравнение результатов измерений высоты $z_m F2$ со спокойными сутками, в качестве которых выбраны сутки 1—3 апреля, показало, что высота максимума слоя $z_m F2$ увеличилась на

30—40 км в первую положительную фазу бури 4 апреля и на 30 км во время второй положительной фазы 6 апреля. Таким образом, дрейф слоя $F2$ вверх за счет усиления меридионального ветра к экватору, в дневных условиях 4 и 6 апреля мог стать причиной формирования положительных фаз бури.

Рассмотрим роль второго механизма, т. е. изменения состава нейтральной атмосферы, в формировании положительных фаз бури в близких к дневным условиям. Как было описано выше, по данным прибора GUVI на борту спутника TIMED во время положительной фазы бури 6 марта в 06:00 увеличение параметра p_1 составило примерно 1.4 раза, что соответствовало увеличению значения $N_m F2$ в это время. Теоретические расчеты составляющих потерь энергии электронного газа в процессе теплообмена с ионами и нейтралами (см. рис. 6) показали значительное уменьшение энергии, затрачиваемой на возбуждение тонкой структуры атомов кислорода во время второй положительной фазы 6 апреля, что свидетельствует об изменении состава нейтральной атмосферы, которое могло быть причиной второй положительной фазы бури.

Отрицательная фаза бури. Среди ряда факторов, ответственных за уменьшение электронной концентрации, одним из основных принято считать возмущение нейтрального состава [12, 23, 33]. Нагрев высокоширотной атмосферы вызывает подъем газа вверх и движение его в стороны к более холодным областям, что приводит к уменьшению концентрации атомов O и увеличению концентраций молекулярных компонентов N_2 и O_2 и, соответственно, уменьшению параметра p , определяющего соотношение процессов ионообразования и потерь в фотохимическом приближении. Градиенты давления, возникающие при расширении области нагрева, а также изменение картины магнитосферной конвекции [24, 25] вызывают перестройку глобальной термосферной циркуляции. При этом усиливаются ветры, направленные к экватору, которые переносят измененный газовый состав в средние и низкие широты.

Вариации параметра p_1 подтверждают, что возмущения нейтрального состава вполне могли быть причиной отрицательной фазы бури 5 апреля. Аналогичные случаи развития отрицательных ионосферных бурь в дневное время подроб-

но рассмотрены, например, в работе [24].

Таким образом, результаты настоящей работы свидетельствуют, что и при умеренных, а не только сильных геокосмических бурях, эффекты взаимодействия подсистем в системе Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера становятся определяющими [16—20].

Выводы

В работе изложены результаты исследования ионосферной бури со знакопеременными фазами 4—6 апреля 2006 г. Рассмотрены основные механизмы, формирующие развитие положительных и отрицательной фаз бури. Основные итоги работы сводятся к следующему.

1. Обосновано, что причиной положительной фазы ионосферной бури 4 апреля 2006 г. мог послужить подъем слоя $F2$ вверх за счет усиления меридионального ветра к экватору. Причиной положительной фазы ионосферной бури 6 апреля 2006 г. было, скорее всего, возмущение нейтрального состава.

2. Зафиксировано, что в течение положительной фазы бури концентрация N_m увеличилась примерно в 1.4 раза и уменьшилась в 1.8 раз в отрицательную фазу бури, по сравнению с контрольным днем.

3. Обнаружено относительно небольшое отличие дневных температур электронов T_e во время отрицательной (2200 К) и второй положительной (1650 К) фазы бури по сравнению со спокойным днем (2000 К).

4. Расчеты показали, что во время бури температура нейтралов T_n в дневное время увеличилась примерно на 50 К в отрицательную фазу бури по сравнению с контрольным днем. Высота термопаузы, где атмосфера становится изотермичной, составляла около 300 км.

5. Расчеты теплового режима ионосферы показали, что значительное уменьшение потерь энергии электронного газа в процессе теплообмена с нейтралами и увеличение потерь энергии электронов в кулоновских соударениях с ионами 4 и 6 апреля на высотах 300 и 350 км вблизи местного полудня мало повлияло на суточные вариации подвода энергии к электронному газу. При этом наибольшее значение потока тепла из плазмосферы наблюдалось 5 апреля.

