

В.С. Глухов, А.А. Лукенюк, С.Г. Шендерук
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних обчислювальних машин

СПЕЦІАЛІЗОВАНИЙ КОНТРОЛЕР ДЛЯ СИСТЕМИ ЗБИРАННЯ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ СУПУТНИКА “СІЧ-2”

© Глухов В.С., Лукенюк А.А., Шендерук С.Г., 2011

Описана НВІС спеціалізованого контролера синхронних каналів для системи збирання наукової інформації (СЗНІ) і контрольної перевірконої апаратури супутника “Січ-2”. Також запропонована структура контролера для перспективної СЗНІ та оцінені його технічні характеристики. Показано, що використання сучасної елементної бази дозволяє реалізувати на кристалі НВІС більший набір функціональних вузлів за зменшення споживаної потужності.

Ключові слова: супутник “Січ-2”, СЗНІ, система збору наукової інформації, НВІС, ПЛІС, SPI, дата-строб, КПА, CCSDS, контролер радіоканалу.

The paper describes VLSI for satellite “Sich-2” scientific information collector. Also advanced VLSI structure is proposed and its characteristics are evaluated. Existing development experience and the newest element base can help to realize larger set of VLSI on-chip functional units and to reduce power consumption.

Key words: satellite “Sich-2”, collecting scientific information system, VLSI, FPGA, SPI, data-strobe, test equipment, CCSDS, radio controller.

Вступ

Одним з напрямків космічної діяльності в Україні є розвиток технологій для проведення наукових досліджень. 17 серпня 2011 р. за допомогою ракети-носія “Дніпро” був запущений український мікросупутник “Січ-2”. На борту супутника перебуває комплекс наукової апаратури для проведення експерименту “Потенціал”, призначеного для дослідження електромагнітних параметрів космічного простору. Створення бортової системи збирання та оброблення наукової інформації (СЗНІ) для супутника “Січ-2”, а також контрольної перевірконої апаратури (КПА) для СЗНІ є актуальною та важливою задачею. У роботі за результатами проектування, випробовування та експлуатації СЗНІ супутника “Січ-2” обґрунтовується вдосконалена структура спеціалізованого контролера для перспективної СЗНІ.

Аналіз публікацій і окреслення проблеми

На борту мікросупутника “Січ-2” [1] (рис. 1) розташований комплекс наукової апаратури для проведення експерименту “Потенціал” [2, 3] (рис. 2), призначеного для дослідження електромагнітних параметрів космічного простору. Для опрацювання інформації, що надходить від супутника, розроблені спеціальні програмні засоби [4]. До апаратури, якою комплектуються мікросупутники, висувуються жорсткі вимоги: тривалий термін активного існування (5 – 7 років) [5], робота в негерметичному корпусі [6], обмеження масогабаритних показників та енергоспоживання [7, 8, 9], робота в умовах дії іонізуючого випромінювання [10]. Також важливим є дотримання міжнародних стандартів та рекомендацій [11–15]. Тому створення бортової системи збирання та оброблення наукової інформації (СЗНІ) [16–20], а також контрольної перевірконої апаратури (КПА) для СЗНІ є актуальною та важливою задачею.

Мета роботи

Метою роботи є обґрунтування вдосконаленої структури спеціалізованого контролера СЗНІ за результатами проектування, випробовування та експлуатації СЗНІ супутника “Січ-2”.

НВІС контролера синхронних каналів СЗНІ

Для забезпечення вищезазначених вимог під час побудови СЗНІ та КПА СЗНІ були використані НВІС. Зовнішній вигляд центрального блока СЗНІ, яка побудована за принципом розподіленої резервованої багаторівневої системи, зображено на рис. 4 (ліворуч на друкованій платі встановлена НВІС).

Спеціалізований контролер синхронних каналів СЗНІ призначений для забезпечення інформаційного зв'язку протокольного мікропроцесора AT91RM9200 з периферійними пристроями СЗНІ, що служать для узгодження інтерфейсів СЗНІ і наукових приладів (рис. 6). У СЗНІ виділено три порти зв'язку з периферійними пристроями, кожен з яких може працювати як в режимі інтерфейсу *SPI*, так і в режимі дата-стробного (*Data-Strobe (DS)* [15]) кодування. Периферійні пристрої можуть об'єднуватись в мережу до 32 абонентів на кожному порту зв'язку.

