

УДК 621.396.664

В.В. Воротніков

*Житомирський військовий інститут ім. С.П.Корольова Національного авіаційного університету, Житомир*

## МЕТОДИКА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ЗА ІНФОРМАЦІЙНО-СТАТИСТИЧНИМ КРИТЕРІЄМ

*В запропонованій методиці використано узагальнений критерій оцінки ефективності функціонування інформаційно-вимірювальних систем (ІВС), що враховує ймовірність безвідмовної роботи підсистем об'єкта контролю, інформаційну здатність самої ІВС, помилки контролю I і II роду, об'єми інформації від первинних параметрів, що вимірюються прямим і непрямым способом.*

**Ключові слова:** космічні інформаційні системи, космічний апарат, інформаційно-вимірювальна система, бортова телеметрична система, інформаційна здатність, точність контролю.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Відомо, що з підвищенням складності та рівня функціональної реалізації складних космічних інформаційних систем (КІС), відповідальності завдань, що вони розв'язують, зростає роль автоматизованих систем контролю для визначення працездатності підсистем КІС та прогнозування їх технічного стану на певний відрізок часу.

Системи контролю, досліджувані в даній роботі відносяться до класу інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) які, у свою чергу, входять складовою частиною до автоматизованих космічних інформаційних систем. Аналіз подібних систем показує, що одним з основних показників якості практично всіх ІВС вважають їхню точність, найчастіше оцінювану погрішністю. Ця погрішність залежить від умов експлуатації і структури параметрів, що контролюються. Крім того, задача контролю працездатності ускладнюється необхідністю постійного спостереження за двома основними складовими ефективності системи: інформаційною і точністю.

За результатами роботи ІВС, аналізу статистичної інформації про стан підсистем КІС, одержуваної в ході процесу контролю первинних параметрів приймається рішення про технічний стан об'єкта контролю в цілому. Для складних інформаційних систем, що працюють в реальному масштабі часу детальний аналіз вимірюваної інформації здійснюється, як правило, після закінчення процесу контролю. У результаті ідентифікація аварійних ситуацій технічного об'єкта проходить із запізненням.

Тому, актуальною є задача підвищення інформаційною здатності ІВС за результатами експлуатації КІС при збереженні точнісних показників.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** [2 – 4, 9] свідчить, що для КІС вимоги до параметрів призначення формуються в ТЗ і ТУ, як показники якості і допуски на них

$$K_{jH} \leq K_j \leq K_{jB}, j = 1, 2, \dots, m, \quad (1)$$

де  $K_{jH}, K_{jB}$  – відповідно нижня і верхня границі зміни  $j$ -го показника якості.

Виконання умови (1) під час заданого терміну експлуатації апаратури досягається з однієї сторони за рахунок використання високонадійних (і отже дорогих) комплектуючих елементів, а з іншої, за рахунок організації контролю (керування показниками якості). Перший шлях далеко не завжди прийнятний, тому що веде до різкого зростання ціни апаратури. Тому для забезпечення (1) формують вектор контрольованих параметрів:

$$X = X(X_1, X_2, \dots, X_n)^T. \quad (2)$$

Для взаємозв'язку між показниками якості  $K = (K_1, K_2, \dots, K_j, \dots, K_m)^T$  і контрольованими параметрами визначають модель об'єкта контролю [1 – 5]:

$$K = \phi(X, B), \quad (3)$$

де  $B = (B_1, B_2, \dots, B_k)$  – вектор, що характеризує фактори зовнішніх умов у момент експлуатації і проведення контролю. Якщо ж, безпосередньо параметри вектора  $X$  не піддаються вимірам, то здійснюється перехід до контрольованих характеристик [1].