6. Количественное определение роли обсуждаемых механизмов формирования положительных и отрицательных бурь требует дальнейшего анализа.
1. Бэнкс П. М. Тепловая структура ионосферы // ТИИ-ЭР.—1969.—57, № 3.—С. 6—30.
2. Гинзбург В. Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. — М.: Наука, 1967.
3. Григоренко Е. И., Емельянов Л. Я., Пазюра С. А. и др. Возмущения ионосферной плазмы во время сверхсильной магнитной бури 29—31 мая 2003 года: результаты наблюдений на харьковском радаре некогерентного рассеяния // Успехи современной радиоэлектроники.—2005.—№ 4.—С. 21—39.
4. Григоренко Е. И., Лазоренко С. В., Таран В. И., Черногор Л. Ф. Волновые возмущения в ионосфере, сопровождавшие вспышку на Солнце и сильнейшую магнитную бурю 25 сентября 1998 г. // Геомагнетизм и аэрономия.—2003.—43, № 6.—С. 770—787.
5. Григоренко Е. И., Лысенко В. Н., Пазюра С. А. и др. Аномальная ионосферная буря 21 марта 2003 г. // Космічна наука і технологія.—2004.—10, № 1.—С. 4—11.
6. Григоренко Е. И., Лысенко В. Н., Таран В. И., Черногор Л. Ф. Результаты радиофизических исследований процессов в ионосфере, сопровождавших сильнейшую геомагнитную бурю 25 сентября 1998 г. // Успехи современной радиоэлектроники.—2003.—№ 9.—С. 57—94.
7. Григоренко Е. И., Лысенко В. Н., Таран В. И., Черногор Л. Ф. Особенности ионосферной бури 20—23 марта 2003 г. // Геомагнетизм и аэрономия.—2005.—45, № 6.—С. 789—802.
8. Григоренко Е. И., Пазюра С. А., Пуляев В. А. и др. Динамические процессы в ионосфере во время геокосмической бури 30 мая и затмения Солнца 31 мая 2003 года // Космічна наука і технологія.—2004.—10, № 1.—С. 12—25.
9. Григоренко Е. И., Пазюра С. А., Таран В. И., Черногор Л. Ф. Сильнейшая геокосмическая буря 30—31 мая 2003 г.: результаты измерений и моделирования // Космічна наука і технологія.—2005.—11, № 3/4.—С. 20—37.
10. Григоренко Е. И., Пазюра С. А., Таран В. И. и др. Динамические процессы в ионосфере во время сильнейшей магнитной бури 30—31 мая 2003 года // Геомагнетизм и аэрономия.—2005.—45, № 6.—С. 803—823.
11. Григоренко Е. И., Таран В. И., Черногор Л. Ф., Черняев С. В. Аномальная ионосферная буря 21 марта 2003 года: результаты наблюдений на харьковском радаре некогерентного рассеяния // Успехи современной радиоэлектроники.—2005.—№ 4.—С. 3—20.
12. Данилов А. Д., Морозова Л. Д. Ионосферные бури в области F2. Морфология и физика (обзор) // Геомагнетизм и аэрономия.—1985.—25, № 5.—С. 705—721.
13. Данилов А. Д., Морозова Л. Д., Мирмович Э. Г. О возможной природе положительной фазы ионосферных бурь // Геомагнетизм и аэрономия.—1985.—25, № 5.—С. 768—772.
14. Кринберг И. А., Ташилин А. В. Ионосфера и плазмосфера. — М.: Наука, 1984.
15. Таран В. И. Исследование ионосферы в естественных и искусственно возмущенных состояниях методом некогерентного рассеяния // Геомагнетизм и аэрономия.—2001.—41, № 5.—С. 659—666.
16. Черногор Л. Ф. Геокосмосфера — открытая динамическая нелинейная система // Вісник Харківського університету. Радіофізика та електроніка.—2002.—№ 570, вип. 2.—С. 175—180.
17. Черногор Л. Ф. Земля — атмосфера — геокосмос как открытая динамическая нелинейная система // Космічна наука і технологія.—2003.—9, № 5/6.—С. 96—105.
18. Черногор Л. Ф. Физика Земли, атмосферы и геокосмоса в свете системной парадигмы // Радиофизика и радиоастрономия.—2003.—8, № 1.—С. 56—104.
19. Черногор Л. Ф. «Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера» как открытая динамическая нелинейная физическая система (часть 1) // Нелинейный мир.—2006.—4, № 12.—С. 655—697.
20. Черногор Л. Ф. «Земля — атмосфера — ионосфера — магнитосфера» как открытая динамическая нелинейная физическая система (часть 2) // Нелинейный мир.—2007.—5, № 4.—С. 198—231.
21. Эванс Дж. Температура нейтральных и заряженных частиц в магнитосфере // Солнечно—земная физика. — М.: Мир, 1969.—С. 292—352.
22. Banks P. M. Charged particle temperatures and electron thermal conductivity in the upper atmosphere // Ann. Geophys.—1966.—22.—P. 577—584.
23. Buonsanto M. J. Ionospheric Storms — a Review // Space Sci. Rev.—1999.—88.—P. 563—601.
24. Burns A. G., Killeen T. L., Deng W., et al. Geomagnetic storm effects in the low- to middle-latitude upper thermosphere // J. Geophys. Res.—1995.—100, N A8.—P. 14.673—14.691.
25. Burns A. G., Killeen T. L., Roble R. G. A theoretical study of thermospheric composition perturbations during an impulsive geomagnetic storm // J. Geophys. Res.—1991.—96, N A8.—P. 14.153—14.167.
26. Chernogor L. F., Grigorenko Ye. I., Taran V. I., Tyrnov O. F. Ionosphere wave-like disturbances (WLD) following the September 23, 1998 Solar flare from Kharkiv incoherent scatter radar observations // XXVII General Assembly of the International Union of Radio Science. — Maastricht, Netherlands, 2002.—P. 99.
27. Chernogor L. F., Grigorenko Ye. I., Taran V. I., Tyrnov O. F. Dynamic processes in the near-Earth plasma during the September 25, 1998 magnetic storm from Kharkiv incoherent scatter radar data // XXVII General Assembly of the International Union of Radio Science. — Maastricht, Netherlands, 2002.—P. 99.
28. Dalgarno A., Degges T. C. Electron cooling in the upper atmosphere // Planet. Space Sci.—1968.—16.—P. 125—132.
29. Mishin E., Foster J. C., Potekhin A. P., et al. Ionospheric perturbations caused by quasi-periodic magnetic disturbances during the September 25, 1998 storm // Eos Trans.

- AGU.—2000.—81, N 48.—(Fall Meeting. F 947, San Francisco, USA).
30. Mishin E., Foster J. C., Rich F. J., Taran V. Prompt ionospheric response to short period solar wind variations during the magnetic cloud event Sep 25, 1998 // Eos Trans. AGU—2001.—82, N 20.—(Spring Meeting. S 291, San Francisco, USA)
31. Picone J. M., Hedin A. E., Drob D. P., Aikin A. C. NRLMSISE-00 empirical model of the atmosphere: statistical comparisons and scientific issues // J. Geophys. Res.—2002.—107, N 12.—P. 1468—1483.
32. Prolss J. W. On explaining the local time variation of ionospheric storm effects // Ann. Geophys.—1993.—11.—P. 1—9.
33. Prolss G. W. Ionospheric F-region storms // Handbook of Atmospheric Electrodynamics / Ed. by H. Volland. — Roca Raton, Fla., CRC Press, 1995.—V. 2.—P. 195—248.
34. Salah J. E., Evans J. V. Measurements of thermospheric temperature by incoherent scatter radar // Space Res.—1973.—13.—P. 267—286.
35. Salah J. E., Evans J. V., Alcayde D., Bauer P. Comparison of exospheric temperatures at Millstone Hill and St-Santin // Ann. Geophys.—1976.32, N 3.—P. 257—266.
36. Shunk R. W., Nagy A. F. Electron temperature in the F region of the ionosphere: theory and observations // Rev. Geophys. Space Phys.—1978.—16, N 3.—P. 355—399.
-
- FEATURES OF THE IONOSPHERE STORM
ON 4—6 APRIL 2006**
- S. A. Pazura, V. I. Taran, L. F. Chernogor*
- The study results of the F region and topside ionosphere response to moderate magnetic storm on 4—6 April 2006 are presented. The observations were carried out with the Kharkov incoherent scatter radar. The magnetic storm was accompanied by the ionosphere storm with sign-variable phases. The feature of the ionosphere storm is presence of two positive phases of disturbance. The basic mechanisms forming development of positive and negative phases of the storm are considered.

УДК 621.396

А. Г. Писанко

Національне космічне агентство України, Київ

Устройство сбора информации

Надійшла до редакції 14.12.07

Запропонований електровимірювальний пристрій може використовуватися для обробки експериментальних даних, що отримуються від вимірювальних пристрій с часовим розділенням каналів, наприклад телеметричних.

Известно устройство сбора информации [4, 5], содержащее блок ввода информации, блок выбора каналов и блок формирования информации, который содержит узел преобразования параллельного кода в последовательный и узел накопителя, причем выход блока ввода информации соединен с информационным входом и входом стробирования узла преобразователя параллельного кода в последовательный, первый выход которого соединен с информационным входом узла накопителя.

Недостатками такого устройства являются ограниченность числа каналов, из которых формируется кадр информационного потока, и отсутствие возможности ввода информации в вычислительную машину в физических значениях, что сужает функциональные возможности устройства и не позволяет увеличить поток информации обрабатывающей вычислительной машины.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому устройству является устройство сбора информации [1, 2], содержащее блок ввода информации и блок выбора каналов, соединенные соответствующим образом, причем блок формирования информации включает узел преобразования параллельного кода в последовательный, узел накопителя, счетчик структурных каналов, мультиплексор, модуль памяти информационных потоков и узел счетчиков об-

ращений, а блок выбора каналов включает формирователь строба выборки, модуль памяти каналов и формирователь адреса.