Структурна схема контролера синхронних каналів СЗНІ наведена на рис. 7.

Контролер синхронних каналів СЗНІ реалізовано на ПЛІС *Xilinx xc300e-6pq240*. Управління та завдання режимів роботи контролера здійснюється через системну шину мікропроцесора AT91RM9200, а обмін інформацією з периферійними пристроями – трьома послідовними синхронними каналами. Структурна схема одного каналу (*SciWay*) наведена на рис. 13. Внутрішня шина контролера аналогічна системній шині мікропроцесора. Контролер може працювати в безпакетному режимі і в режимі роботи з пакетами даних за стандартом пакетної телеметрії *CCSDS 102.0-B-5* [11].

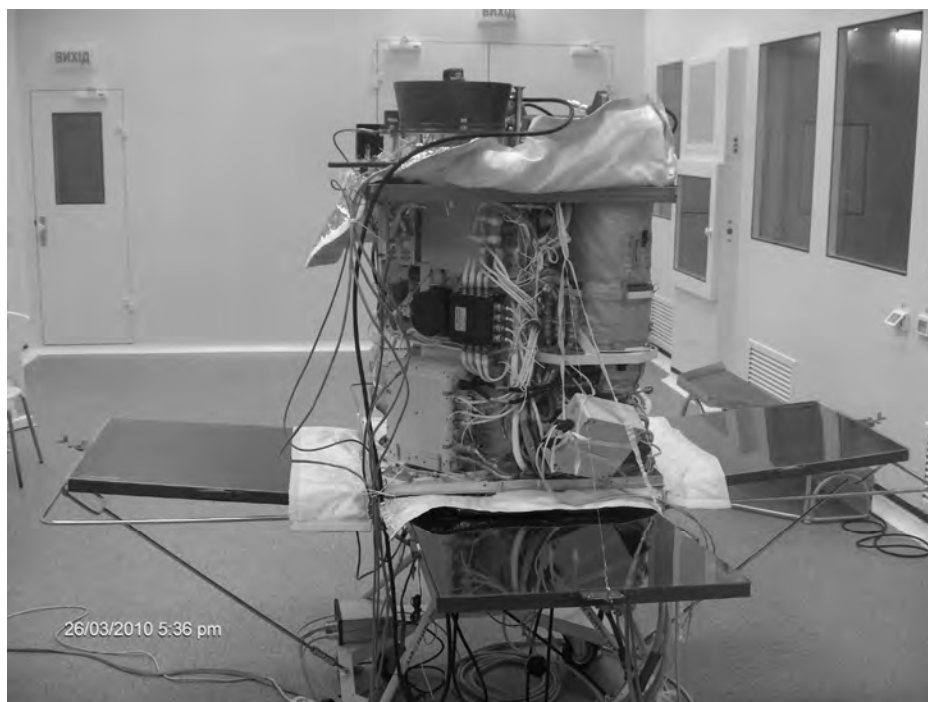


Рис. 1. Супутник "Січ-2" на етапі налагодження

Контролер може здійснювати вбудований контроль передачі інформації шляхом формування і перевіряння контрольної суми *CRC-16* за поліномом $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$.

Обмін даними з периферійними пристроями здійснюється з використанням інтерфейсу *SPI* або інтерфейсу з *Data-Strobe (DS)* кодуванням.

Обмін даними з мікропроцесором резервується і може здійснюватися або через його системну шину або з використанням послідовного каналу (тільки у режимі *SPI*). Зв'язок мікропроцесора з каналом периферійного пристрою здійснюється або через послідовний канал мікропроцесора або через системну шину з використанням вбудованого у контролер *FIFO*. Об'єм *FIFO* становить $1K \times 16$ для кожного каналу периферійних пристроїв. Об'єм доступного для мікропроцесора ОЗП ПЛІС становить $2K \times 16$.

