

УНІФІКОВАНА БОРТОВА СИСТЕМА ЗБОРУ І ОБРОБКИ

ІНФОРМАЦІЇ З НАУКОВОЇ АПАРАТУРИ

Луценюк А. А.¹, Глухов В. С.², Шендерук С. Г.³

¹ ЛЦ ІКД НАНУ та НКАУ, м. Львів

² НУ “Львівська політехніка”, м. Львів

³ ЛЦ ІКД НАНУ та НКАУ, м. Львів

Приведені основні функції, виконання яких покладається на бортові системи збору і обробки наукової інформації (СЗНІ), представлена архітектура уніфікованої СЗНІ, висвітлені прийняті рішення з побудови основних її складових.

СЗНІ займає одне з центральних місць в складі бортової космічної апаратури. В зв'язку з цим особливо високі вимоги ставляться до надійності СЗНІ, оскільки збій у її роботі може привести до зриву цілого експерименту. Забезпечити високу надійність можна тоді, коли СЗНІ буде створюватись з використанням спеціалізованих модулів, які добре відпрацьовані і серійно випускаються. В такому випадку висока надійність буде забезпечуватись на основі аналізу результатів попередніх експериментів, уніфікації методів і засобів проведення випробувань та забезпечення системної надійності. Окрім вищезазначеного, використання для побудови СЗНІ готових добре відпрацьованих модулів не тільки забезпечить кращу надійність, але й здешевить і скоротить терміни підготовки експериментів з використанням СЗНІ.

В ЛЦ ІКД НАНУ та НКАУ завершено ескізне проектування уніфікованої СЗНІ.

На рис. 1 представлено інформаційну модель бортової системи збору даних. СЗНІ забезпечує збір інформації, що надходить від наукових приладів (НП) космічного апарата (КА), її обробку, накопичення та передачу в радіоканал. Збір даних здійснюється у відповідності з попередньо записаними програмами. У процесі проведення експериментів СЗНІ здійснює управління роботою НП: включення/виключення живлення, переключення режимів роботи, запуск/зупинка вимірювань. Також передбачена можливість загальної синхронізації вимірювань для групи приладів.

СЗНІ здійснює обробку даних від наукових приладів та записує їх у запам'ятовуючій пристрій. Основні функції з обробки даних, які покладаються на СЗНІ, — це стиснення інформації (усунення надлишковості) та її підготовка для передачі по радіоканалу (пакетизація та завадостійке кодування). Крім того, для окремих приладів можуть використовуватись свої специфічні алгоритми обробки. СЗНІ забезпечує передачу даних по радіоканалу (РК) за командами або у відповідності з програмою експерименту. Швидкість вихідного потоку даних СЗНІ — до 2 Мбіт/с. Видача даних в радіоканал може здійснюватись з запам'ятовувального пристрою або безпосередньо в реальному часі від наукових приладів. Крім основного каналу передачі наукової інформації в СЗНІ передбачається можливість передачі даних з меншою швидкістю та, відповідно, меншого об'єму через резервний канал зв'язку з системою управління КА.

Управління роботою СЗНІ відбувається за командами, що можуть надходити через зворотний радіоканал, систему управління (СУ) та систему телекоманд (ТК) КА. Через систему телекоманд надходить невелика кількість основних команд, які можуть бути релейного типу, таких як: включення/виключення живлення СЗНІ, переключення на резервний комплект, вибір основних режимів роботи та програм експериментів. Більш складне управління СЗНІ здійснюється через зворотний радіоканал або по каналу системи управління КА. Через ці канали управління СЗНІ повинна бути забезпечена також можливість коригування або за-пису нових програм експериментів, зміни системного та прикладного програмного забезпечення.

Інформація про внутрішній стан та працездатність СЗНІ видається в систему телеметрії (ТМ) КА. При наземних випробуваннях СЗНІ контроль за її роботою здійснюється через технологічний роз'єм за допомогою контрольно-перевіральної апаратури (КПА).

