

# АНОТОВАНИЙ ЗВІТ

за період з 02.03.2015 р. по 15.12.2015 р.

за Договором на виконання наукового проекту від 02 березня 2015 р. № 1.57.2.16, шифр "SIDRA-15", що виконувався у 2015 році на підставі розпорядження Президії НАН України від 26.02.2015 р. № 122 «Про виконання проектів Цільової комплексної програми НАН України з наукових космічних досліджень на 2015 рік»

<b>1. Тема НДР:</b> Концепція побудови та експериментальне відпрацювання прототипу компактного супутникового приладу SIDRA з реєстрації потоків заряджених частинок високих енергій.	<b>2. Характер НДР:</b> Фундаментальні дослідження
<b>3. Етап НДР:</b> Етап 3. Розробка і відпрацювання програмного забезпечення прототипу модулю цифрової обробки сигналів супутникового приладу SIDRA	<b>4. Номер державної реєстрації НДР:</b> 0115U004087
<b>5. Назва пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки:</b> 1) Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави	<b>6. Пріоритетний тематичний напрям наукових досліджень і науково-технічних розробок:</b> Найважливіші проблеми фізико-математичних і технічних наук.
<b>7. Код та назва наукового напрямку або проблеми з Основних наукових напрямів та найважливіших проблем фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних і гуманітарних наук:</b> 1.4.9.7. Астрокосмічне приладобудування, технології та бази даних.	<b>8. Назва наукової установи:</b> Радіоастрономічний інститут Національної академії наук України, Відділ космічної радіофізики
<b>9. Керівник НДР:</b> Дудник Олексій Володимирович	<b>10. Терміни виконання:</b> Початок - 02.03.2015 р., закінчення - 31.12.2015 р.
<b>11. Мета проекту:</b> Розробка та доповнення тестового проекту цифрового модулю функціональними блоками: бази даних енергетичних втрат частинок; контролю роботи систем охолодження детекторів; командними процедурами. Імплементация тестового проекту на платі розробника ПЛІС ProASIC3 Starter Kit виробника "Microsemi Corp."	<b>12. Обсяг коштів, виділених на виконання НДР:</b> <u>150,00 тис. грн.</u>

## 13. Зміст суттєвої частини запланованих робіт згідно Технічного Завдання на виконання наукового проекту:

**13.1** Коригування робочої конструкторської документації корпусів друкованих плат з метою зменшення ваги відповідно вимог головної організації з розробки рентгенівського спектрофотометру ChemiX.

**13.2** Вимірювання характеристик малогабаритних сцинтиляційних детекторів з кремнієвими фотопомножувачами за допомогою стенду термоелектричного модулю з метою визначення робочих режимів при обмеженій споживчій потужності термоелектричного модуля до 1 Вт.

**13.3** Розробка та доповнення тестового проекту цифрового модулю функціональним блоком бази даних енергетичних втрат в матеріалах детекторів приладу SIDRA для кожного сорту частинок та блоком контролю роботи систем охолодження детекторів.

**13.4** Розробка і погодження з головною організацією з розробки приладу ChemiX "Протоколу узгодження електричних інтерфейсів між приладом ChemiX та детектором частинок фону ДЧФ".

Протокол має містити схему з'єднань приладів, опис найменувань контактів з'єднувачів, семантику команд для ДЧФ, формат передачі командних слів від приладу ChemiX до ДЧФ, порядок обміну інформаційними повідомленнями та порядок передачі наукових даних до приладу ChemiX.

**13.5** Доповнення командними процедурами вихідного програмного коду тестового проекту цифрового модулю приладу згідно погодженого «Протоколу узгодження електричних інтерфейсів між приладом ChemiX та детектором частинок фону ДЧФ».

**13.6** Імплементация тестового проекту цифрового модулю на платі розробника цифрової апаратури з програмованою логічною інтегральною схемою ProASIC3 Starter Kit виробника “Microsemi Corp.” з метою тестування та визначення необхідності коригування вихідного коду проекту.

**13.7** Розробка технічного завдання на оновлення структурної і принципової електричних схем, розташування компонентів на платі вторинного живлення. Оновлення модулю вторинного живлення передбачає додавання цифрової частини, яка має реалізувати цифровий інтерфейс приймання команд від приладу ChemiX та інтерфейс зв'язку з цифровим модулем приладу SIDRA, призначений для передачі телеметричної інформації.