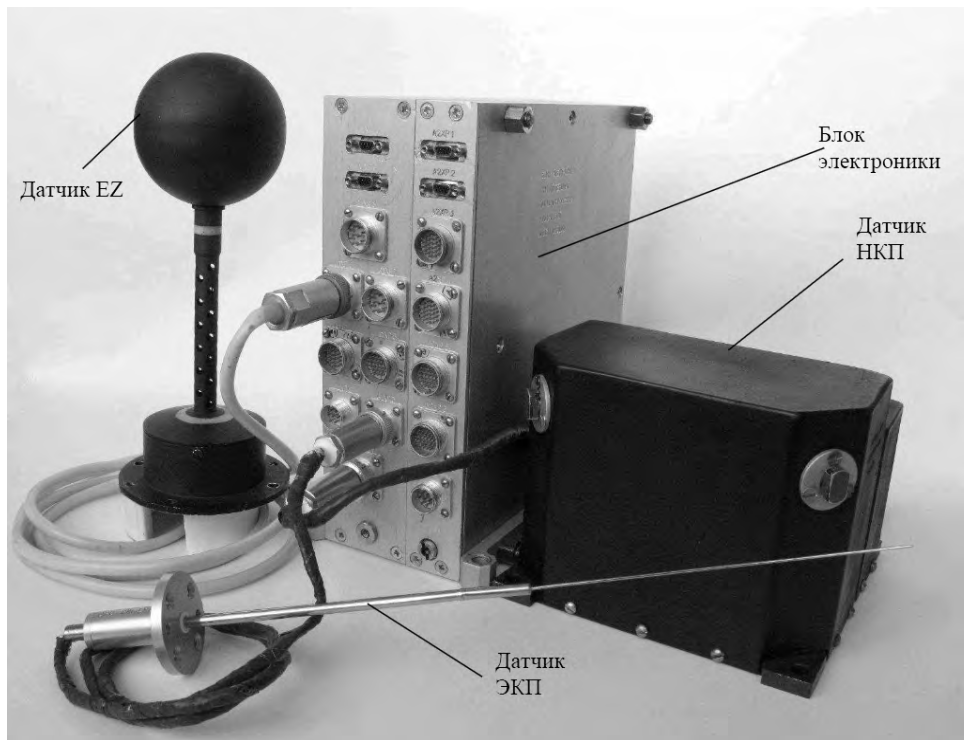


Рис. 2. Комплекс наукової апаратури “Потенціал”



Рис. 3. NBIC контролера синхронних каналів у складі КПА

Пересилання даних між контролером і мікропроцесором, а також від контролера до периферійних пристроїв здійснюється послідовними каналами та тактується синхроімпульсами, що генерує мікропроцесор (max 40 МГц), а максимальна частота пересилання даних до периферійних пристроїв становить 160 МГц кожним каналом.

Пересилання даних від периферійних пристроїв до контролера тактується синхроімпульсами, що надходять від периферійного пристрою (max 40 МГц).

Керування процесами оброблення і пересилання інформації в контролері здійснюється взаємодіючою множиною цифрових автоматів.



