

Олександр Юрійович Пермяков (д-р техн. наук, професор, начальник інституту)

Юрій Борисович Прібилєв (канд. техн. наук, доцент, начальник кафедри)

Олександр Віталійович Дудко (старший офіцер навчальної частини)

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ БОРТОВИХ ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

У статті запропонований метод підвищення метрологічної надійності електронних засобів вимірювань бортових інформаційно-вимірювальних систем космічних апаратів дистанційного зондування Землі з урахуванням температури їх експлуатації.

Моделювання метрологічних характеристик вимірювального приладу, з урахуванням внесених до нього змін, дозволяє отримати кращі значення його метрологічного ресурсу після заміни складових елементів з кращими характеристиками температурно-часової стабільності.

Ключові слова: метрологічна надійність, метрологічний ресурс, бортові інформаційно-вимірювальні системи, космічний апарат дистанційного зондування Землі.

Постановка проблеми

На сьогодні Україна має значний науковий і виробничий потенціал у галузі створення та використання систем дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Перший крок було зроблено у 1995 році, коли на навколосезну орбіту вивели космічний апарат (КА) “Січ-1” зі знімальною апаратурою, що дозволяла проводити оптичну та радіолокаційну зйомку. Кращі технічні, ресурсні та інформаційні характеристики мав наступний КА – “Океан-О”, виведений на орбіту у 1999 році. Він поєднував дослідницьку радіолокаційну, радіометричну, оптико-електронну апаратуру, засоби оперативного збору та передачі даних. Ще один КА “Січ-1М” є удосконаленим варіантом платформи супутника КА “Січ-1” з комплексом знімальної та зондувальної апаратури.

Новий супутник ДЗЗ МС-2-8 у складі космічної системи “Січ-2”, запущений 17 серпня 2011 року, був створений на сучасному технологічному та інформаційному рівні. Супутник розроблений на базі нової мікроплатформи “МС-2” та зібраний в негерметичному виконанні з широким використанням полімерних та композиційних матеріалів. Бортову апаратуру КА розроблено на базі мікротехнологій, управління підсистемами КА здійснювалось засобами бортового обчислювального комплексу. Фахівці визначили гарантійний термін активного функціонування “Січ-2” – 5 років [1]. Але 12 грудня 2012 року зв'язок з цим КА був втрачений. За цим фактом Державним космічним агентством України було створено спеціальну комісію з визначення причин виникнення несправності на борту КА, за наслідками роботи якої встановлена неможливість подальшого використання цього КА у зв'язку з остаточною втратою енергопостачання. Система електропостачання КА призначена для забезпечення живлення бортової апаратури при роботі на орбіті та побудована за традиційним принципом прямої передачі електроенергії від генератора (сонячна батарея) до навантаження (акумуляторна батарея). Жорсткі температурні умови роботи акумуляторних батарей призвели до поступового виходу з ладу їх складових – хімічних елементів та, як наслідок, до повного припинення енергопостачання КА.

На розроблення, виробництво та виведення на орбіту було витрачено близько 90 млн грн, і тільки частину цієї суми було повернено страховими компаніями. У складі бортових інформаційно-управляючих систем будь-якого сучасного КА є інформаційно-вимірювальні системи. Тому питання надійності, зокрема, метрологічної надійності бортової апаратури КА, є виключно актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Оцінювання метрологічної надійності засобів вимірювань інформаційно-вимірювальних систем дозволяє визначити значення похибки засобу вимірювання в довільний момент часу [2]. Завдяки спектральному опису динаміки похибки засобу вимірювання запропонований метод дозволяє обчислити сумарну випадкову складову його похибки в будь-якому діапазоні частот [2]. Але за допомогою цього методу неможливо визначити метрологічну надійність досліджуваного засобу вимірювання з урахуванням процесів старіння комплектуючих елементів.

Інший метод оцінки метрологічної надійності електронних засобів вимірювань заснований на статистичному моделюванні стану метрологічних характеристик аналогових блоків досліджуваного засобу вимірювання в різних часових перетинах з використанням відомостей про часову зміну параметрів комплектуючих елементів [3]. Недоліком цього методу є відсутність обліку впливу зовнішніх факторів, а також неможливість вжиття заходів щодо підвищення метрологічної надійності засобів вимірювання з урахуванням умов експлуатації.

Мета статті

Метою даної статті є розроблення методу оцінки та підвищення метрологічної надійності електронних засобів вимірювань бортових інформаційно-управляючих систем космічних апаратів дистанційного зондування землі з урахуванням температури їх експлуатації.

Виклад основного матеріалу дослідження

Пропонується зі складу бортових інформаційно-управляючих систем КА виділити аналогові блоки, що входять у вимірювальний

канал. З практики експлуатації засобів вимірювань відомо, що домінуючими серед загальної кількості відмов (більше 80 %) для них є поступові відмови, які найбільш характерні для аналогових блоків і характеризуються монотонною зміною в часі їх метрологічних характеристик [2]. Будемо використовувати відносну похибку засобу вимірювання як найбільш поширену для засобів вимірювань метрологічну характеристику.