#### **14. Стислий зміст виконаних робіт.**

**14.1** Після виготовлення габаритно-вагового макету рентгенівського спектрофотометру ChemiX (рис.1), відправлення до розробника космічного апарату «Інтергеліозонд», ЦКД ПАН висунув вимогу зменшення ваги детектору енергійних заряджених частинок ДЧФ. З метою зменшення ваги в процесі виконання 3-го етапу проекту відкоригована робоча конструкторська документація прототипу ДЧФ приладу ChemiX. Зменшення ваги на 262 г досягнуто завдяки перегляду та переробці креслень корпусів друкованих плат, полегшення підставки під детекторну головку, полегшення детекторної головки та заміні кількох DC/DC перетворювачів плати живлення. В цілому, переглянута механічна конструкція детекторної головки та її складових частин, в тому числі утримувачів кремнієвих детекторів та коліматору. Крім того, до конструкції детекторної головки додані два термоелектричних модулі, які призначені для задавання і стабілізації температурних режимів детекторів. В результаті, вага конструкції детекторної головки склала 103 грами. Вага механічних корпусів та детекторної головки разом з підставкою склали загалом 490 грамів.

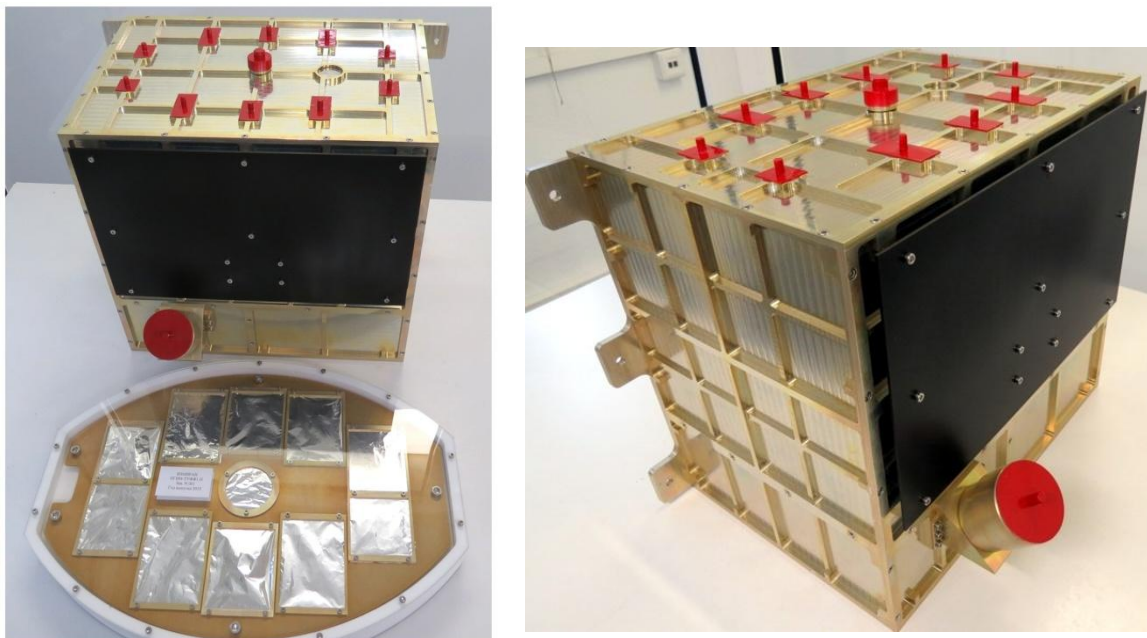


Рис. 1. Габаритно-ваговий макет рентгенівського спектрофотометру ChemiX

**14.2** У тісній кооперації з фахівцями Інституту сцинтиляційних матеріалів (ІСМА) НТК «Інститут монокристалів» НАН України здійснена серія експериментів з вимірювання характеристик різних типів малогабаритних сцинтиляційних детекторів розробки ІСМА за допомогою кремнієвих фотоелектронних помножувачів (ФЕП) японської фірми “Hamamatsu Photonics”, закуплених і переданих в РІ НАНУ для використання закордонним партнером –