Рис. 4. Зовнішній вигляд центрального блоку і комплексу плат СЗНІ

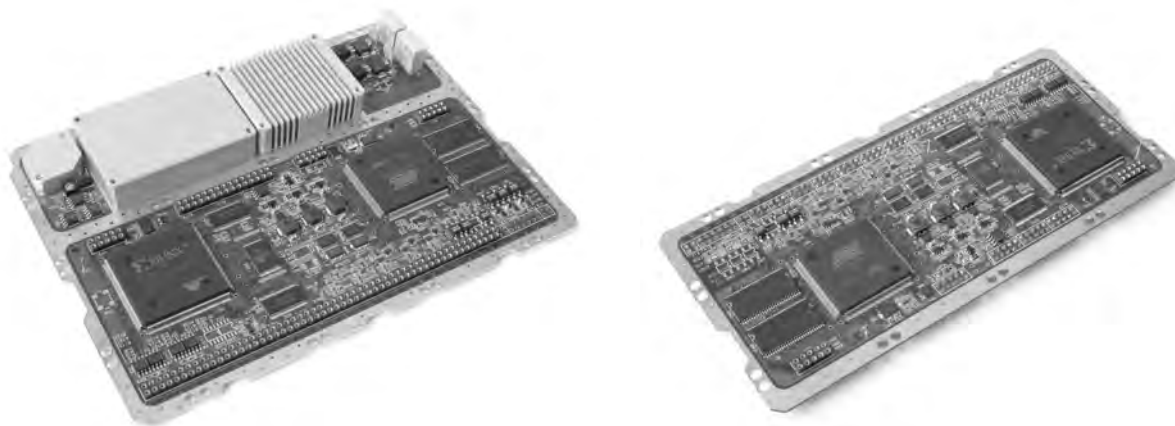


Рис. 5. Основна і резервна плати центрального блоку СЗНІ

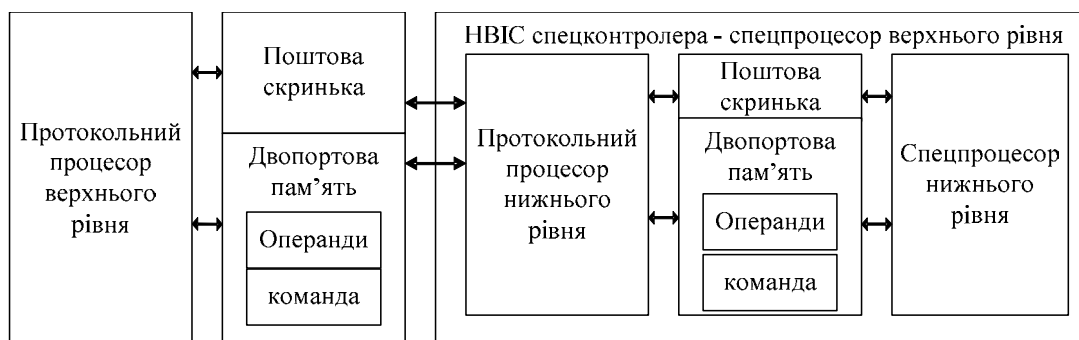


Рис. 6. Структурна схема СЗНІ з HBIC

HBIC побудована як гарантоздатна система з вбудованим контролем і дозволяє проводити реконфігурацію і модифікацію закладених у неї технічних рішень. Модифікований варіант ПЛІС використовується у комплекті контрольної перевірконої апаратури СЗНІ супутника “Січ-2” (рис. 3).

Конфігурація HBIC може бути програмною і апаратною. Здійснюючи програмну конфігурацію, контролер для мікропроцесора представляється набором регістрів. Занесенням інформації до цих регістрів встановлюються режими роботи контролера: тип послідовного каналу – SPI чи DS, з пакетуванням чи без, з використанням контрольних сум чи без, встановлюються розміри пакетів та задаються інші робочі характеристики.

При апаратній реконфігурації в кристал заноситься нова інформація про його топологію. Апаратна реконфігурація можлива тільки на стендовому обладнанні.