Недостатком такого устройства является отсутствие возможности ввода информации в вычислительную машину в физических значениях, что сужает функциональные возможности устройства и не позволяет увеличить поток информации обрабатывающей вычислительной машины.

Целью данной статьи является расширение функциональных возможностей за счет формирования кадра информационного потока из произвольного числа каналов как в кодовых, так и в физических значениях.

Расширение функциональных возможностей устройства сбора информации достигается тем, что в устройство сбора информации, содержащее блок ввода информации, блок формирования информации и блок выбора каналов, дополнительно введены блок памяти коэффициентов и блок перемножения. Его первый и второй входы соединены соответственно со вторым выходом блока формирования информации и с выходом блока памяти коэффициентов, адресный вход которого соединен с входом задания номеров необходимых слов и длины кадров информационных потоков устройства. Второй вход блока выбора каналов соединен с входами разрешения выборки блока формирования информации и

блока памяти коэффициентов, информационный вход которого соединен с входом задания соответствия определенных структурных каналов условного кадра определенным информационным потокам устройства. Выход блока перемножения является вторым информационным выходом устройства.

Введение в устройство сбора информации блока памяти коэффициентов и блока перемножения позволяет вводить и хранить в устройстве масштабные коэффициенты для перевода в физические значения кодовой информации, содержащейся в выбираемых словах, осуществлять преобразование кодовой информации в физические значения путем ее перемножения с соответствующими масштабными коэффициентами в блоке перемножения и пересылки полученных значений в вычислительную машину по отдельному каналу. Это позволяет частично разгрузить вычислительную машину на этапе предварительной обработки, возложив функции преобразования кодовой информации в физические значения на устройство сбора информации, а высвободившиеся вычислительные мощности использовать для увеличения потоков информации, обрабатываемых вычислительной машиной, и расширить функциональные возможности устройства сбора информации.

На рисунке показана структурная схема предлагаемого устройства сбора информации.

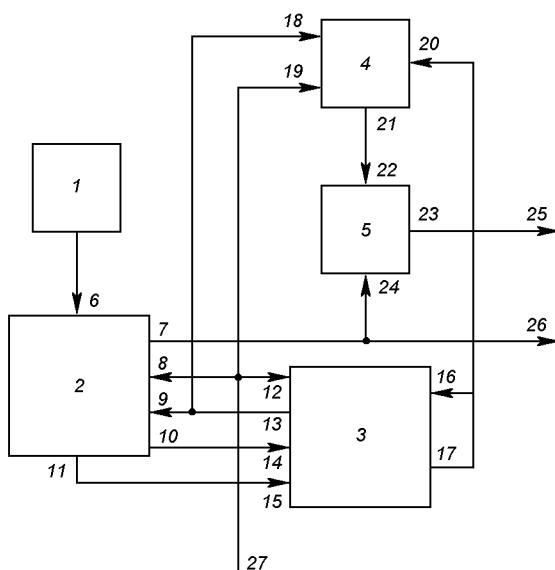


Схема предлагаемого устройства сбора информации.

Устройство содержит блок 1 ввода информации, который выдает параллельный код условного кадра и серии синхроимпульсов, блок 2 формирования информации, осуществляющий формирование информационных потоков (M) из структурных каналов условного кадра (до 40), блок 3 выбора каналов, осуществляющий селекцию необходимых каналов из образуемых информационных потоков, блок 4 памяти коэффициентов, куда записываются масштабные коэффициенты для перевода кодовых значений в физические, блок 5 перемножения матричного типа, в котором производится умножение двоичного кода выбранного слова на соответствующий масштабный коэффициент.

Принцип работы предлагаемого устройства заключается в следующем.

До начала работы или в ее процессе через вход 27 задания соответствия определенных структурных каналов условного кадра определенным информационным потокам по адресному входу 8 блока 2 формирования информации записывается информация о соответствии определенных структурных каналов условного кадра определенным информационным потокам (алгоритм компоновки). По второму информационному входу 12 блока 3 выбора каналов записываются данные о номерах необходимых слов и длине кадров информационных потоков, и по информационному входу 19 блока 4 памяти коэффициентов записываются масштабные коэффициенты для перевода кодовых значений в физические.

Из блока 1 ввода информации параллельный код условного кадра и сопровождающиеся синхроимпульсы подаются на информационный вход 6 блока 2 формирования информации, где происходит формирование слова соответствующего информационного потока. С опорного выхода 10 блока 2 формирования информации на первый информационный вход 14 блока 3 выбора каналов выдается код соответствующего информационного потока. По окончании формирования слова с третьего выхода 11 блока 2 формирования информации на стробирующий вход 15 блока 3 выбора каналов выдается сигнал конца цикла счета, по которому вырабатывается адрес сформированного слова (код номера слова + код информационного потока), поступающий на первый выход 17 блока 3 выбора каналов. Этот

адрес поступает на вход 16 блока 3 выбора каналов, где формируется соответствующий данному адресу и выдается по второму выходу стробирования 13 сигнал стробирования, и на адресный вход 20 блока 4 памяти коэффициентов, в котором инициируется соответствующий масштабный коэффициент. По стробу с выхода 13 блока 3 выбора каналов, который поступает на вход 9 разрешения выборки блока 2 формирования информации и на вход 18 разрешения выборки блока 4 памяти коэффициентов сформированное слово через второй выход 7 блока 2 формирования информации поступает на первый вход 24 блока 5 перемножения и на первый информационный выход 26 устройства. Одновременно на второй вход 22 блока 5 перемножения поступает соответствующий масштабный коэффициент. Результат перемножения (сформированное слово в физическом значении) через выход 23 блока 5 перемножения поступает на второй информационный выход 25 устройства.

Длительность сигнала стробирования $t_{\text{стр}}$ состоит из длительности выборки, длительности перемножения и длительности передачи слова [6]:

$$t_{\text{стр}} = t_{\text{выб}} + t_{\text{умн}} + t_{\text{пер}}.$$

При выданном сигнале запрещения передача слова не производится. Сигнал сброса формируется при достижении заданной длины кадра информационного потока.

Таким образом, предлагаемое устройство [3] позволяет разгрузить обрабатывающую вычислительную машину путем выполнения функций

преобразования кодовой информации в физические значения, тем самым высвободив вычислительные мощности для увеличения потоков обрабатываемой информации, а также расширить функциональные возможности устройства. При этом предлагаемое устройство сбора информации целесообразно использовать при разработке и модернизации наземного автоматизированного комплекса управления космическими аппаратами, а именно в телеметрических системах.