Для кожного аналогового блоку запропонована математична модель функціонування, що характеризує залежність вихідного сигналу y від значення вхідного сигналу x , параметрів елементної бази та зовнішніх факторів, що впливають на його функціонування:

$$y = F_1(x, \vec{\xi}, \vec{\Phi}), \quad (1)$$

де $\vec{\xi} = \{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n\}$ – вектор параметрів комплектуючих елементів блоку засобів вимірювання; $\vec{\Phi} = \{\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n\}$ – вектор зовнішніх впливаючих факторів.

Для вивчення метрологічних властивостей блоків необхідно мати аналітичні вирази для досліджуваної метрологічної характеристики S , тому математичну модель функціонування перетворюють до вигляду:

$$S = F_2(x, \vec{\xi}, \vec{\Phi}). \quad (2)$$

Враховуючи як основний зовнішній впливаючий чинник середню температуру елементів θ , що перевищує нормальну температуру експлуатації, а також залежність параметрів елементів від часу експлуатації t , за умови сталості інших зовнішніх факторів отримують математичну модель метрологічної характеристики у вигляді такої аналітичної залежності:

$$S(t) = F_3[x, \vec{\xi}, (\theta, t)]. \quad (3)$$

Умова збереження метрологічної справності блоку в часі при довільній температурі експлуатації визначається нерівністю:

$$|S(t)| < |S_{\text{доп}}|, \quad (4)$$

де $S_{\text{доп}}$ – допустиме значення нормованої метрологічної характеристики.

Далі проводиться статистичне моделювання стану метрологічних характеристик досліджуваних блоків, яке полягає в послідовності моделювання з урахуванням залежних від температури процесів старіння параметрів елементів схеми з нормальним законом їх розподілу в кожному часовому періоді галузі контролю T_1 , $t_i \in T_1$, $i = 0, 1, \dots, k$, що підтверджується загальною властивістю процесів старіння і далі – моделюванні реалізації метрологічних характеристик блоків у різних часових перетинах $S(t_i)$, $i = 0, 1, \dots, k$. При цьому зміна параметрів елементів з урахуванням температури їх експлуатації обчислюється за такою формулою:

$$\xi_j(\theta, t_i) = \xi_j^0 \{1 + \beta_j t_i [1 + \gamma_\theta (\theta - 20)]\} (1 + \alpha_j \theta), \quad (5)$$

$$j = 1, 2, \dots, n,$$

де ξ_j^0 – номінальне значення параметра j -го елемента; β_j – коефіцієнт старіння елемента;

λ_θ – темп старіння елементів з урахуванням температури; α_j – температурний коефіцієнт параметра елемента; n – число елементів у блоці.

Далі за допомогою методів інтерполяції за отриманими в області контролю T_1 значенням

метрологічних характеристик $S(t_i)$ кожного аналогового блоку створюються математичні моделі процесів зміни у часі метрологічних характеристик, що становлять сукупність аналітичних залежностей, отриманих для функцій зміни в часі математичного очікування досліджуваної метрологічної характеристики

$m_s(t)$ і $\psi_{\pm\sigma}(t_i)$, що характеризують зміну в часі меж відхилення можливих значень метрологічної характеристики від її математичного сподівання, що визначаються виразом:

$$\psi_{\pm\sigma}(t) = m_s(t) \pm c\sigma_s(t) \quad (6)$$

де c – постійний коефіцієнт обраний залежно від заданого рівня довірчої ймовірності P і закону розподілу метрологічної характеристики (на практиці вибирається $c = 3$ при рівні довірчої ймовірності $P = 0,997$ і нормальному законі розподілу метрологічних характеристик);

$\sigma_s(t)$ – значення середньоквадратичного відхилення метрологічної характеристики.

Екстраполяція залежностей $m_s(t)$ і $\psi_{\pm\sigma}(t_i)$, що визначають математичну модель зміни в часі досліджуваної метрологічної характеристики на область майбутньої експлуатації \dot{O}_2 (область прогнозу), враховуючи умову збереження метрологічної справності (4), дозволяє дати оцінку часу настання метрологічної відмови або величини метрологічного ресурсу, що визначається часом безвідмовної в метрологічному відношенні роботи аналогового блоку (θ, t_p) (1).

У математичній моделі аналогового блоку виділяються елементи, збільшення або зменшення в часі параметрів яких викликає найбільшу зміну значень метрологічної характеристики. Виділення цих елементів здійснюється за величиною нормованої приватної похідної виду:

$$G(\xi_j) = \frac{\bar{G}(\xi) \sigma_{\xi_j}}{\sqrt{\sum_j \bar{G}^2(\xi_j) \sigma_{\xi_j}^2}}, \quad j = 1, \dots, n, \quad (7)$$

де $G(\xi_j) = \left| \frac{\partial S}{\partial \xi_j} \right|$ – значення приватних похідних,

обчислених за номінальним значенням параметрів відповідних комплектуючих елементів блоку;

ξ_j – параметри комплектуючих елементів блоку;

σ_{ξ_j} – середньоквадратичне відхилення параметра J -го комплектуючого елемента блоку.