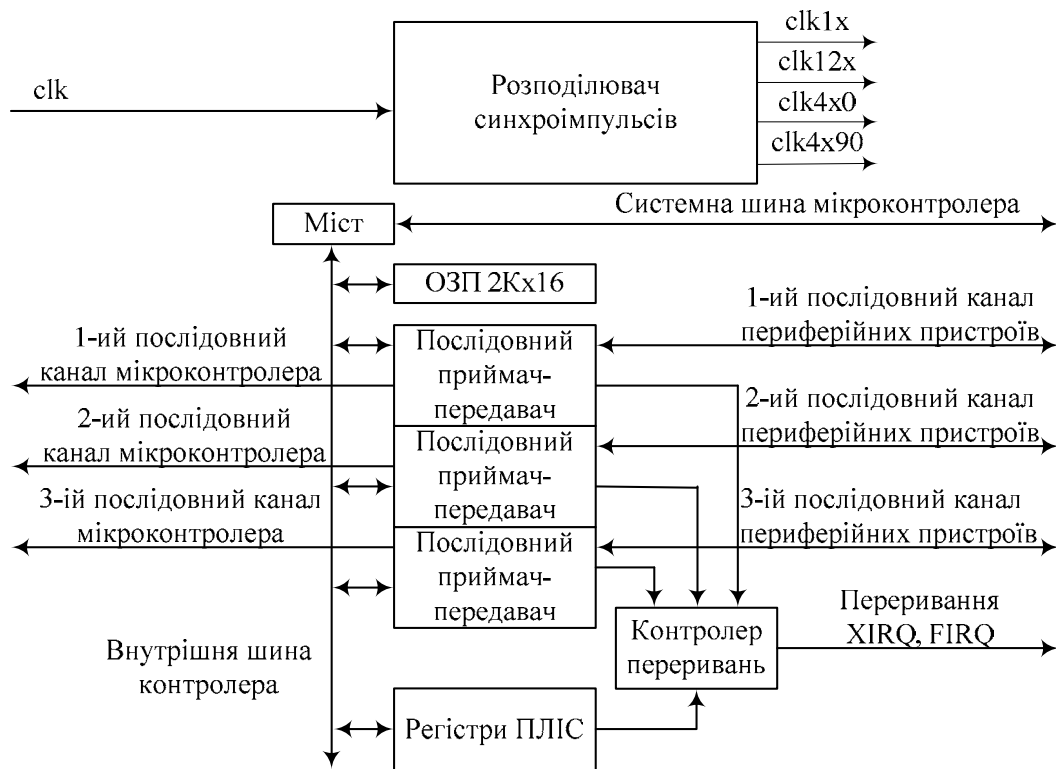


Рис. 7. Структурна схема контролера синхронних каналів

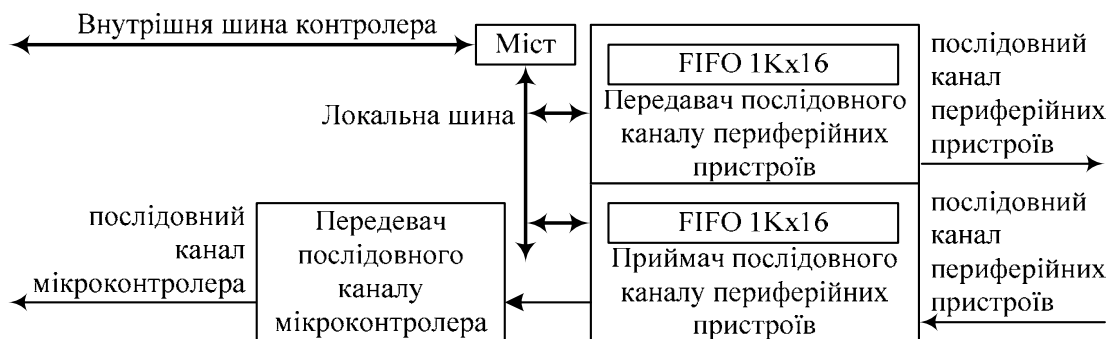


Рис. 8. Структурна схема синхронного каналу

Основні параметри, які можуть бути реконфігуровані: кількість синхронних каналів; напрямленість синхронних каналів (ввід або вивід); об'єм пам'яті. Можливе проведення інших модифікацій за окремим технічним завданням.

Отримані за результатами імплементації параметри кристала HBIC:

тип ПЛІС – *xcv300e*, *pq240*, *speed -6*;

від зовнішнього генератора 40 МГц формуються внутрішні синхроімпульси 40 МГц, 80 МГц та 160 МГц з зсувами по фазі на 90 град; джиттер для сигналів синхронних каналів *xrd*, *xrk* – 500 пс;

здіяні 1534 слайсів на кристалі (49 %), 560 буферів із трьома станами (17%), кількість задіяних блоків пам'яті – 20 (62 %); максимальна температура кристала – 56 град. Ц; сумарне споживання від джерел живлення – 1726 мВт; параметри джерел живлення: *Vccint* 1,8 В – 0,523 А; *Vcco33* 3,3 В – 0,238 А.

Напрямок подальших досліджень

З врахуванням досвіду проектування описаної НВІС, а також з врахуванням можливостей сучасної елементної бази, для перспективних СЗНІ передбачається інтеграція в складі однієї НВІС разом з описаними у цій роботі контролерами послідовних каналів (SciWay Transceiver) також контролера CAN і контролера радіоканалу з засобами завадостійкого кодування – кодером-декодером Ріда-Соломона (RS coder/RS decoder) з 5-канальним перемішувачем (interleaver), кодером згорткового коду (convolutional encoder) та декодером Вітербі відповідно до [12, 13], пакетизатором [14] (рис. 9). Також забезпечується рандомізація транспортних пакетів та маркування їх синхросилками.