Центром космічних досліджень (ЦКД) Польської академії наук (ПАН). Потужність каналу живлення термоелектричного модулю (ТЕМ) була обмежена до 1 Вт, що дозволило отримати температуру стабілізації холодної сторони ТЕМ  $+15^{\circ}\text{C}$  при температурі оточуючого середовища  $+25^{\circ}\text{C}$  ...  $+30^{\circ}\text{C}$ . Тиск у камері стенду, розробленого на попередньому етапі 2014-го року, не перевищував 20 кПа. У якості фотоприймачів використовувались кремнієві ФЕП з кількістю комірок 3600, 14400 та 57600. Серія експериментів зі збіркою на базі сцинтилятора CsI(Tl) розміром  $3\times 3\times 3$  мм, упакованого у плівку тетратек, та кремнієвими ФЕП продемонструвала вплив кількості комірок кремнієвого ФЕП на загальну енергетичну роздільну здатність системи сцинтилятор-кремнієвий ФЕП. Так, для збірки з ФЕП із 3600 комірками роздільна здатність складала 8,3% за енергією гама-квантів 662 кеВ, для збірки із 14400 комірками – 6,02%, а для збірки з 57600 комірками – 4,78%. Проведена серія експериментів з органічним сцинтилятором на базі паратерфенілу. Геометричний розмір кристалу  $6,5 \times 6,5 \times 6,5$  мм, у якості фотоприймача використовувався кремнієвий ФЕП з 57600 комірками. Вимірювання проводилися у стенді термоелектричного модуля при температурі стабілізації  $+15^{\circ}\text{C}$  та при тиску 10 кПа. В результаті отримане енергетична роздільна здатність 8,67% по лінії  $\beta$ -частинок з  $E=624$  кеВ при коефіцієнті нелінійності 0,95.

**14.3** Для тестового проекту цифрового модулю приладу SIDRA розроблений модуль бази даних енергетичних втрат заряджених частинок в матеріалах детекторів. Модуль складається з трьох основних функціональних блоків: блок бази даних (DataBase of particles), блок визначення сорту заряджених частинок (Particle\_definer) та блоку АРВЗ інтерфейсу, завдяки якому встановлюються параметри роботи модулю бази даних. Модуль бази даних містить в собі дані про енергетичні втрати для трьох режимів детектування заряджених частинок. На кожному з режимів детектування блок бази даних дозволяє розрізнити чотири сорти заряджених частинок та розподілити кожен сорт на 50 енергетичних каналів.

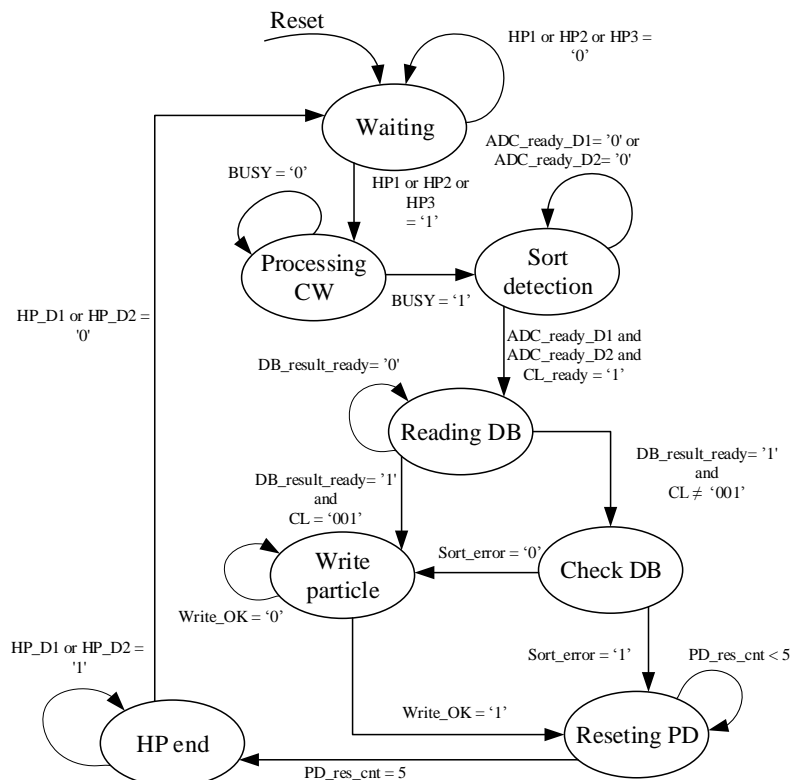


Рис. 2. Граф переходів кінцевого автомату блоку визначення сорту частинок.

