

## АНОТОВАНИЙ ЗВІТ

### Цільова комплексна програма НАН України з наукових космічних досліджень на 2012-2016 роки

#### 1. Шифр та назва теми

«Наукові основи та технічні пропозиції щодо створення комплексу апаратури»  
(Етап №3 «Вироблення технічних пропозицій щодо створення дослідницьких приладів з вивчення іоносфери, космічного матеріалознавства та перспективних систем енергопостачання»).

Термін виконання: 02.03.2015 р. - 31.12.2015 р.

Організація-виконавець: Інститут космічних досліджень НАН України та ДКА України

Організація-співвиконавець: Львівський центр Інституту космічних досліджень НАН України та НКА України.

#### 2. Завдання на звітний рік

1. Розроблення комплексу наукової апаратури для наносупутників.
2. Розроблення методів, програмно-апаратних засобів та інформаційних сервісів для накопичення та оброблення даних супутникових вимірювань.
3. Розроблення нового методу управління структурою кристалічних матеріалів, що одержуються в космосі методами твердіння розплаву.
4. Розроблення нового методу оцінювання ризиків впливу космічної радіації на функціонування суперконденсаторів.

#### 3. Основні результати роботи в цілому

##### За пунктом 1.

Проведено аналіз джерел та відповідних величин похибок визначення напряму та проаналізовано залежності чутливості, споживаної потужності та рівня власних шумів від габаритів ферозондового давача. Виявлено, що споживана потужність приблизно обернено пропорційна до довжини давача, але температура перегріву давача відносно оточуючого середовища зростає при зменшенні його габаритів. Знайдено залежність чутливості та рівня власних шумів від довжини давача. Виявлено, що зі зменшенням габаритів давача і при збереженні сталої кількості витків вимірювальної обмотки зростає відносний внесок шумів електроніки у сумарний шум магнітометра.

Проведено модифікації конструкції ферозондового давача, які дозволили дещо послабити негативний вплив зменшення його розмірів на метрологічні характеристики магнітометра. Збільшено відносну товщину обмотки збудження, що дозволило зменшити потужність споживання та збільшити теплопередачу з оточуючим середовищем і, таким чином, запобігти перегріву давача. Відносна товщина вимірювальної обмотки також була збільшена, що дозволило значно підвищити кількість витків і досягти кращого шумового узгодження із вхідним підсилювачем блоку електроніки.

За результатами попередніх досліджень розроблено схему електричну функціональну системи збору наукової інформації (СЗНІ), яка за своїми енергетичними та мало габаритними характеристиками відповідає вимогам до СЗНІ наносупутників. В схемі електричній функціональній розроблюваної СЗНІ передбачено нарощування енергонезалежної накопичувальної пам'яті об'ємом до 128 Гбайт. Розроблено також схеми електричні принципові драйверів LVDS, вузла гальванічної розв'язки СЗНІ по живленню та контролера управління СЗНІ. Розроблені схема електрична функціональна СЗНІ та схеми електричні принципові основних вузлів СЗНІ забезпечують продовження робіт зі створення СЗНІ для наносупутників.

При аналізі даних космічних експериментів на борту супутників «Чибіс-М» та «Вернов» опрацьовано великий обсяг даних, що зібраний за допомогою бортових комплексів апаратури, виготовлених в ЛЦ ІКД. В даних експерименту «Чибіс-М» виявлено випромінювання потужних ліній електропередач на основній частоті 50(60) Гц як на денній, так і на нічній сторонах Землі, яке просочувалося в іоносферу вище шару F2. При цьому локалізація наземної лінії електропередач чітко ідентифікувалася максимумом сигналу при пролітанні над нею супутника.

Ці дані отримані вперше у світі. Перші такі результати були отримані за допомогою супутника C/NOFS NASA, але у випадку МС «Чибіс-М» ці результати були отримані для ширшого діапазону широт ( $\pm 52^\circ$ ), порівняно зі супутником C/NOFS ( $\pm 13^\circ$ ), що дозволяє узагальнити результати вимірювань не тільки на екваторіальну ділянку, але й на середні широти. Вимірювання потоку електронів з енергією в сотні кеВ на борту супутника «Вернов» вказують на формування ізольованих квазістаціонарних структур субрелятивістських електронів в проміжку між внутрішнім і зовнішнім поясами навіть у дуже спокійні періоди.

Були отримані перші надійні експериментальні оцінки індексу анізотропії ( $A \sim 15-20$ ) для потоків електронів з енергією  $E \sim 300-600$  кеВ на  $L < 2,5$  з варіаціями по довготі і широті.

Результати роботи є основою створення сучасних приладів наукового призначення, які планується використати в конкретних проектах Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2013-2017 роки, зокрема в проекті ІОНОСАТ.