1. Абраменко Б. С., Вольский И. В., Гладченко В. В. Эксплуатация радиотехнических систем. — М.: МО СССР, 1981.—236 с.
2. Архангельский В. И., Бугаенко И. Н., Рюмин Н. А. Интегрированные АСУ в промышленности. — К.: НПК «Киевский ин-т автоматики», 1995.—316 с.
3. А. с. 1481802 СССР, С 06 Р 15/74 Устройство сбора информации / А. П. Колобов, А. Г. Писанко. — Опубл. 07.01.93, Бюл. № 21.
4. Глазов Б. И. Автоматизация управления средствами и частями полигонных и космических комплексов. — М.: МО СССР, 1988.—326 с.
5. Космические радиотехнические комплексы} / Под общ. ред. Г. В. Стогова. — М.: МО СССР, 1986.—626 с.
6. Степкин В. С., Шмыголь С. С. Автоматизированная обработка и анализ телеметрической информации. — М.: МО СССР, 1980.—516 с.

THE DEVICE FOR COLLECTING DATA

A. G. Pisanko

The proposed electrical measuring device can be used for the processing of experimental data obtained from measuring devices with time-division multiplexing, for example, telemetric, in the universal computer.

Яков Соломонович Шифрин (к 88-летию со дня рождения)

Родился Я. С. Шифрин в г. Мстиславле (Белоруссия) 23 апреля 1920 года. После окончания школы в 1937 г. поступил на физический факультет Ленинградского государственного университета, который окончил с отличием в 1941 г. Специализировался в области теоретической физики.

Когда началась Великая Отечественная война, Я. С. Шифрин ушел в народное ополчение Ленинграда, откуда в конце августа был командирован на учебу в Военную Краснознаменную академию связи (ВКАС). Летом и осенью 1943 г. он принимал активное участие в боях за освобождение Украины на III Украинском фронте. Весной 1944 г. после окончания с отличием радиофакультета ВКАС и кратких курсов по радиолокации Яков Соломонович в сентябре 1944 г. был назначен командиром одной из новых батарей станции орудийной наводки. Эта батарея до конца войны участвовала в боевых действиях в составе различных частей войск ПВО страны. После войны Я. С. Шифрин — первый преподаватель радиолокации в Севастопольском училище зенитной артиллерии (ныне Житомирский военный институт радиоэлектроники); в 1948—1951 гг. — адъюнкт Артиллерийской радиотехнической академии (АРТА, г. Харьков). Его кандидатская диссертация посвящена теории приборов бегущей волны. С 1951 по 1956 гг. Я. С. Шифрин работает на преподавательских должностях в АРТА, а с 1956 г. он — начальник кафедры антенн и распространения радиоволн академии. В 1964 г. защитил докторскую диссертацию «Статистическая теория антенн». С 1965 г. — профессор.

После увольнения из Вооруженных сил в 1980 г. Яков Соломонович — профессор, заведующий кафедрой, главный научный сотрудник Харьковского национального университета радиоэлектроники (ХНУРЭ).

23 апреля 2008 г. исполнилось 88 лет единственному на постсоветском пространстве пожизненному действительному члену Международного института инженеров по электротехнике и электронике (Life Fellow IEEE) Якову Соломоновичу Шифрину — крупному ученому в области радиофизики и прикладной электродинамики, заслуженному деятелю науки и техники Украины, президенту Украинской национальной ассоциации «Антенны», соросовскому профессору, создателю сильной научной школы.

Я. С. Шифрин внес фундаментальный вклад в науку по ряду направлений современной радиофизики. Он является основателем нового научного направления — статистической теории антенн (СТА). Эта теория, определяемая как теория антенн со случайными источниками, позволила впервые исследовать в полном объеме свойства и потенциальные возможности реальных антенн, являющихся по существу излучающими системами со случайными источниками.

Исследования Я. С. Шифрина по СТА, охватывающие почти 40-летний период, можно разбить на два этапа. Итогом первого этапа — этапа становления основ СТА — явилась его широко известная монография «Вопросы статистической теории антенн», изданная в 1970 г. и содержащая глубокое и систематическое изложение основ статистической теории антенн. Эта монография стала настольной книгой не только научных работников и инженеров, работающих в области антенн, но и специалистов, занимающихся распространением волн, радиолокацией, акустикой, оптикой и т. д.

Сразу же после выхода в свет монография Я. С. Шифрина была переведена и издана в США, получила там широкое признание и высокую оценку.

После 1970 г. область исследований существенно расширилась. На этом (втором) этапе Я. С. Шифриным и его учениками выполнена серия первоклассных работ, направленных на развитие общей СТА, и решены многие важные прикладные задачи. Здесь в первую очередь необходимо указать разработку основ статистической теории обратных задач (задач синтеза и восстановления), распространение СТА на зону Френеля для обычных и сфокусированных систем.

Статистическая теория антенн послужила также исходной и при разработке Я. С. Шифриным и его учениками основ статистической теории антенных измерений, позволяющей корректно оценить потенциальные возможности голограмического и коллиматорного методов антенных измерений, требования к соответствующей измерительной аппаратуре и к антенным эталонам.

Исследования Я. С. Шифрина в области статистической теории антенн можно с полным основанием отнести к числу краеугольных в общей теории и практике антенн. Признанием этого явилось присуждение ему в 1983 г. прези-

диумом АН СССР премии им. А. С. Попова за работы в области СТА, внесшие фундаментальный вклад в теорию и технику антенн.

В 1988 г. за монографию «Методы измерения параметров излучающих систем», содержащую метрологические аспекты статистической теории антенн, Я. С. Шифрин был удостоен премии «За лучшую научную работу» Госкомитета СССР по народному образованию.

Работы по СТА получили и мировое признание. В 1998 г. Яков Соломонович избран IEEE Fellow (первым на Украине и среди антеннщиков СНГ) с формулировкой: «За фундаментальный вклад в теорию и технологию антенн». Life Fellow — с января 2008 г.

Основы развитой Я. С. Шифриным СТА для дальней зоны и зоны Френеля вошли в первый том «Справочника по антенной технике» (М.: ИПРЖР, 1997).

Еще одним направлением фундаментальных исследований Я. С. Шифрина и его школы явились первые в СССР обстоятельные экспериментальные исследования дальнего тропосферного распространения (ДТР) радиоволн. Они выполнялись в течение длительного времени (1955—1963 гг.) на трассах различной протяженности, в разных диапазонах волн и в различные времена года. Результаты исследований изложены в двух монографиях, выпущенных издательством Академии наук в 1964 г. и издательством «Советское радио» в 1965 г. и получивших широкую известность и высокую оценку специалистов.