Далі виділену групу елементів ділять на дві підгрупи по напрямленню впливу – в одній об'єднують елементи ξ_{1n1} , температурно-часова зміна номіналу яких призводить до зростання значення метрологічної характеристики блоку, в

іншій – елементи ξ_{2n2} із зворотним впливом, що призводить до спадання значень метрологічної характеристики.

Зберігаючи функціональну цілісність схеми і працездатність аналогового блоку та виходячи з умови найбільшої компенсації сумарного впливу функцій температурно-часового старіння параметрів радіоелементів на зміну значень метрологічної характеристики блоку, здійснюють перебір варіантів заміни одного або декількох елементів в одній або обох підгрупах на інші, знову виконавши моделювання стану метрологічної характеристики для досліджуваного блоку з урахуванням нових характеристик температурно-часової зміни параметрів, уведених в схему елементів, і, виходячи з умови збереження метрологічної справності блоку в часі (4), отримують нове значення його метрологічного ресурсу $t_{P_{kop}}$ екстраполяцією залежностей

$$m_{S_{kop}}(t) \text{ і } \psi_{\pm\sigma_{kop}}(t).$$

Отриманий метрологічний ресурс буде значно більшим за знайдений через зниження темпу зміни в часі значень метрологічної характеристики при довільній температурі експлуатації засобу вимірювання. Після знаходження варіанта заміни,

що забезпечує найбільшу компенсацію сумарного впливу функцій температурно-часового старіння параметрів радіоелементів на зміну значень метрологічної характеристики блоку, проводиться відповідна заміна елементів досліджуваного блоку.

Аналогічну процедуру проводять для інших аналогових блоків, що входять у вимірювальний канал засобу вимірювання. Визначають значення метрологічного ресурсу кожного блоку, а за метрологічний ресурс засобу вимірювання в цілому приймають мінімальний із знайдених метрологічних ресурсів усіх розглянутих аналогових блоків.

Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, новим методом вирішена задача оцінки та підвищення метрологічної надійності засобів вимірювань бортових інформаційно-управляючих систем космічних апаратів дистанційного зондування землі з урахуванням температури їх експлуатації. Моделювання стану метрологічної характеристики досліджуваного блоку з урахуванням внесених до нього змін дозволило отримати нове значення його метрологічного ресурсу.

Література

1. Космічна система “Січ-2”: завдання та напрями використання – К. : ДКАУ, 2011. – 48 с. 2. Новицкий П. В. Динамика погрешностей средств измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф, В. С. Лабунец – Л. :

Энергоатомиздат, 1990. – 192 с. 3. Мищенко С. В. Метрологическая надежность измерительных средств / С. В. Мищенко, Э. И. Цветков, Т. И. Чернышева – М. : Машиностроение, 2001. – 96 с.

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ БОРТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

*Александр Юрьевич Пермяков (д-р техн. наук, профессор, начальник института)
Юрий Борисович Прибылев (канд. техн. наук, доцент, начальник кафедры)
Александр Витальевич Дудко (старший офицер учебной части)*

Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев

В статье предложен метод повышения метрологической надежности электронных средств измерений бортовых информационно-управляющих систем космических аппаратов дистанционного зондирования Земли с учетом температуры их эксплуатации.

Моделирование метрологических характеристик измерительного прибора, с учетом внесенных в него изменений, позволяет получить лучшее значение его метрологического ресурса после замены составляющих его элементов с лучшими характеристиками температурно-временной стабильности.

Ключевые слова: метрологическая надежность, метрологический ресурс, бортовые информационно-управляющие системы, космический аппарат дистанционного зондирования Земли.

THE METHOD OF INCREASING METROLOGICAL RELIABILITY OF MEASURING INSTRUMENTS OF ONBOARD INFORMATION AND CONTROL SYSTEMS OF REMOTE SENSING SPACECRAFT

*Olexander Permyakov (Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief of an Institute)
Yuri Pribylev (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Chief of a Department)
Olexander Dudko (Senior Officer of an Educational Section)*

National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv

The article proposes a method of increasing the reliability of metrological measurements of airborne electronic information management systems of space vehicles of remote sensing by the temperature of their operation. New way solved the problem of evaluating and enhancing the metrological reliability of measuring instruments onboard information control systems of spacecraft remote sensing based on the temperature of operation.

Modeling of the metrological characteristics of the unit, taking into account any changes made to allow a new value of its metrological resource. After a suitable replacement of these elements in a block similar procedure is carried out for other analog blocks included in the measuring channel measurement, and metrology resource means the measurement in general are found as the minimum of the values of metrological resources all analog blocks.

Key words: metrological reliability, metrology resource onboard information and control systems, spacecraft remote sensing.