Ці результати відображені у виступах на міжнародних конференціях та публікаціях:

1. Korepanov V.E., Dudkin F.L., Pronenko V.A. Observations of radiation from power lines in near-Earth space // Geomagnetism and Aeronomy. – 2015. – Vol. 55. – No 5. – P. 706-711.

2. Dudkin F., Korepanov V., Dudkin D., Pilipenko V., Pronenko V., Klimov S. Electric field of the power terrestrial sources observed by microsatellite Chibis-M in the Earth's ionosphere in frequency range 1–60Hz // Geophysical Research Letters. Research Letter 10.1002/2015GL064595.

3. Pronenko V., Ivchenko N. Small Explorer for Advanced Missions - Cubesat for Scientific Mission // Geophysical Research Abstracts, 2015, Vol. 17, EGU General Assembly 2015, EGU 2015-2036.

4. Проненко В.О., Дудкін Ф.Л., Корепанов В.Є., Дудкін Д.Ф. Основні результати НЧ електромагнітних досліджень на мікросупутнику «Чибіс-М» // 15 Українська конференція з космічних досліджень / Тези доповідей. – Київ-Одеса, 24–28 серпня 2015. – С. 23.

### **За пунктом 2.**

З метою підтримки вітчизняних іоносферних супутникових проектів, зокрема, для підтримки космічного експерименту «Іоносат – Мікро» на борту космічного апарату «Мікросат-М» проведено розробки програмно-технічних засобів на базі серверного комплексу PROMIS (від PROCessed Measurements of Ionospheric Satellites). Програмно-серверний комплекс PROMIS призначений для реалізації задач підтримки супутникового проекту – від планування ввімкнень наукової апаратури до розповсюдження оброблених наукових даних, включаючи інтерактивні інструменти роботи з даними.

Здійснено розроблення прикладного програмного інтерфейсу PROMIS API (PROMIS Application Programming Interface) в частині програмування, оптимізації та рефакторінгу служби завантаження системи супутниковими даними та модулю пошуку і вибірки даних. Розпочато тестування створених служб з використанням даних космічного експерименту «Варіант» на супутнику «Січ-1М» (2004 р.) та даних космічного експерименту «Потенціал» на супутнику «Січ-2» (2012 р.).

Створений науково-технічний продукт буде впроваджено в космічну систему проекту «Іоносат – Мікро» на супутнику «Мікросат-М», що створюється в ДП «КБ

«Південне» в рамках реалізації Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2013-2017 рр.

Публікація:

1. Лізунов Г.В. Спутниковий проект «Ионосат – Микро» // 15 Ukrainian Conference on Space Research. Abstracts. – Odessa, August, 24-28, 2015. – P. 7.

### **За пунктом 3.**

На основі імітаційного моделювання та експериментальних даних розроблено науково-технічні пропозиції щодо перспектив використання в космосі різних методів одержання матеріалів, зокрема плаваючої зони та методу Бріджмена із застосуванням низькочастотного вібраційного впливу. Показано, що в космічних умовах та неконтрольованої вібрації у випадку методу Бріджмена виникають нестационарні вихори перед фронтом кристалізації. В той же час для методу плаваючої зони одержані інтервали параметрів (на прикладі кремнію), в яких перед фронтом існують лише стаціонарні потоки, а вібраційний вплив проводить лише до зміни напрямку руху розплаву. Вироблені також рекомендації щодо можливості запобігання небажаних потоків шляхом накладання аксіальних вібрацій в земних технологіях на основі методу Бріджмена.

Публікації:

1. Федоров О.П., Демченко В.Ф., Шуба І.В., Лесной А.Б. Влияние гравитационной и вибрационной конвекции на тепломассоперенос в расплаве при выращивании кристаллов методами Бріджмена и плавающей зоны // Физика и химия обработки материалов. – 2015. – № 6.

2. Федоров О.П., Демченко В.Ф., Шуба І.В., Аснїс Ю.А., Лісний А.Б. Математичне моделювання гідродинамічних та теплових процесів при вирощуванні кристалів із розплаву // Современная электрометаллургия. – 2015. – № 2. – С. 42-50.

3. Федоров О.П., Демченко В.Ф., Шуба І.В., Живолуб С.Л. Вплив вібраційних збурень на теплові та гідродинамічні процеси в розплаві при вирощуванні кристалів методом Бріджмена // Доп. НАН України. – 2015. – № 3. – С. 75-80.

4. Федоров О.П., Демченко В.Ф. Особливості управління структурою твердіння в невагомості методами спрямованої кристалізації з накладенням вібраційного впливу // Косм. наука і технологія. – 2015. – Т. 21, № 2. – С. 73-80.