При побудові архітектури СЗНІ, крім проаналізованих вище функцій, враховані ще й такі вимоги до неї, як:

- висока гнучкість реконфігурації системи;
- можливість масштабування інформаційної потужності (збільшення чи зменшення);
- відповідність електричним та конструктивним промисловим стандартам;
- можливість використання готових модулів, що випускаються відомими фірмами;
- мінімізація маси, габаритів та потужності споживання;
- висока надійність роботи, збереження загальної працездатності при виході з ладу окремих елементів системи.

В основу архітектури СЗНІ покладено модульний принцип, що забезпечує необхідну ступінь реконфігурованості та дозволяє при побудові системи використовувати як централізовану, так і розподілену модель збирання даних.

На рис. 2 схематично показана структура СЗНІ. Вона складається з локальних модулів (ЛМ), що входять до центрального блоку (ЦБ), системи інтерфейсів з науковими приладами та периферійних модулів (ПМ).

До складу ЦБ входять центральний процесор (ЦП), реконфігурований модуль (РМ), запам'ятовувальний пристрій, модулі стику з радіоканалом та службовими системами КА та інтерфейси з НП на основі мікросхем програмованої логіки.

При реалізації моделі централізованого збору даних сигнали від кожного з наукових приладів безпосередньо надходять до центрального блоку СЗНІ. В такому випадку до складу ЦБ додатково включаються модулі багатоканального аналогового та цифрового вводу/виводу. При розподіленій моделі збору даних оцифровка сигналів відбувається у периферійних модулях (ПМ), а до центрального блоку дані передаються вже у цифровому вигляді через інтерфейси зв'язку. Периферійні модулі можуть входити до

складу наукових приладів або виконуватись як окремі конструктивно завершені модулі і розміщуватись поруч з НП.

Склад СЗНІ може змінюватись в залежності від вирішуваних задач. Так, для випадків, коли інформаційні потоки, що поступають від НП, незначні, збір і обробка даних може бути виконана лише РМ, який шляхом перепрограмування буде реконфігурований і буде містити ядра процесора та драйверів необхідних інтерфейсів. Для випадків, коли інформаційні потоки значні, використовується ЦП, а РМ використовується для узгодження з НП та системами КА.

Для забезпечення виконання вимог до СЗНІ щодо надійності на архітектурному рівні передбачена можливість резервування окремих складових системи та системи в цілому. Виходячи з функцій, що покладаються на СЗНІ, та вимог до радіаційної стійкості використовується “холодний” тип резервування, оскільки під дією іонізуючих випромінювань темп накопичення заряду у виключеній апаратурі у декілька разів менший ніж у включеній. Відомо також, що релаксація заряду прискорюється при збільшенні температури виключених компонентів [1]. Тому передбачено забезпечення режиму періодичного переключення комплектів та тепловий обмін між ними.

Локальні модулі у центральному блоці СЗНІ об’єднуються швидкою паралельною шиною. Для реалізації ЛМ та шини вибрано стандарт РС/104 (IEEE-P996) та РС/104-Plus. Передбачено використання готових модулів, що, в свою чергу, приводить до зменшення вартості і часу розробки завершеної системи, а також сприяє підвищенню рівня уніфікації та стандартизації апаратури. Опис розроблюваного реконфігурованого модуля представлений в [3].

Для реалізації архітектури розподіленої бортової системи збору даних проєктована СЗНІ має певний набір інтерфейсів, які забезпечать підключення приладів різної інформаційної потужності та можливість гнучкої реконфігурації та масштабування системи під задачі експерименту. Розробляється інтерфейс, який би задовольняв вирішення широкого спектру задач, і його можна було б рекомендувати для використання в нових розробках бортової апаратури як відомчий стандарт. При створенні інтерфейсу враховані такі основні вимоги:

- мінімізація кількості фізичних ліній зв’язку та ваги кабелів;
- збільшення швидкості передачі;
- мінімізація потужності споживання при передачі сигналів;
- забезпечення високої завадостійкості;
- мінімізація електромагнітних випромінювань.

Ці вимоги зумовили: по-перше, використання насамперед стандартних інтерфейсів послідовного типу; по-друге, передачу сигналів на фізичному рівні диференціальним способом екранованими витими парами; нарешті, для мінімізації паразитного електромагнітного випромінювання (завад) та потужності споживання, зменшення рівнів сигналів інтерфейсу.