Враховуючи те, що ІВС в першу чергу призначено для вимірювань значень первинних параметрів та, на підставі аналізу [6 – 7, 10], як критерії ефективності ІВС, під час її проектування обирають абсолютні критерії, що враховують інформаційну здатність та вартість таких систем:

$$E_1(t, \tau_k) = K_1(t, \tau_k) / K_{10}(t, \tau_k), \quad (4)$$

де  $K_1(t, \tau_k) = I_{MAX}(t, \tau_k) / C_1(t, \tau_k)$  – показник ефективності спроектованої ІВС;  $K_{10}(t, \tau_k)$  – показник ідеальної ІВС, що контролює всі первинні параметри;  $\tau_k$  – час контролю; максимальна інформація про стан систем за умови використання однотипних датчиків визначається як:

$$I_{MAX}(t, \tau_k) = \sum_{i=1}^m I_{iMAX}(t, \tau_k).$$

**Метою роботи** є урахування встановленої на етапі експлуатації інформаційної надмірності вимірювань первинних параметрів, за рахунок об'єктивно існуючих стохастичних зв'язків вищих порядків між ними, для визначення інформаційної здатності ІВС та її оцінки ефективності в цілому.

### Виклад основного матеріалу

Для досягнення поставленої мети пропонуються наступні **етапи методики**.

1. Визначення кількості інформації, що отримують під час контролю первинних параметрів [2, 5 – 7, 10]:

$$I(t, \tau_k) = H_0(t, \tau_k) - H(t, \tau_k), \quad (5)$$

де  $H_0(t, \tau_k)$  – ентропія технічного стану об'єкта до контролю,  $H(t, \tau_k)$  – ентропія технічного стану об'єкта після контролю (рис. 1).

Потенційна і реальна інформація, що може бути отримана в результаті контролю працездатності об'єкта:

$$I_n(t, \tau_k) = H_0(t, \tau_k), \quad I_p(t, \tau_k) = H_0(t, \tau_k) - H(t, \tau_k).$$

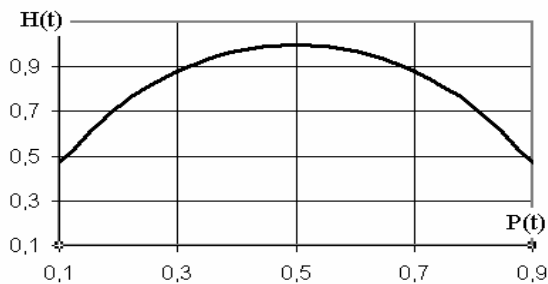


Рис. 1. Ентропія технічного стану об'єкта контролю

2. Встановлення стохастичних зв'язків між первинними параметрами підсистем об'єкта контролю і оцінювання помилок відновлення значень первинних параметрів, що вимірюються побічно [2 – 3, 5]:

$$Y = \eta(X), X \in R^n, Y \in R^n, \quad (6)$$

де  $X \in R^n, Y \in R^n$  – множини первинних параметрів, що визначені у  $n$ -вимірному евклідовому просторі (всіх та відібраних для контролю, відповідно). Етап встановлення стохастичних зв'язків пропонується реалізувати за допомогою методу групового врахування аргументів [2 – 3].

На рис. 2 наведені ненормовані функції щільностей розподілу випадкових величин: вимірив первинного параметру та похибок засобу вимірювання в обраних граничних значеннях меж допусків: 1 – вимірив первинного параметру; 2 – похибок засобів вимірювання; 3 – помилок II роду; 4 – помилок I роду. Для даного випадку дисперсія похибки засобу вимірювання у 1,5 разів менша дисперсії контрольованого параметру.

3. Оптимізація цільової функції області стійкого контролю по структурах первинних параметрів, визначених на етапі експлуатації об'єкта контролю [1, 8, 10]:

$$F_{II}(\delta) = C_\alpha \cdot \alpha_g(\delta) + C_\beta \cdot \beta_g(\delta), \quad (7)$$

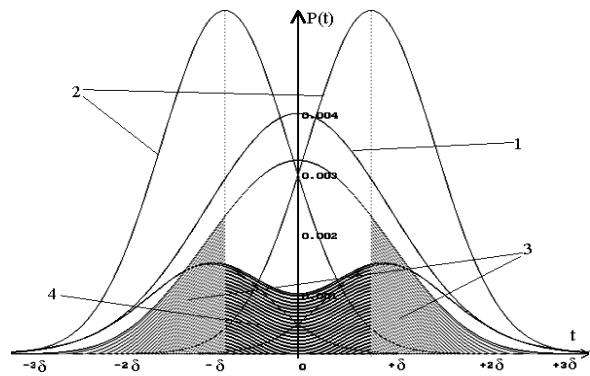


Рис. 2. Ненормовані функції щільностей розподілу випадкових величин

при обмеженнях:  $\alpha_g(\delta) \leq \alpha_{g\text{доп}}$ ,  $\beta_g(\delta) \leq \beta_{g\text{доп}}$  доп де  $C_\alpha, C_\beta$  – вартість помилок контролю I та II роду,  $\alpha_g(\delta), \beta_g(\delta)$  – помилки контролю I та II роду, відповідно;  $\delta$  – інтегральна точність вимірювань.