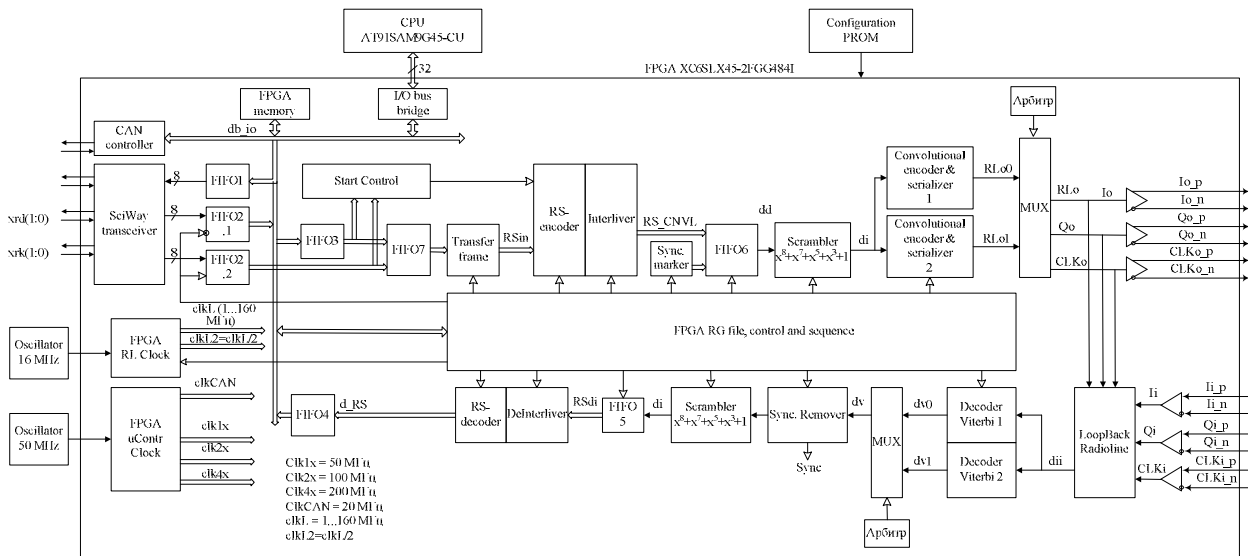


Рис. 9. Перспективна НВІС СЗНІ

Орієнтовні параметри кристала нової НВІС: тип ПЛІС *Spartan6 slx45 -2 (Industrial)*:

від зовнішнього генератора 50 МГц формуються синхроімпульси для: роботи з мікроконтролером – 50 МГц; роботи з послідовними каналами – 200 МГц; роботи через інтерфейс CAN – 20 МГц;

від зовнішніх синхроімпульсів 16 МГц формуються:

синхроімпульси $clk1$ в діапазоні (1 ... 160) МГц для шифратора згорткового коду; дерандомізатора і рандомізатора; синхроімпульси $clk2 = clk1/2$ для дешифратора Ріда-Соломона і дешифраторів Вітербі;

видавання інформації в радіолінію і приймання інформації з радіолінії здійснюється по 2 біти (I і Q) на частоті (1 ... 160) МГц;

попарний джиттер для сигналів синхронних каналів xrd, xrk – 200 пс;

задіяні 3684 слайсів на кристалі (54 %); кількість блоків пам'яті 16- і 8-розрядних – 19 і 15 (16 % і 6 %) відповідно;

споживання від джерел живлення – 732 мВт; розсіювана кристалом потужність – 775 мВт;

максимальна температура кристала – 38,9 град. Ц;

джерела живлення: $Vccint$ 1,2 В – 0,383 А; $Vccaux$ 3,3 В – 0,077 А; $Vcco33$ 3,3 В – 0,006 А.

Висновки

У роботі описана НВІС спеціалізованого контролера для СЗНІ супутника “Січ-2”. Запропонована структура перспективної НВІС для СЗНІ та оцінені її технічні характеристики. Використання новішої елементної бази дозволяє реалізувати на кристалі НВІС більший набір функціональних вузлів у разі зменшення споживаної потужності.