Аналіз існуючих інтерфейсів показав, що найпоширенішим в космічній апаратурі є інтерфейс CAN. Це зумовлено його високими експлуатаційними характеристиками. Інтерфейс CAN дуже зручний для вирішення задач управління, але не може забезпечити необхідної для високоінформативних приладів швидкості передачі даних, бо вона не перевищує 1 Мбіт/с.

Відносно недавно (1996 р.) було розроблено нову технологію передачі диференціальних сигналів з малими напругами – LVDS (Low Voltage Differential Signaling). Інтерфейс LVDS використовує диференційну передачу сигналів з сигнальними рівнями до 400 мВ і підходить як для з'єднання між платами у модулі, так і для міжмодульного з'єднання на відстані 10 м і більше. Визначена стандартом максимальна швидкість передачі даних складає 655 Мбіт/с. Характеристики інтерфейсу LVDC приведені в [4]. Недоліком LVDS є необхідність великої кількості ліній передачі сигналів при підключенні НП, які вимагають складного управління.

Якщо прийняти до уваги те, що потоки даних, які передаються між НП та центральним блоком СЗНІ, є нерівномірними (у напрямку від ЦБ до НП вони суттєво менші), то виглядає доцільним об'єднати ці два типи інтерфейсів. Таким чином, для підключення наукових приладів розробляється комбінований інтерфейс на основі CAN-шини для керування приладами та високошвидкісного послідовного LVDS-каналу для передачі основного потоку даних від НП до центрального блоку. У випадках підключення НП середньої та малої інформативності швидкісний канал просто не буде задіяний. Структурну схему підключення НП до ЦБ СЗНІ з використанням комбінованого інтерфейсу показано на рис. 3.

Для виконання вимог щодо реконфігурованості СЗНІ під різні космічні експерименти з застосуванням уже готових НП, передбачено реалізацію підтримки різних типів інтерфейсів на апаратному рівні в основному у вигляді ядер (на мовах опису апаратури VHDL або Verilog) для програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС).

Важливим питанням при створенні СЗНІ є реалізація запам'ятовувального пристрою. В даній СЗНІ запам'ятовувальний пристрій реалізовано з використанням динамічної пам'яті. Хоча збереження інформації в ній є енергозалежним, вона має ряд суттєвих переваг щодо використання в бортовій космічній апаратурі. Це достатній об'єм (до 512 Мбіт в одному корпусі); задовільні масогабаритні характеристики, особливо при використанні мобільних мікросхем пам'яті; низька потужність споживання; можливість перемикання в енергозбережений режим; висока швидкодія (100 МГц і більше); низька ціна; вища в порівнянні з флеш-пам'яттю радіаційна стійкість.

Структурну схему запам'ятовувального пристрою, який побудовано з використанням динамічної пам'яті, наведено на рис. 4. Вона містить два вузли: контролер, що реалізований на базі ПЛІС, і запам'ятовувальний масив. Останній виконано на SD-RAM, ємністю 256 Мбіт (32Mword \times 8bit). Весь масив поділено на 32 секції, по 128 Мбайт в кожній. Шина даних масиву 32 біти (4 \times 8 біт) і шина адреси — 32 біти. Секціонування масиву дозволяє відключати певні секції в разі їхнього невикористання

для економії енергії (динамічне конфігурування) та відключати секції у випадку виходу з ладу мікросхеми. Управління живленням покладено на вузол управління живленням та ключі K1-K32, які розташовано за межами ПЛІС.

Контролер SD-RAM призначено для генерації адресів і необхідних керуючих сигналів, регенерації пам'яті, а також розкиду даних за різними адресами. Дешифратор секцій дозволяє вибір однієї з 32 секцій. Вузол тестування забезпечує тестування за пам'ятовувального пристрою при включенні живлення і під час роботи. EDAC – вузол, який виконує кодування 8-розрядних даних за алгоритмом Хеммінга. Передбачено такі режими його роботи: визначення і виправлення одинарних помилок; виправлення одинарних і детектування подвійних помилок; визначення і виправлення подвійних помилок. Загальний об'єм пам'яті, що необхідний для збереження інформаційних і контрольних бітів, становить 4 Гбайти.