**14.4** Розроблений і погоджений з головною організацією з розробки приладу ChemiX – ЦКД ПАН “Протокол узгодження електричних інтерфейсів між приладом ChemiX та детектором частинок фону ДЧФ”. Відзначено, що ДЧФ під’єднується до основного і резервного з’єднувачів приладу ChemiX. Узгоджено таблицю програмних зовнішніх команд управління приладом у ході його льотної експлуатації. Усього передбачається використовувати 12 команд, серед яких команди включення і вимкнення ДЧФ; переключення півкомплектів плати живлення; включення монітору вторинних і первинної напруг живлення; переходу на детектування першого (легкі ядра та електрони), другого (середні ядра), або третього (важкі ядра) режимів роботи детектування частинок; встановлення/зміни опорного рівня радіаційної обстановки, при

якому відбувається генерування аварійного повідомлення; регулювання рівня спрацювання пікових детекторів аналогового модуля; регулювання коефіцієнту підсилення масштабуючи підсилювачів.

В Протоколі представлені часові епюри обміну науковою інформацією і передавання командних повідомлень між приладом ChemiX і детектором частинок. Часові епюри відображають процес передавання від приладу ChemiX (master) до детектору частинок фону (slave) за один акт коду бортового часу і командних повідомлень у вигляді трьох пакетів по 32 біти кожний за лінією, а також процес отримання даних від модулю ДЧФ (slave) до приладу ChemiX (master). Представлена структурна схеми з'єднання приладів ChemiX і ДЧФ за високошвидкісним протоколом обміну SPI з вказівкою назви і призначення ланцюгів з'єднувача Micro-DSUB. Структурна схема оформлена у вигляді Додатку А до Протоколу.

В Протоколі описано часову процедуру передавання наукової інформації від ДЧФ до приладу ChemiX; принципи побудови аварійного інформаційного повідомлення для фотометру у разі попадання супутника у зону підвищеної радіації; складено таблицю розпіновки основного і резервного з'єднувачів Micro-DSUB (21 контакт) з обох боків – ДЧФ і приладу ChemiX. Вказані номери ланцюгів і номери контактів на кожному із з'єднувачів.