Третье направление оригинальных исследований — теория антенн с нелинейными элементами (АНЭ). Актуальность этих исследований связана, во-первых, с внедрением в радиотехническую практику разных типов АНЭ: антенн-выпрямителей (ректенн), смесительных антенн, антенн-умножителей, антенн-генераторов и т. д. и, во-вторых, с проблемой электромагнитной совместимости. Последнее настоятельно диктует необходимость изучения «вредных» нелинейных антенных эффектов, возникающих из-за наличия НЭ в антennaх или неблагоприятного режима работы передающего тракта радиотехнических систем. В результате исследований Я. С. Шифрина с учениками, проводимых в течение более 20 лет, была разработана достаточно общая теория антенн с сосредоточенными НЭ. Значительные успехи в последнее время достигнуты и в развитии теории антенн с рас-

пределенной нелинейностью, существенно необходимой при анализе интегрированных антенн. Созданы эффективные алгоритмы и программы расчета многих типов антенн с сосредоточенными и распределенными НЭ. Одним из важнейших результатов этих исследований является детальная разработка теории и практики построения ректенных систем, являющихся окончными элементами систем беспроводной передачи энергии.

Уже многие годы школа Я. С. Шифрина в области АНЭ занимает лидирующие позиции в мире. Результаты исследований отражены в большом числе статей и депонированных монографий, вошедших в упомянутый ранее первый том «Справочника по антенной технике».

В последнее время Я. С. Шифрин совместно со своим учеником У. Р. Лиепинем эффективно развивает научное направление, связанное с диагностикой фазированных антенных решеток (ФАР). Эта задача состоит в определении реального текущего состояния ФАР, местоположения и характера неисправностей в ней в целях учета их влияния в ходе функционирования ФАР. Предложено два новых метода бесфазовой диагностики ФАР, наиболее перспективных из всех, описанных в литературе к настоящему времени. Значительный интерес представляет также новый метод компенсации влияния отказов (полных или частичных) части каналов ФАР, основанный на использовании взаимосвязи положения нулей в диаграмме направленности (ДН) антенны с ее общей формой. Важное теоретическое и практическое значение имеет и разработанный авторами экспериментальный метод определения матрицы взаимовлияния излучателей ФАР. Зная эту матрицу, можно уже на этапе разработки ФАР предусмотреть алгоритмическую компенсацию эффектов взаимовлияния излучателей, что существенно облегчит реализацию сканирования луча ФАР в широком секторе. Основные результаты, полученные в этом актуальном направлении, изложены в ряде статей и в книге «Активные фазированные решетки» (М.: ИПРЖР, 2004.—Гл. 13).

Более 50 лет Я. С. Шифрин вел активную преподавательскую работу в Военно-инженерной радиотехнической академии им. Л. А. Говорова (бывшая АРТА) и Харьковском Национальном университете радиоэлектроники, около 30 лет возглавлял кафедры в этих учебных заведениях, многие годы был членом различных

межведомственных советов по антеннам, распространению волн, радиофизике.

В настоящее время он является членом редколлегии ряда авторитетных научных журналов по радиоэлектронике в России и Украине. Я. С. Шифрин — автор около 300 научных работ, в том числе 12 монографий, выступал на многих крупных международных конференциях с заказными докладами и лекциями. Им подготовлено около 20 докторов и более 50 кандидатов наук по теории антенн и распространению радиоволн.

Яков Соломонович оказал большое влияние на формирование научного потенциала Государственного предприятия «КБ «Южное» им. М. К. Янгеля», и особенно в области антенной техники. Фундаментальные работы ученого в области теории и техники СВЧ и антенн были широко использованы специалистами КБ «Южное» при разработках серии новых перспективных излучающих устройств микроволнового диапазона для космических аппаратов различного назначения, таких как АУОС-СМ-КФ, «Океан-О», «Микроспутник», «Січ-1», «Січ-2». Приоритет многих решений подтвержден авторскими свидетельствами на изобретения и патентами.

При участии Я. С. Шифрина создан и внедрен в производство ряд новых антенно-фидерных устройств для космических аппаратов.

Я. С. Шифрин внес большой вклад в разработку методов измерения полей в ближней зоне излучающих систем, базирующихся на принципах радиоголографии и позволяющих определить характеристики устройств без использования дорогостоящих полигонов.

Эти методы нашли широкое применение в Украине и за рубежом и изложены в монографии «Методы измерения параметров антенн в ближней зоне», опубликованной в 1985 г. в соавторстве и под общей редакцией члена-корреспондента Российской академии наук Льва Давидовича Бахраха (г. Москва, РФ). С использованием этих методов в ГП «КБ «Южное» им. М. К. Янгеля» выполнено немасштабное моделирование, проведен анализ и синтез излучающих систем, а также создан унифицированный компактный антенный полигон с безэховой камерой, оснащенной плосковолновым коллимационным зеркалом. Антенный полигон эффективно используется для отработки характеристик антенн, проведения комплексных испытаний на электромагнитную совместимость всех радиотехнических средств космических аппаратов в

условиях, имитирующих «безэховость» космического пространства.

Особого признания заслуживает научно-организаторская деятельность Якова Соломоновича. В 1993 г. им была организована Украинская национальная ассоциация «Антенны», которая многое сделала для объединения антеннщиков Украины, обмена опытом их работы, интеграции украинской науки в мировую. Последнему во многом способствовали и созданные позднее им же Восточно-украинское и Харьковское отделения международного общества радиоинженеров, руководителем которых он был многие годы.

Яков Соломонович Шифрин является организатором и руководителем шести международных конференций по теории и технике антенн (ICATT) и трех международных конференций по сверхширокополосным и сверхкоротким импульсным сигналам (UWBUSIS), организатором и руководителем которых неизменно был Яков Соломонович Шифрин. В 2008 г. в Севастополе состоится очередная, четвертая конференция UWBUSIS. В конференциях широкое участие принимают ученые Украины, России и многих других стран ближнего и дальнего зарубежья.

Яков Соломонович — член Президиума Академии наук прикладной радиоэлектроники, академик АН ПРЭ, почетный профессор Харьковского института радиоэлектроники, Таганрогского радиотехнического университета и Севастопольского национального технического университета, почетный доктор Харьковского национального университета им. В. Н. Каразина.

Заслуги Я. С. Шифрина отмечены не только премиями, учеными степенями и званиями, но и четырьмя орденами, 17 медалями, благодарностями Президента Украины, заместителя министра обороны Украины, знаком «За научные достижения» Министерства образования и науки. За большой личный вклад в создание и развитие антенн радиоэлектронных средств в интересах выполнения космических программ и в связи со 100-летием со дня рождения С. П. Королева Федерацией космонавтики России он награжден медалью С. П. Королева.

А. В. Дегтярев
Первый заместитель
Генерального конструктора-
Генерального директора
ГП КБ «Южное им. М. К. Янгеля»

А. Л. Ольшевский
Начальник отдела антенно-фидерных
и СВЧ-устройств
ГП «КБ «Южное» им. М. К. Янгеля»

В. М. Попель
Заместитель начальника отдела
антенно-фидерных и СВЧ устройств ГП
«КБ «Южное» им. М. К. Янгеля»

Е. Д. Романенко
Начальник группы отдела
антенно-фидерных и СВЧ-устройств
ГП «КБ «Южное» им. М. К. Янгеля»

НАШІ АВТОРИ

АЛЕКСЄЄВ Юрій Сергійович — Генеральний директор Національного космічного агентства України.