Для адресації такого об'єму пам'яті використано метод "вікна", згідно з яким додаткові 8 розрядів адресної лінії формуються регістром адресу. Ширина вікна становить від 8 до 64 кбайт.

Роботою всіх вузлів контролера керує пристрій керування. До його складу, крім регістра адреси, входять лічильники одинарних і подвійних помилок, які ведуть їх облік, та базовий регістр вікна. Базовий регістр вікна задає положення вікна в адресному просторі. А регістр адреси містить адресу у вікні.

Для стикування СЗНІ з бортовими системами КА розробляються схеми з використанням як релейних засобів, так і інтерфейсів CAN, RS-485. Остаточний вибір варіантів і доробка вузлів стикування з системами КА будуть виконуватись при створенні СЗНІ для конкретних космічних експериментів.

1. Гобчанский О. П., Попов В. Д., Николаев Ю. Повышение радиационной стойкости промышленных средств автоматики в составе бортовой аппаратуры // Современные технологии автоматизации. – 2001. – №4.
2. <http://www.pc104.org>
3. Лукенюк А. А., Глухов В. С., Шендерук С. Г. Використання реконфігурованих елементів у бортових системах збору й обробки інформації (див. даний збірник).
4. Parkes С. М. High-speed, low-power, excellent EMC: LVDS for on-board data handing. http://klabs.org/richcontent/Reports/lvds_study.pdf
5. Гончаров Ю. Интерфейс LVDS и его применение // Компоненты и технологии. – 2001. - № 3, 4.