### **За пунктом 4.**

Отримано нові результати щодо моделювання та оптимізації комбінованих накопичувачів енергії з урахуванням надійності, впливу температури та радіаційного випромінювань. Отримав подальший розвиток метод оцінювання ризику впливу радіаційного випромінювання на комбіновані накопичувачі енергії. Вперше показано на новий і більш ефективний з економічної точки зору метод виробництва суперконденсаторів на основі графену, який робить їх ще на один крок ближче до можливості космічного застосування.

Продовжено розробку технічних пропозицій щодо використання комбінованих суперконденсаторів в супутникових приладах для космічних досліджень. Значна увага приділена розробці пропозицій для КБ «Південне», НТУ КПП та для підготовки нового проекту в рамках програми Horizon 2020. Використано наступні методи дослідження – системний аналіз існуючих розробок, засоби експериментальної та теоретичної фізики, методи нанофізики, методи прикладної фізики, методи математичного моделювання. Також проведено аналіз можливостей використання комбінованих накопичувачів енергії в енергосистемах України.

Опубліковано:

1. В.О. Яценко, Ю.О. Клименко, О.О. Кочкодан, Ю.А. Малетин, С.О. Зелінський. Моделювання та оптимізація комбінованих накопичувачів енергії з урахуванням

надійності, впливу температури та радіаційного випромінювання // Космічна наука і технологія. – 2015. – Т. 21, № 2. – С. 36-39.

Подано на міжнародні конференції:

1. V. Yatsenko. Optical laser systems for small satellites based on supercapacitors // 7th international conference on advanced optoelectronics and lasers Caol\*2016. – Odessa. September 12-15, 2016.

2. V. Yatsenko. Modeling and optimization of hybrid supercapacitor energy system // 3rd International Conference on Energy, Sustainability and Climate Change ESCC 2016. – Athens, Greece, July 10-16, 2016.)

#### **4. Назва створеної науково-технічної продукції.**

Науково-технічні пропозиції, математичні моделі, результати чисельного моделювання, результати випробування приладів.

#### **5. Вид науково-технічної продукції.**

Науково-технічний звіт.

#### **6. Обґрунтована оцінка рівня дослідження.**

Теоретичні та експериментальні дослідження з вдосконалення параметрів бортової апаратури для вимірювання характеристик космічної плазми, математичного та фізичного моделювання процесів кристалізації в умовах мікрогравітації при вібраційному впливі та з розроблення накопичувачів енергії для удосконалення енергоспоживання супутників не мають аналогів в Україні та мають світовий рівень.

#### **7. Характеристика наукової та практичної значущості.**

Модифікація конструкції ферозондового давача дозволила послабити негативний вплив зменшення його розмірів на метрологічні характеристики перспективних магнітометрів, забезпечить можливість створення нового покоління експериментальної вимірювальної апаратури та підвищення точності вимірювань характеристик космічної плазми при реалізації перспективних іоносферних експериментів.

Побудова нової систем збору та обробки наукової інформації з малими масою, габаритами та енергоспоживанням забезпечить високі характеристики наносупутників нового покоління та виконання на орбіті широкого класу завдань.

Розробка програмно-технічних засобів на базі серверного комплексу PROMIS забезпечуватиме реалізацію задач підтримки супутникового проекту ІОНОСАТ – від планування ввімкнень наукової апаратури до розповсюдження оброблених наукових даних, включаючи інтерактивні інструменти роботи з даними.

Порівняння процесів кристалізації у різних методах, що використовуються в космічних технологіях будуть використанні при створенні космічного експерименту в умовах мікрогравітації для постановки на борту.

Науково-технічні пропозиції, математичні моделі та результати досліджень зі створення накопичувачів енергії з використанням суперконденсаторів для супутників забезпечить поліпшення показників системи енергозбереження, збільшення часу роботи на орбіті, функціональність КА та їх безпеку.

#### **8. Використання результатів (галузь, потенційні споживачі).**

Очікується впровадження удосконалених давачів з вимірювань характеристик космічної плазми та нової системи збору наукової інформації у конкретні вироби ДКБ «Південне» для реалізації іоносферних проектів, зокрема, українського проекту «Іоносат».

Результати чисельних, а також натурних експериментів з вивчення процесів кристалізації розплавів в умовах мікрогравітації при вібраційному впливі можуть бути використані для одержання нових матеріалів з досконалими характеристиками в космічних та наземних умовах.

Результати досліджень зі створення нового покоління накопичувачів енергії буде використано при створенні вітчизняних космічних апаратів нового покоління.

**9. Кількість публікацій по темі (число).**

Опубліковано у 2015 р. – 7 статей, 3 доповіді.

Подано на міжнародні конференції 2016 р. – 2 доповіді

**10. Науковий керівник теми:**

чл.-кор. НАН України  
доктор фіз.-мат. наук

О.П. Федоров