Для умовної ймовірності правильного оцінювання:

$$P_{\text{пр}}(t, \tau_k) = \frac{(1 - \alpha(t, \tau_k)) \cdot P_0(t, \tau_k)}{(1 - \alpha(t, \tau_k)) \cdot P_0(t, \tau_k) + (1 - P_0(t, \tau_k)) \cdot \beta(t, \tau_k)},$$

при експоненціальному розподілі безвідмовної роботи підсистем об'єкта контролю:  $P_0(t, \tau_k) = \exp(-\lambda \cdot t)$ , де  $\lambda$  – інтенсивність відмов об'єкта, цільова функція має чітко виражений екстремум (рис. 4).

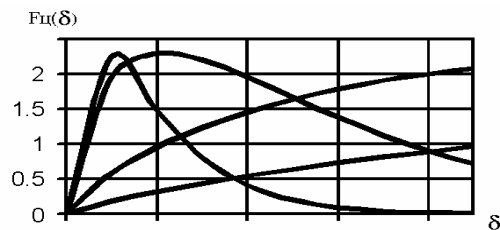


Рис. 3. Цільова функція  $F_{II}(\delta)$

4. Визначення кількості інформації, що отримують за рахунок встановлених стохастичних зв'язків між первинними параметрами [2, 5]:

$$H_i(t, \tau_k) = -\{P_i(t, \tau_k) \cdot \log_2 P_i(t, \tau_k) + [1 - P_i(t, \tau_k)] \cdot \log_2 [1 - P_i(t, \tau_k)]\}. \quad (8)$$

Тоді, ентропію після прямих та непрямих вимірювань буде визначено, як:

$$H(t, \tau_k) = \sum_{i=1}^{m-n} (H_{0i}(t, \tau_k) - H_i(t, \tau_k)) + \sum_{j=1}^n (H_{0j}(t, \tau_k) - H_{Bj}(t, \tau_k)),$$

де  $m$  – загальна кількість первинних параметрів;  $n$  – кількість параметрів значення яких можна відновити за рахунок встановлених на стохастичних зв'язків;  $H_{Bj}(t, \tau_k)$  – ентропія технічного стану об'єкта контролю після непрямих вимірювань.

5. Оцінка ефективності функціонування ІВС за інформаційно-статистичним критерієм з урахуванням параметричної надмірності:

$$W^*(t, \tau_k) = \frac{\sum_{i=1}^{m-n} (H_{0i}(t, \tau_k) - H_i(t, \tau_k)) + \sum_{j=1}^n (H_{0j}(t, \tau_k) - H_{Bj}(t, \tau_k))}{\sum_{i=1}^{m-n} (V_i(t, \tau_k))}; \quad (9)$$

де  $V_i = v_i \cdot \tau_k$  – об'єм інформації, отриманий після вимірювань  $i$ -ого датчика за час контролю  $\tau_k$  із частотою  $v_i$ .

Абсолютне значення показника ефективності, при  $v_i \cdot \tau_k = 1$ , буде визначено, як:

$$\frac{W^*}{W} = \sum_{i=1}^{m-n} (H_{0i}(t, \tau_k) - H_i(t, \tau_k)) + (m-n) \cdot \left( \sum_{j=1}^n (H_{0j}(t, \tau_k) - H_{Bj}(t, \tau_k)) \right) : \left( \sum_{i=1}^m (H_{0i}(t, \tau_k) - H_i(t, \tau_k)) \right).$$

6. Дослідження і оптимізація процесу функціонування ІВС, з урахуванням параметричної надмірності і формування практичних рекомендацій.