Напрям науки — державне управління в галузі ракетно-космічної діяльності, виробництво засобів ракетно-космічної техніки, технології виробництва ракетних та авіаційних комплексів.

БАУЛІН Сергій Олексійович — Заступник Генерального директора Національного космічного агентства України.

Напрям науки — розробка програм економічного розвитку космічної галузі.

ГОРНОСТАЄВ Геннадій Федорович — старший науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства ім. І. Н. Францевича Національної академії наук України, кандидат технічних наук. Нагороджений медаллю ім. Ю. В. Кондратюка.

Напрям науки — розробка волоконно-оптических вимірювальних систем. Створював датчики для системи «Стрела-2».

ДАНИК Юрій Григорович — заступник начальника кафедри стратегії національної безпеки та оборони Національної академії оборони України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор.

Напрям науки — стратегія національної безпеки.

ДЕГТЬЯРЬОВ Олександр Вікторович — Перший заступник Генерального конструктора — Генерального директора Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля», кандидат економічних наук, «Заслужений машинобудівник України», Почесний робітник космічної галузі України, дійсний член Міжнародної академії астронавтики, Регіональний секретар Українського відділення Міжнародної академії астронавтики

Напрям науки — технології виробництва засобів ракетно-космічної техніки.

ДЗЮБАНОВ Дмитро Анатолійович — вчений секретар Інституту іоносфери Національної академії наук України та Міністерства освіти і науки України, кандидат фізико-математичних наук.

Напрям науки — сонячно-земна фізика, іоносферне моделювання.

ЄМЕЦЬ Віталій Володимирович — доцент кафедри технології виробництва літальних апаратів фізико-технічного факультету Дніпропетровського національного університету, кандидат технічних наук.

Напрям науки — експериментальні дослідження моделей рідинних ракетних двигунів, адаптивних і кріогенних магнітопорошкових герметизаторів, дослідження палив, агрегатів живлення, застосування спалювальних ракетних блоків.

КОНЮХОВ Станіслав Миколайович — Генеральний конструктор — Генеральний директор Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля», академік Національної академії наук України.

Напрям науки — ракетно-космічна техніка.

ЛЯШЕНКО Михайло Володимирович — науковий співробітник Інституту іоносфери Національної академії наук України та Міністерства освіти і науки України.

Напрям науки — сонячно-земна фізика, геофізика, іоносферне моделювання.

ОЛЬШЕВСЬКИЙ Олександр Лаврентійович — начальник відділу антенно-фідерних та НВЧ-пристроїв конструкторського бюро космічних апаратів, систем та комплексів Державного конструкторського бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля, м. Дніпропетровськ.

Напрям науки — антенно-фідерні пристрої та засоби мікрохвильової техніки.

ПАЗЮРА Сергій Олександрович — молодший науковий співробітник Інституту іоносфери Національної академії наук України та Міністерства освіти і науки України.

Напрям науки — фізика іоносфери, сонячно-земні зв'язки.

ПІСАНКО Анатолій Григорович — начальник відділу Національного космічного агентства України.

Напрям науки — наземний автоматизований комплекс керування космічними апаратами, телеметричні системи.

ПОПЕЛЬ Валерій Михайлович — заступник начальника відділу антено-фідерних та НВЧ-пристроїв конструкторського бюро космічних апаратів, систем та комплексів Державного конструкторського бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля, м. Дніпропетровськ.

Напрям науки — антено-фідерні пристрой та засоби мікрохвильової техніки.

РОМАНЕНКО Євген Дмитрович — начальник групи відділу антено-фідерних та НВЧ-пристроїв Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля»

Напрям науки — антено-фідерні пристрой та засоби мікрохвильової техніки.

СИДОРЕНКО Володимир Іванович — вчений секретар відділення інформатики Національної академії наук України, кандидат фізико-математичних наук.

Напрям науки — інформаційні системи.

ТАРАН Віталій Іванович — директор Інституту іоносфери Національної академії наук України та МОН України, доктор фізико-математичних наук, професор.

Напрям науки — метод некогерентного розсіювання, високопотенціальні радари некогерентного розсіювання, фізика іоносфери у збудженному стані.

ФЕДОРОВ Олег Павлович — начальник управління космічних програм наукових досліджень Національного космічного агентства України, директор Інституту космічних досліджень Національної академії наук України та Національного космічного агентства України, завідувач лабораторії Інституту металофізики ім. Г. В. Курдюмова Національної академії наук України, доктор фізико-математичних наук, професор.

Напрям науки — матеріалознавство, космічні дослідження.

ЧЕРЕМНИХ Олег Костянтинович — заступник директора з наукової роботи Інституту космічних досліджень Національної академії наук України і Національного космічного агентства України, доктор фізико-математичних наук.

Напрям науки — космічна фізика, фізика плазми, теоретична фізика.

ЧОРНОГОР Леонід Феоктистович — професор кафедри космічної радіофізики Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України, доктор фізико-математичних наук, лауреат Державної премії УРСР.

Напрям науки — космічна радіофіза, фізика та екологія геокосмосу, космічна погода.

ЯЦЕНКО Віталій Олексійович — завідувач відділу Інституту космічних досліджень Національної академії наук України та Національного космічного агентства України, член Вченого Ради наукового фонду вчених та спеціалістів з молекулярної кібернетики та інформатики, доктор технічних наук.

Напрям науки — системний аналіз та теорія оптимальних рішень, космічна сенсорика.

ЯЦКІВ Ярослав Степанович — директор Головної астрономічної обсерваторії Національної академії наук України, завідувач відділу космічної геодинаміки, академік НАН України, доктор фізико-математичних наук, засłużений діяч науки і техніки України, лауреат Державних премій СРСР та України.

Напрям науки — космічна геодинаміка та позатмосферна астрономія.

НОВА КНИГА

Місячна одіссея

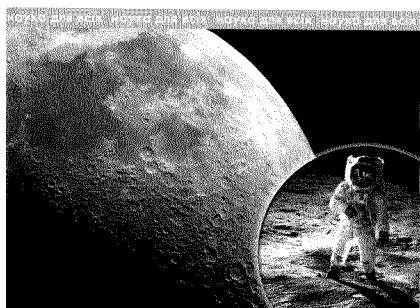
(Київ: Академперіодика, 2007.—241 с.)

Нешодавно у видавництві «Академперіодика» вийшла у світ збірка «Місячна одіссея» (відповідальний редактор академік НАН України Я. С. Яцків). Книга, підготовлена колективом авторів, розрахована на широке коло читачів. Це захоплива подорож у країну знань про наш природний супутник Місяць.

Місяць — це найближче до Землі велике небесне тіло, поява якого на небі завжди викликала подив та зацікавлення наших пращурів. Йому поклонялися, про нього складали пісні та легенди, його наділяли чудодійною силою впливу на все живе на Землі. Епіграфом до книги обрано вірш Ліни Костенко.