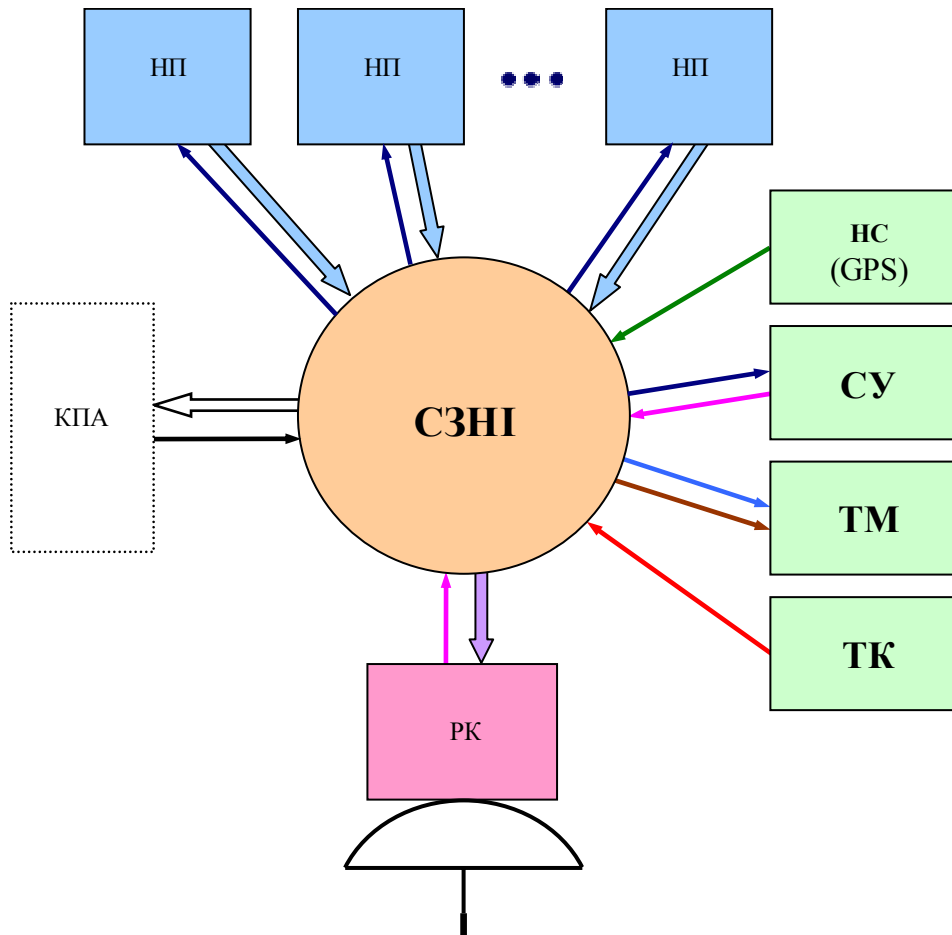


Рис. 1. Інформаційна модель бортової системи збору даних

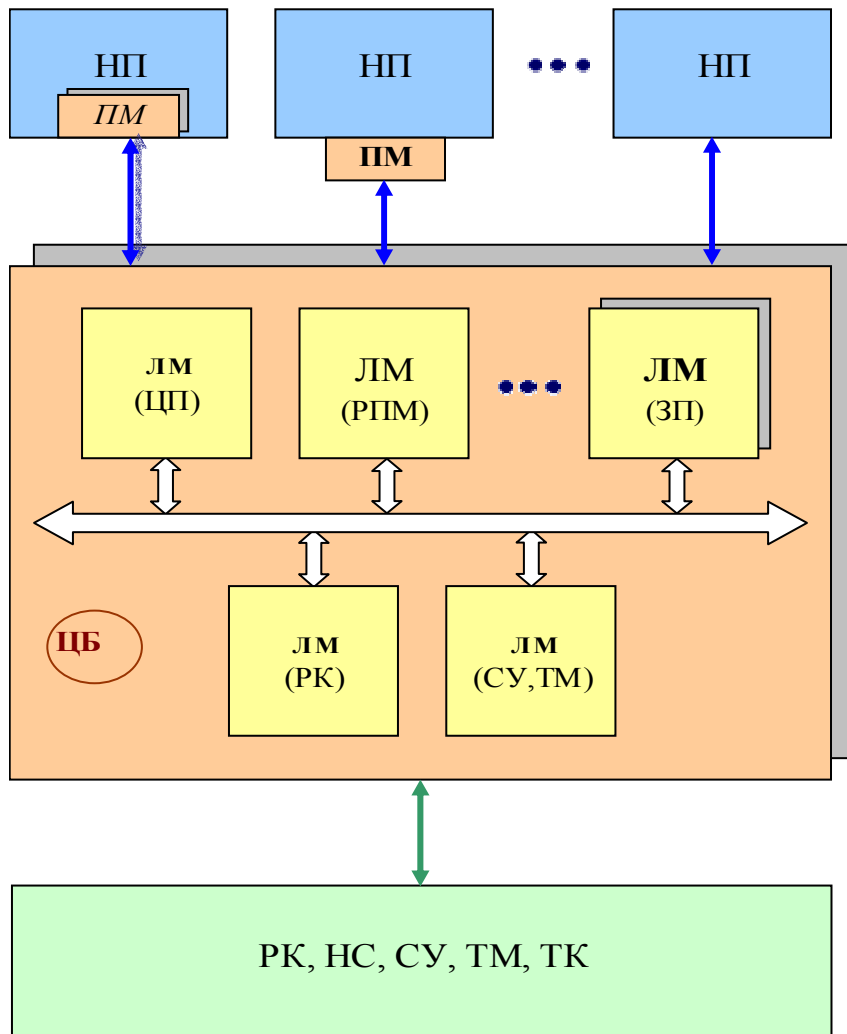


Рис. 2. Структура СЗНІ (схема)