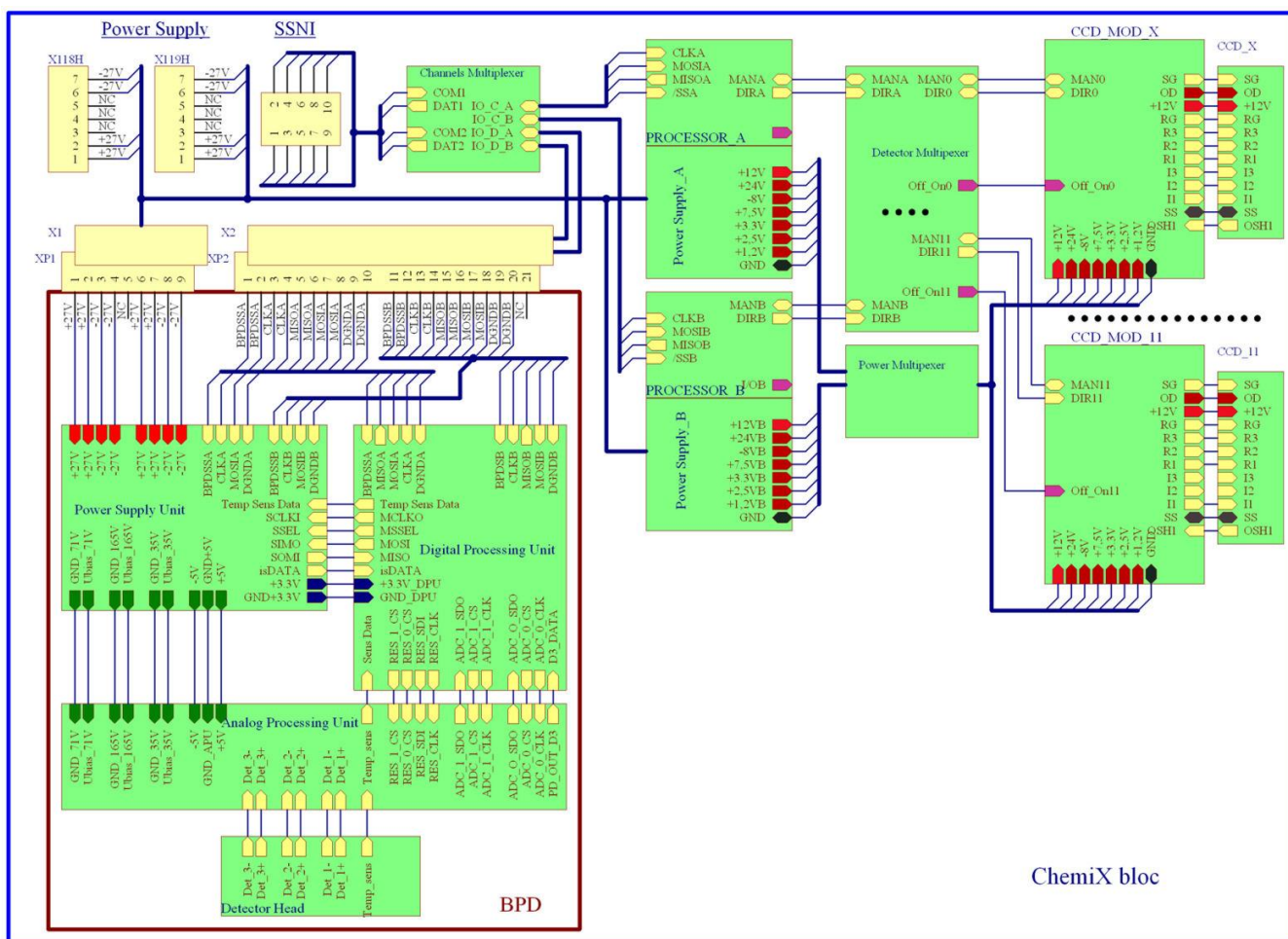


Рис. 3. Схема загальна електрична детектору частинок фону (BPD) і схема електричних з'єднань з рентгенівським спектрофотометром ChemiX.

**14.5** Після підписання польськими партнерами з ЦКД ПАН «Протоколу узгодження електричних інтерфейсів між приладом ChemiX та детектором частинок фону ДЧФ» розроблений вихідний код процедур відпрацювання зовнішніх команд на мові програмування асемблер для центрального процесору тестового проекту цифрового модуля приладу SIDRA. Команди надходять до центрального процесору через шину APB від окремого ядра SPI-інтерфейсу у форматі заголовок-тіло команди-контрольна сума. Процедури відпрацювання команд включають в себе перевірку структури команди та сигналізацію про статус перевірки і виконання команд. Сигналізація статусів перевірки та виконання команд реалізована шляхом виставлення на порт виводу центрального процесору відповідного кодового слова. Виклик та

виконання командних процедур включені в тіло основного циклу програми центрального процесора тестового проекту.

**14.6** Модулі бази даних енергетичних втрат заряджених частинок в матеріалах детекторів; визначення сорту заряджених частинок; інтерфейсу APB3 модулю бази даних; оновлений вихідний код центрального процесору вихідним кодом командних процедур інтегровані у тестовий проект цифрового модулю приладу SIDRA. Оновлений тестовий проект синтезований та імплементований у ПЛІС АЗРЕ1500 у складі плати розробника цифрової апаратури з програмованою логічною інтегральною схемою ProASIC3 Starter Kit виробника “Microsemi Corp.”

**14.7** Розроблене технічне завдання на оновлення структурної і принципової електричних схем. Оновлення пов'язане з тим, що існуюча плата передбачає виведення інформації про життєздатність приладу у вигляді аналогових сигналів в окрему штатну телеметричну систему, в той час, як концепція побудування приладу ChemiX передбачає виведення інформації у цифровому вигляді спільно з науковими даними по високошвидкісному інтерфейсу SPI. Крім того, необхідна заміна частини компонентів на елементну базу, що відповідає вимогам Європейського космічного агентства.

В Технічному завданні складено Таблицю з переліком напружень вторинного живлення, в якій дано призначення каналів, вихідні напруження і максимальний вихідний струм по кожному з вторинних напружень. Вказано, що канали зворотного зміщення детекторів частинок повинні мати плавне регулювання напружень на етапі настроювання і паралельні посадкові місця під пайку SMD резисторів. Перелічені зміни до принципової електричної схеми і топології друкованої плати живлення, визначена необхідність перекомпоновки розташування елементів з метою мінімізації геометричних розмірів. Вказано про необхідність встановлення двох додаткових роз'ємів для підключення зовнішніх температурних датчиків під час трасування друкованої плати: одного з'єднувача WF-8 для прийому сигналів від 4-х термодатчиків, встановлених на аналоговій платі, і одного з'єднувача WF-4 для прийому сигналів від 2-х термодатчиків, встановлених на цифровій платі. В електричній схемі також треба передбачити схему перетворення показів зовнішніх термодатчиків в цифровий код. Нарешті, вказана необхідність перероблення методу реалізації відпрацювання команд в схемі електричній з огляду доповнення цифровою частиною плати живлення і заміни реле РПС-45 і оптопар CNY-17 на оновлену елементну базу.