Якщо на етапі експлуатації технічного об'єкта не встановлено стохастичні зв'язки між його первинними параметрами,  $n=0$ :

$$\frac{W^*}{W} = \frac{\sum_{i=1}^m (H_{0i}(t, \tau_k) - H_i(t, \tau_k)) + (m) \cdot 0}{\sum_{i=1}^m (H_{0i}(t, \tau_k) - H_i(t, \tau_k))} = 1,$$

для досліджуваної ІВС за рахунок інформаційної надмірності первинних параметрів не можливо підвищити ефективність її використання. Якщо ж, такі зв'язки між параметрами встановлено,  $n \neq 0$ , ефективність застосування такої ІВС можливо підвищити на значення  $n \cdot I_B / ((m-n) \cdot I)$  (для однотипних датчиків):

$$\frac{W^*}{W} = \frac{((m-n) \cdot I + n \cdot I_B) \cdot m \cdot V}{(m-n) \cdot V \cdot m \cdot I} = 1 + \frac{n \cdot I_B}{(m-n) \cdot I}.$$

Працездатність синтезованої методики було перевірено на прикладі оцінки ефективності бортової телеметричної системи КА «Січ-1» за результатами післясеансної обробки телеметричної інформації

Для аналізу було відібрано 25 телеметричних параметрів бортових систем забезпечуючого комплексу космічного апарата (БС КА) (рис. 4 – 6).

По розширеній виборці значень телеметричних параметрів за критеріями регулярності і мінімуму зміщення [2 – 3, 5] були сформовані структури регресій для наступних ТМП:

$$\begin{aligned} T8(t) &= 5,318013 - 0,629075 \cdot \text{РЛ2}(t) \cdot \text{T13}(t) + \\ &+ 0,012770 \cdot \text{РЛ2}(t) \cdot \text{ДГ2}(t) - 0,011651 \cdot \text{T66}(t) \cdot \text{T88}(t); \\ N_{\text{REG}} &= 0,002798; \quad N_{3\text{М}} = 0,044104; \quad N = 0,044192; \\ T13(t) &= 0,944395 \cdot \text{T36}(t) - \\ &- 6,349311 \cdot \text{T88}(t) \cdot \text{T25}(t) + 0,157721 \cdot \text{T88}(t) \cdot \text{ДГ2}(t); \end{aligned}$$

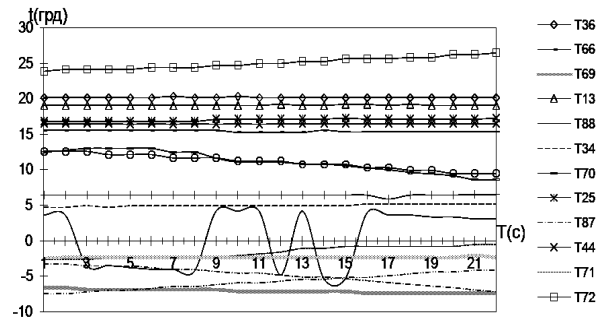


Рис. 4. Діаграми змін температурних датчиків БС КА

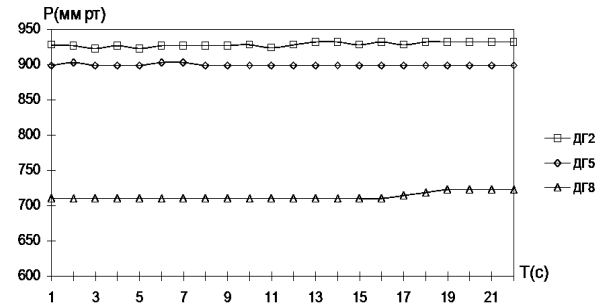


Рис. 5. Діаграми змін датчиків тиску БС КА

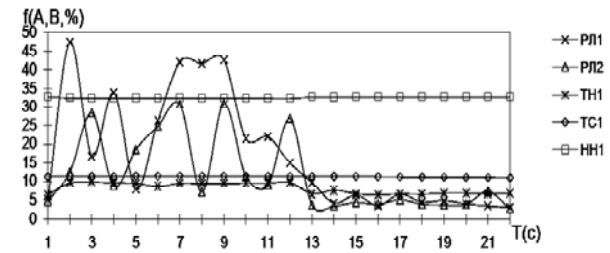


Рис. 6. Діаграми змін функціональних датчиків

$$N_{\text{REG}} = 0,005915; \quad N_{3\text{М}} = 0,196213; \quad N = 0,196302.$$