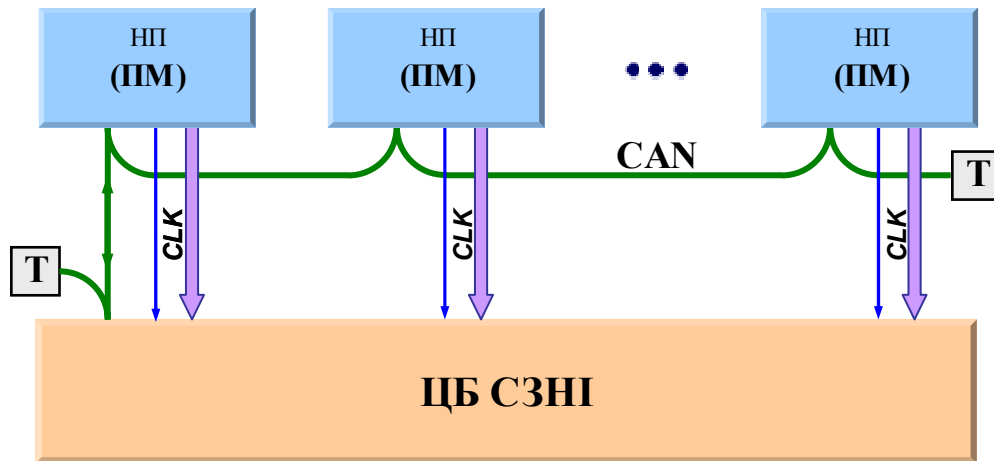


Рис. 3. Структурна схема підключення НП до ЦБ СЗНІ з використанням комбінованого інтерфейсу

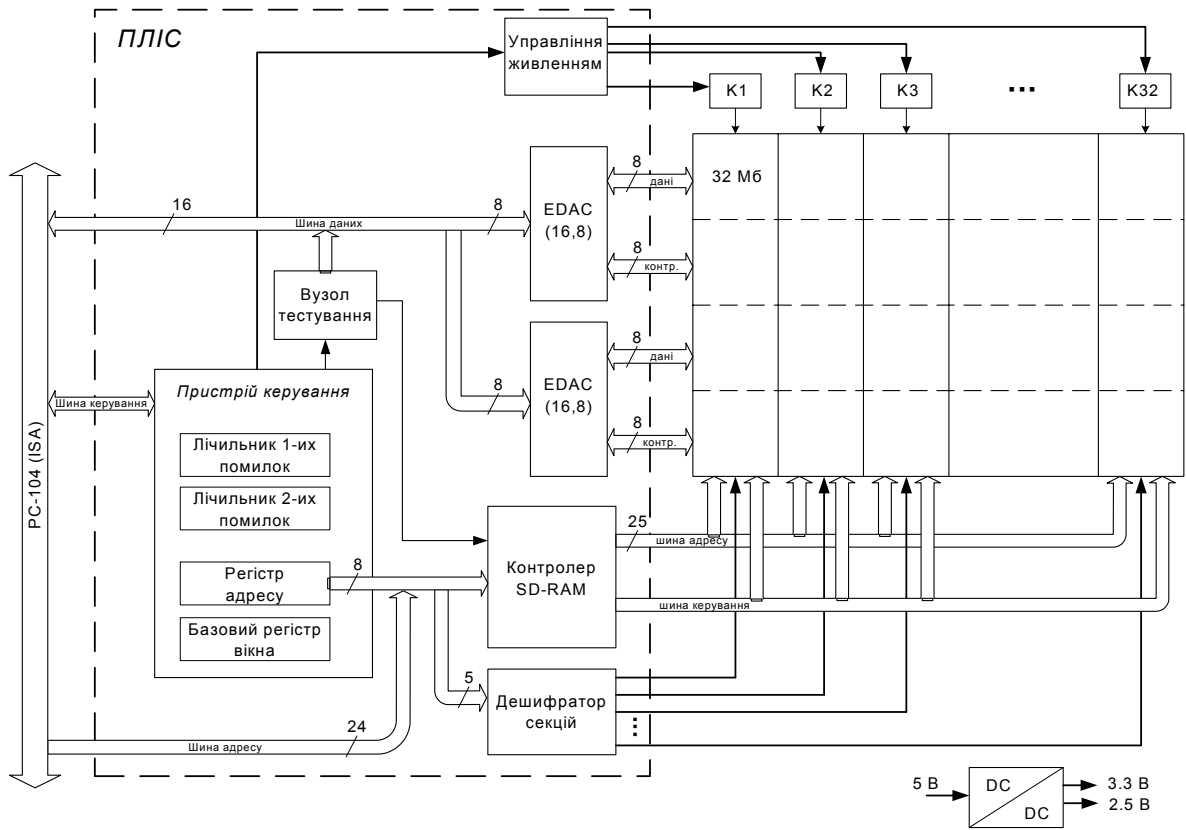


Рис. 4. Структурна схема запам'ятовуючого пристрою