## **15. Співпраця з закордонним партнером.**

У травні і жовтні 2015 року відбулися спільні роботи з розробки і імплементації детектору енергійних частинок ДЧФ рентгенівського спектрофотометру ChemiX у Відділенні фізики Сонця ЦКД ПАН, м. Вроцлав, на основі підписаного у 2014 році Договору про співпрацю між ЦКД ПАН і РІ НАН України.

За запрошенням Орг. комітету 15-ї Української конференції з космічних досліджень у м. Одеса три представника організації-партнера – ЦКД ПАН, у серпні 2015-го року взяли участь у роботі конференції з представленням 3-х усних доповідей.

За запрошенням Орг. Комітету конференції «Progress on EUV&X-ray spectroscopy and imaging II» ([http://www.cbk.pan.wroc.pl/conferences/wroclaw\\_2015/](http://www.cbk.pan.wroc.pl/conferences/wroclaw_2015/)) у м. Вроцлав керівник проекту у листопаді 2015-го року прийняв участь у роботі конференції з представленням двох усних доповідей.

## **16. Список публікацій за тематикою проекту у 2015 році.**

- 1. А.В. Дудник, Е.В. Курбатов, В.А. Тарасов, Л.А. Андрющенко, И.Л. Зайцевский, Я. Сильвестер, Я. Бонкала, М. Ковалинский.** Детектор частиц фона солнечного рентгеновского фотометра ChemiX космической миссии «Интергелиозонд»: отработка модулей лабораторного прототипа // Космічна наука і технологія. – 2015. – Т.21. - №2. – С.3-14.
- 2. А.В. Дудник, Л.А. Андрющенко, В.А. Тарасов, Е.В. Курбатов.** Детектор на основе монокристалла активированного паратерфенила и кремниевого фотоэлектронного умножителя // Приборы и техника эксперимента. – 2015. – № 2. – С.41-46.
- 3. А.В. Дудник, Е.В. Курбатов, И.Л. Зайцевский, Я. Сильвестер, М. Сиарковски, М. Ковалински, П. Подгурски.** Детектор энергичных частиц ДЧФ в составе солнечного

- рентгеновского фотометра ChemiX космической миссии «Интергелиозонд» // Радиофизика и электроника. – 2015. – Т.20. - № 3. – С.247-260.
4. J.Sylwester, M.Siarkowski, J.Bakala, Ż.Szaforz, M.Kowalinski, M.Steslicki, B.Sylwester, **O.V.Dudnik**, V.D. Kuznetsov, S.V. Kuzin, Kenneth J.H. Phillips. X-ray spectra and analysis tools to be used in interpretation of ChemiX Bragg spectrometer under construction for the Interhelioprobe // XXIX General Assembly of International Astronomical Union. – Honolulu, Hawaii, USA – August 3-14, 2015. – P.927.
5. **O.V. Dudnik, E.V. Kurbatov**, J. Sylwester, M. Siarkowski, P. Podgórski, M. Kowaliński. Background Particle Monitor - a part of the solar X-ray spectrophotometer ChemiX: principles of the operation and construction // 15<sup>th</sup> Ukrainian conference on space research. – Odessa, Ukraine. – August, 24-28, 2015. – Abstracts. - P. 80.
6. Sylwester,J., Siarkowski,M., Bakala,J.; Szaforz,Z., Kowalinski,M., Stęślicki,M., Sylwester,B., Kordylewski,Z., **Dudnik,O.**, Kuznetsov,V., Polansky,V., Kuzin,S., Phillips,K. Solar X-ray from 0.3 A.U.: The ChemiX Bragg Spectrometer on *Interhelioprobe* // Proceeding of the International Astronomical Union. – XXIX IAU General Assembly, August 2015. – Manuscript ID: IAU-15-5320-0437. – Submitted: 28 November 2015 (*in press*).

Керівник НДР,  
д. ф.-м.н., ст.н.співр.

О.В. Дудник