$$\begin{aligned} T23(t) &= -0,009711 + 0,106413 \cdot \text{РЛ2}(t) \cdot \text{ТС1}(t) + \\ &+ 5,387480 \cdot \text{НН1}(t) \cdot \text{T13}(t) + 0,558286 \cdot \text{T69}(t) \cdot \text{T88}(t) + \\ &+ 0,009639 \cdot \text{ДГ2}(t) \cdot \text{ДГ8}(t); \end{aligned}$$

$$N_{\text{REG}} = 0,000173; \quad N_{3\text{М}} = 0,028844; \quad N = 0,028844.$$

$$\begin{aligned} T25(t) &= -1,955490 \cdot \text{НН1}(t) + 1,058446 \cdot \text{T88}(t) + \\ &+ 0,028239 \cdot \text{T36}(t) \cdot \text{T70}(t) + \\ &+ 0,002476 \cdot \text{T66}(t) \cdot \text{ДГ5}(t) + 0,001457 \cdot \text{T44}(t) \cdot \text{ДГ5}(t); \end{aligned}$$

$$N_{\text{REG}} = 8,43 \cdot 10^{-8}; \quad N_{3\text{М}} = 1,25 \cdot 10^{-19}; \quad N = 8,43 \cdot 10^{-8}.$$

$$\begin{aligned} T36(t) &= -0,457480 \cdot \text{ДГ5}(t) + \\ &+ 0,015112 \cdot \text{РЛ2} \cdot \text{T25}(t) + 0,686091 \cdot \text{НН1}(t) \cdot \text{T13}(t); \end{aligned}$$

$$N_{\text{REG}} = 3,95 \cdot 10^{-5}; \quad N_{3\text{М}} = 2,32 \cdot 10^{-3}; \quad N = 0,002324.$$

$$\begin{aligned} T65(t) &= 0,517770 \cdot \text{ТС1}(t) \cdot \text{НН1}(t) - \\ &- 0,061674 \cdot \text{НН1}(t) \cdot \text{T13}(t) + \\ &+ 0,061104 \cdot \text{T66}(t) \cdot \text{T70}(t) - 0,336830 \cdot \text{T13}(t) \cdot \text{T72}(t); \end{aligned}$$

$$N_{\text{REG}} = 0,437589; \quad N_{3\text{М}} = 0,707405; \quad N = 0,831809.$$

$$\begin{aligned} T69(t) &= 0,348840 \cdot \text{T88}(t) \cdot \text{T73}(t) + \\ &+ 0,378324 \cdot \text{T88}(t) \cdot \text{T8}(t) - 0,075228 \cdot \text{T34}(t) \cdot \text{T25}(t); \end{aligned}$$

$$N_{\text{REG}} = 0,007272; \quad N_{3\text{М}} = 0,032056; \quad N = 0,032871.$$

Аналіз результатів досліджень свідчить про те, що між первинними параметрами БС КА існують стохастичні зв'язки. Встановлення структур телеметричних параметрів дозволила:

1. Пропонувати зменшити частоту опитування датчиків телеметричних параметрів, для яких встановлено структури регресій. З метою збереження інформативності вимірів розглянутої вибірки параметрів, значення параметрів  $T_8(t)$ ,  $T_{13}(t)$ ,  $T_{23}(t)$ ,  $T_{25}(t)$ ,  $T_{36}(t)$ ,  $T_{65}(t)$  і  $T_{69}(t)$  будуть відновлюватись в пункті прийому інформації. Зменшення частоти опитування 8-ми вказаних температурних датчиків системи вимірювання температури СИТ-9Л космічного апарату типу "Січ" дозволить зменшити об'єми ТМІ датчиків системи вимірювань температури КА, що передається на 24% [5].