1.. Космічна система “Січ-2”: завдання та напрями використання – К.: ДКАУ, 2011, 48 с. – Укр. та англ. мовами. 2. Лизунов Г. В., Глемба В. И., Корепанов В. Е., Крючков Е. И., Лукенюк А. А., Скороход Т. В., Федоров О. П., Шувалов В. А. Космический эксперимент “Потенциал” на борту спутника “Сич-2”. “Космічна наука і технологія” (науково-практичний журнал). 2008, Т. 14, № 4. – С. 3–8. 3. Лукенюк А.А., Письменний М.І., Макаров О.Л., Меланченко О.Г., Шендерук С.Г., Кліменко О.В. Комплекс наукової апаратури для експерименту “Потенціал” // 10 Українська конференція з космічних досліджень. – Євпаторія, 30 серпня – 3 вересня 2010 р. 4.. Вариченко Л.В., Кугасян И.В., Михайлов М.Ю., Чаин Ю.И. Комплекс предварительной обработки информации КА “Сич-2”. <http://www.pryroda.gov.ua/ua/index.php?newsid=779> 5. А.В. Горбунов. Малые космические аппараты – новые средства дистанционного зондирования земли из космоса. Вопросы электро-механики // Тр. НПП ВНИИЭМ. – Т. 100. – 2001. – С. 18–41 6. Дистанційне зондування Землі. <http://www.nkau.gov.ua/gateway/catalogNEW.nsf/mainU/175696F87AF711EBC3256BF80052D39A?OpenDocument&Lang=U> 7. Макриденко Л.А., Волков С.Н., Ходненко В.П., Хромов А.В. Системный анализ метеорологической космической системы. Вопросы электро-механики // Тр. НПП ВНИИЭМ. – Т. 110. – № 3. – 2009. – С. 25–30 8. Дегтярь В.Г., Данилкин В.А., Прокофьев В.К., Таращук Н.В. Направления модернизации спутниковой платформы и средств выведения в интересах создания МКА для мониторинга с учетом опыта эксплуатации МКА “Компас-2”. Вопросы электро-механики // Тр. НПП ВНИИЭМ. – Т. 105. – 2008. – С. 105–109. 9. Макриденко Л.А., Боярчук К.А. Микроспутники. Тенденция развития. Особенности рынка и социальное значение. Вопросы электро-механики // Тр. НПП ВНИИЭМ. – Т. 102. – 2005. – С. 12–27. 10. Морозова Е.И., Безродных И.П., Семенов В.Т. Радиационные факторы риска для космических аппаратов. Вопросы электро-механики // Тр. НПП ВНИИЭМ. – Т. 112. – 2009. – С. 35–40. 11. Recommendation for space. Data system standards. Packet telemetry. CCSDS 102.0-B-5. Blue book. November 2000. 12. Recommendation for space. Data system standards. TM SYNCHRONIZATION AND CHANNEL CODING. CCSDS 131.0-B-1. Blue book. September 2003. 13. Recommendation for space. Data system standards. TELEMETRY CHANNEL CODING. CCSDS 101.0-B-5. Blue book. June 2001. 14. Recommendation for space. Data system standards. PACKET TELEMETRY. CCSDS 102.0-B-5. Blue book. November 2000. 15. ECSS-E-ST-50-12C – SpaceWire – Links, nodes, routers and networks. ECSS Secretariat. ESA-ESTEC. Requirements & Standards Division. Noordwijk, The Netherlands. 31 July 2008. 16. Лукенюк А.А., Шендерук С.Г. Принципи побудови бортової системи збору та обробки наукової інформації для космічних досліджень // VI Міжнар. наук.-техн. конф. “Гіротехнології, навігація, керування рухом та конструювання авіаційно-космічної техніки”. Збірник доповідей. Ч. II. 26–27 квітня 2007 р. – К. – С. 313–319. 17. Воськало В.І., Лукенюк А.А., Шендерук С.Г. Уніфікація інтерфейсів космічної апаратури з використанням технології LVDS // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Комп’ютерні системи та мережі”. №573. – Львів, 2006. – С. 30–34. 18. Глухов В.С., Лукенюк А.А., Шендерук С.Г. Використання реконфігурованих елементів у бортових системах збору й обробки даних // Вторая Укр. конф. по перспективным космическим исследованиям. Сборник тезисов. С. 67. – Кацивели (Крым), 2002. 19. Глухов В.С., Лукенюк А.А., Шендерук С.Г. Уніфікована бортова система збору і обробки інформації з наукової апаратури // Вторая Укр. конф. по перспективным космическим исследованиям. Сборник тезисов. С. 68. – Кацивели, (Крым), 2002. 20. Глухов В., Лукенюк А., Шендерук С. НВІС системи збору наукової інформації супутника “Січ-2” // Матер. 5-ї Міжнар. наук.-техн. конф. “Сучасні комп’ютерні системи та мережі: розробка та використання” ACSN-2011 29 вересня–01 жовтня, 2011. – Львів (Україна). – С. 57–60.