МІСЯЧНА ОДІССЕЯ



І «Місячну сонату» уже створив Бетховен
І тінь місяцехода вже зорям не чужа.
А місяць все такий же: і молодик, і повен,
І серпик, і рогалик, і місяць, як діжка.

А місяць все такий же, він — місяць-місяченко,
Як вчора, позавчора і хтозна ще коли!
І добре, що над нами він висить височенько,
А то б уже й на ньому болото розвели.

Ходили б там по ньому п'янички петельгузі.
Питали б його зорі, чого він не блищиць.
Стойть над нами Всесвіт у зоряній кольчузі,
І повен місяць сходить над нами, ніби щит.

Ліна Костенко, 1989 р.

В книзі описано як упродовж століть кращі уми людства намагалися вивчати Місяць. З початком космічної ери науковий та технічний «штурм» Місяця надзвичайно посилився. Сотні космічних апаратів були направлені до Місяця, на його поверхні вперше в історії людства побували люди. Початок ХXI століття ознаменується новим етапом дослідження та освоєння нашого природного супутника — Місяця (див. хронологію польотів космічних апаратів до Місяця, яку підготували В. С. Кислюк та Я. С. Яцків).

Хронологія досліджень Місяця за допомогою космічних апаратів

№	Назва апарату	Дата запуску	Результат експерименту
1.	«Луна-1» (СРСР)	02.01.1959	Перший проліт мимо Місяця (6000 км)
2.	«Піонер-4» (США)	03.03.1959	Проліт мимо Місяця (60000 км)
3.	«Луна-2» (СРСР)	12.09.1959	Перша жорстка посадка на Місяць
4.	«Луна-3» (СРСР)	04.10.1959	Перша фотозйомка зворотного боку Місяця
5.	«Рейндже-3» (США)	26.01.1962	Проліт мимо Місяця (36973 км)
6.	«Рейндже-4» (США)	23.04.1962	Жорстка посадка на зворотний бік Місяця
7.	«Рейндже-5» (США)	18.10.1962	Проліт мимо Місяця (724 км)
8.	«Луна-4» (СРСР)	02.04.1963	Проліт мимо Місяця (8500 км)
9.	«Рейндже-6» (США)	30.01.1964	Невдала спроба телезйомки Місяця
10.	«Рейндже-7» (США)	28.07.1964	Жорстка посадка, телезйомка поверхні
11.	«Рейндже-8» (США)	17.02.1965	Жорстка посадка, телезйомка поверхні
12.	«Рейндже-9» (США)	21.03.1965	Жорстка посадка, телезйомка поверхні
13.	«Луна-5» (СРСР)	09.05.1965	Невдала спроба м'якої посадки
14.	«Луна-6» (СРСР)	08.06.1965	Проліт мимо Місяця (160000 км)
15.	«Зонд-3» (СРСР)	18.07.1965	Фотографування зворотного боку Місяця
16.	«Луна-7» (СРСР)	04.10.1965	Невдала спроба м'якої посадки
17.	«Луна-8» (СРСР)	03.12.1965	Невдала спроба м'якої посадки
18.	«Луна-9» (СРСР)	31.01.1966	Перша м'яка посадка на заході Океану Бур, телепанорами поверхні
19.	«Луна-10» (СРСР)	31.03.1966	Перший штучний супутник Місяця (ШСМ), сelenодезичні вимірювання, аналіз хімічного складу Місяця з орбіти
20.	«Сервейор-1» (США)	30.05.1966	Перша американська м'яка посадка на Місяць. Телезйомка. Вивчення механічних властивостей ґрунту
21.	«Explorer-33» (США)	01.07.1966	Невдала спроба створення ШСМ
22.	«Лунар Орбітер-1» (США)	10.08.1966	Перший американський ШСМ
23.	«Луна-11» (СРСР)	24.08.1966	ШСМ, фотозйомка поверхні
24.	«Сервейор-2» (США)	20.09.1966	Невдала спроба м'якої посадки
25.	«Луна-12» (СРСР)	22.10.1966	ШСМ, фотозйомка поверхні, сelenодезичні вимірювання
26.	«Лунар Орбітер-2» (США)	06.11.1966	ШСМ, фотозйомка, радіаційні і сelenодезичні вимірювання
27.	«Луна-13» (СРСР)	21.12.1966	М'яка посадка в Океані Бур, панорами місячної поверхні, дослідження ґрунту
28.	«Лунар Орбітер-3» (США)	05.02.1967	ШСМ, фотозйомка, радіаційні і сelenодезичні вимірювання
29.	«Сервейор-3» (США)	17.05.1967	М'яка посадка в Океані Бур, панорами місячної поверхні, дослідження ґрунту
30.	«Лунар Орбітер-4» (США)	04.05.1967	ШСМ, глобальна фотозйомка поверхні Місяця

№	Назва апарату	Дата запуску	Результат експерименту
31.	«Сервейор-4» (США)	14.07.1967	Невдала спроба м'якої посадки
32.	«Експлорер-35» (США)	19.07.1967	ШСМ, тракторні вимірювання
33.	«Лунар Орбітер-5» (США)	01.08.1967	ШСМ, детальна зйомка поверхні
34.	«Сервейор-5» (США)	08.09.1967	М'яка посадка у Морі Спокою, зйомка поверхні, дослідження ґрунту
35.	«Сервейор-6» (США)	07.11.1967	М'яка посадка в Затоці Центральній, зйомка поверхні, дослідження ґрунту
36.	«Сервейор-7» (США)	07.01.1968	М'яка посадка (вперше в гірській місцевості — поблизу кратера Тіхо), зйомка поверхні, дослідження ґрунту
37.	«Луна-14» (СРСР)	07.04.1968	ШСМ, дослідження гравітаційного поля Місяця
38.	«Зонд-5» (СРСР)	15.09.1968	Обліт Місяця з поверненням (вперше) космічного корабля на Землю
39.	«Зонд-6» (СРСР)	10.11.1968	Обліт Місяця з поверненням фотографій місячної поверхні на Землю
40.	«Аполлон-8» (США)	21.12.1968	Перший пілотований політ навколо Місяця (10 обертів). Астронавти: Борман, Ловелл, Андерс.
41.	«Аполлон-8» (США)	18.05.1968	Пілотований політ по трасі Земля—Місяць—Земля (Страффорд, Сернан, Янг), відпрацювання посадки на місячну поверхню
42.	«Луна-15»	13.07.1969	Невдала спроба автоматичної доставки ґрунту
43.	«Аполлон-11» (США)	16.07.1969	Перша експедиція людей на Місяць (Армстронг і Олдрін здійснили посадку в Морі Спокою, Коллінз залишився на орбіті ШСМ), комплексні дослідження, збирання зразків місячного ґрунту.
44.	«Зонд-7» (СРСР)	08.08.1969	Обліт Місяця з поверненням на Землю, доставка знімків місячної поверхні
45.	«Аполлон-12» (США)	14.11.1969	Друга експедиція людей на Місяць (Конрад і Бін здійснили посадку в Океані Бур, Гордон залишився на орбіті ШСМ), комплексні дослідження, збирання зразків місячного ґрунту
46.	«Аполлон-13» (США)	11.04.1970	Невдала експедиція. З-за аварії астронавти Ловелл, Суїджерт і Хейс, облетівши Місяць повернулись на Землю
47.	«Луна-16» (СРСР)	12.09.1970	Вперше КА доставив на Землю зразки місячного ґрунту (з Моря Достатку)
48.	«Зонд-8» (СРСР)	20.10.1970	Обліт Місяця з поверненням на Землю знімків місячної поверхні
49.	«Луна-17» (СРСР)	10.11.1970	На Місяць доставлено перший автоматичний самохідний апарат «Луноход-1» (Море Дощів)
50.	«Аполлон-14» (США)	31.01.1971	Третя експедиція людей на Місяць (Шепард і Мітчел здійснили посадку в Океані Бур, Руза залишився на орбіті ШСМ), комплексні дослідження, збирання зразків місячного ґрунту

№	Назва апарату	Дата запуску	Результат експерименту
51.	«Аполлон-15» (США)	31.01.1971	Четверта експедиція людей на Місяць (Скотт і Ірвін здійснили посадку в Морі Дощів, Уорден залишився на орбіті ШСМ), комплексні дослідження, збір зразків місячного ґрунту з використанням всюдихода
52.	«Луна-18» (СРСР)	02.09.1971	Невдала посадка, КА розбився
53.	«Луна-19» (СРСР)	28.09.1971	ШСМ, дослідження з орбіти
54.	«Луна-20» (СРСР)	14.02.1972	Доставка зразків місячного ґрунту з материкового району (між Морем Достатку і Морем Криз)
55.	«Аполлон-16» (США)	16.04.1972	П'ята експедиція людей на Місяць (Янг і Дьюк здійснили посадку поблизу кратера Декарт, Маттінглі залишився на орбіті ШСМ), комплексні дослідження, збір зразків ґрунту з використанням всюдихода
56.	«Аполлон-17» (США)	07.12.1972	Шоста експедиція людей на Місяць (Сернан і Шмітт здійснили посадку поблизу кратера Декарт, Маттінглі залишився на орбіті ШСМ), комплексні дослідження, збір зразків місячного ґрунту з використанням всюдихода. Завершення програми «Аполлон»
57.	«Луна-21» (СРСР)	08.01.1973	На Місяць доставлено автоматичний самохідний апарат «Луноход-2» (кратер Лемон'є в Морі Ясності) Радіоастрономічні дослідження з орбіти ШСМ
58.	«Експлорер-49» (США)		Комплекс досліджень з орбіти ШСМ
59.	«Луна-22» (СРСР)	29.05.1974	М'яка посадка в Морі Криз.
60.	«Луна-23» (СРСР)	28.10.1974	Пошкоджено ґрунтозабірний механізм
61.	«Луна-24»	09.08.1976	М'яка посадка в Морі Криз, доставка зразків ґрунту з глибини 2 м на Землю
62.	«Галілео» (США)	18.10.1989	На шляху до системи Юпітера передав зображення західної півкулі Місяця
63.	«Хітен» (Японія)	24.01.1990	Перший японський ШСМ, з якого був запущений субсупутник «Хагаромо»
64.	«Клементина» (США)	25.01.1994	З орбіти ШСМ виконана радіолокація південного полюса Місяця та детальна глобальна зйомка його поверхні
65.	«Лунар Проспектор» (США)	07.01.1998	З орбіти ШСМ виконав топографічне та геологічне картографування Місяця з високою роздільною здатністю
66.	«СМАРТ-1» (Європейське космічне агентство)	30.09.2003	ШСМ (перша місячна програма ЄКА). Перший КА з іонними двигунами
67.	«Кагуя» («Селена») — Японія	14.09.2007	Початок реалізації довгострокової програми Японії з освоєння Місяця
68.	«Чанг Е-1» (Китай)	24.10.2007	Початок реалізації довгострокової програми Китаю з освоєння Місяця

НОВИНИ КОСМІЧНИХ АГЕНТСТВ СВІТУ

Міжнародна координаційна група з проблем доставки марсіанського ґрунту

10 грудня 2007 р. NASA повідомило про створення і першу зустріч міжнародної координаційної групи з проблеми доставки марсіанського ґрунту. Представники декількох країн і чотирьох космічних агентств (NASA, ЄКА, CSA і JAXA), які зібралися наприкінці листопада у Вашингтоні, утворили групу IMARS (International Mars Architecture for Return of Samples — Міжнародна архітектура для доставки зразків з Марса) на правах комітету Міжнародної робочої групи з досліджень Марса, обговорили протягом трьох днів опрацьовані раніше проекти доставки марсіанського ґрунту, наукові пріоритети країн-учасниць і вимоги до лабораторії з вивчення

марсіанських оразків, і узгодили загальну стратегію реалізації місії з доставки ґрунту та його досліджень в земних умовах. Як зазначив директор програми дослідження Марса в NASA Даг МакКуйшн (Doug McCuistion), проведені дискусії працюють на реалізацію програми доставки ґрунту уже в конці наступного десятиліття (2011—2020 рр.). В свою чергу, менеджер програми дослідження космосу в ЄКА Бруно Гардині (Bruno Gardini) заявив, що проведена робота є важливим кроком у формування в 2008 р. європейської програми Aurora. Друга зустріч комітету IMARS запланована на березень 2008 р.

Десять найважливіших досягнень з астрономії і космонавтики в 2007 р.

На черговому конкурсі «Звезды АстроРунета и Я» і 2007 (ЗАРЯ — 2007) визначені кращі сайти з астрономії і космонавтики. За результатами інтернет-опитування, проведеного в рамках конкурсу, одним із інформаційних спонсорів якого виступив журнал Новости космонавтики, були визначені також найважливіші досягнення з астрономії і космонавтики у 2007 р.

Інтернет-спітвовариство виділило такі досягнення (в порядку їхньої значущості):

1. Продовження роботи на Марсі марсоходів Spirit і Opportunity.
2. Проходження міжпланетними зондами Voyager 1 і Voyager 2 межі Сонячної системи.
3. Відкриття двох маломасивних планет в системі близького червоного карлика Gliese 581, одна з яких теоретично може бути придатною для життя.

4. Несподівано багаторазово збільшений бліск комети Голмза.
5. Запуск до Місяця автоматичних міжпланетних станцій в Японії і Китаї.
6. У зорі 55 Рака знайдені відразу п'ять планет — рекордний показчик при астрономічних спостереженнях.
7. Запуск міжпланетного зонда Dawn: нова місія НАСА з вивчення астероїдів Церера і Веста.
8. Міжпланетний зонд Cassini зареєстрував ознаки вулканічної діяльності на одному з супутників Сатурна — Діоні.
9. Отримання зображення поверхні зорі Альтаїр.
10. Проліт міжпланетного зонда Messenger поблизу Венери.

(За матеріалами журналу «Новости космонавтики», 2008, №№ 2, 6)