2. Враховуючи припущення незалежності первинних параметрів, яке використовувалось при побудові системи контролю КА та виявлені реальні стохастичні зв'язки між ними, що з'ясувалось на етапі його експлуатації, встановити оптимальні допуски на первинні параметри. Встановлення оптимальних допусків на параметри, для яких буде змінена частота опитування датчиків, здійснюється з урахуванням середньоквадратичного відхилення помилки відновлення [1, 3, 4, 9], відомими чисельними методами.

### Висновки

Аналіз результатів обробки ТМІ свідчить про те, що реалізація запропонованої методики дозволяє:

1. Підвищити ймовірність правильного оцінювання технічного стану бортових систем КА на 12% [5].

2. Враховуючи припущення про незалежність первинних параметрів, яке використовувалось при проектуванні системи контролю БС КА та виявлені на етапі експлуатації стохастичні зв'язки між ними, зменшити кількість контрольованих параметрів та встановити оптимальні допуски на них.

3. Зменшити час на обробку інформації для прийняття рішення про стан бортових систем КА за

результатами післясеансної обробки телеметричної інформації.

### Список літератури

1. Воротніков В.В. Алгоритм оптимізації допускової області первинних параметрів складної інформаційної системи / В.В. Воротніков // Збірник наукових праць КВІ-ПІ. – 2003. – №5. – С. 36-45.
2. Пат. на винахід №56874А. МПК G06F17/00, G06F19/00. Спосіб діагностування технічних об'єктів за допомогою узагальнених параметрів / В.В. Воротніков, А.І. Бобунов, В.В. Пешковський; бюл. №5, 15.05.2003 р.
3. Коваленко М.В. Застосування МГВА для вибору узагальнених параметрів при синтезі систем контролю складних інформаційних систем / М.В. Коваленко, В.В. Воротніков // Вісник ЖІТІ. – 1998. – №9. – С. 110-116.
4. Коваленко М.В. Формування вектору первинних значущих параметрів для оцінки технічного стану складних інформаційних систем / М.В. Коваленко, В.В. Воротніков // Збірник наукових праць ЖВІ НАУ. – 2008. – № 1. – С. 63-69.
5. Воротніков В.В. Самоорганізуючий алгоритм прогнозування контролю технічного стану бортових систем КА / В.В. Воротніков // Збірник тез доповідей XIV наук.-техн. конф. і ЖВІРЕ. – 2004. – С. 64.
6. Куренков Н.И. Информационный критерий и его использование для решения задач обработки многомерных данных / Н.И. Куренков, С.Н. Ананьев // Информационные технологии. – 2007. – № 9. – С. 42-46.
7. Куренков Н.И. Энтропийный подход к решению задач классификации многомерных данных / Н.И. Куренков, С.Н. Ананьев // Информационные технологии. – 2006. – № 8. – С. 50-55.
8. Судаков Р.С. Элементы прикладной теории геометрического программирования / Р.С. Судаков, А.И. Яцко. – М.: Знание, 2004. – 126 с.
9. Вознесенский В.А. Информационные критерии качества распознавания состояния объектов и выбор параметров для его осуществления / В.А. Вознесенский // Наука и образование. – 09/2004. – С. 61-66.
10. Дорогов А.Ю. Информационный критерий структурирования данных / А.Ю. Дорогов, А.А. Алексеев. – С.-Пб.: «ЛЭТИ», 2000. – 286 с.

Надійшла до редколегії 12.11.2008

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.В. Худов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПО ИНФОРМАЦИОННО-СТАТИСТИЧЕСКОМУ КРИТЕРИЮ

В.В. Воротников

*В предложенной методике использован обобщенный критерий оценки эффективности функционирования информационно-измерительных систем (ИИС), который учитывает вероятность безотказной работы подсистем объекта контроля, информационную способность самой ИИС, ошибки контроля I и II рода, количество параметров, значение которых измеряются косвенным способом и объем информации от первичных параметров*

**Ключевые слова:** космические информационные системы, космический аппарат, информационно-измерительная система, бортовая телеметрическая система, информационная способность, точность контроля.

### TECHNIQUE OF AN ESTIMATION OF FUNCTIONING OF INFORMATION-MEASURING SYSTEMS BY INFORMATION-STATISTICAL CRITERION

V.V. Vorotnikov

*In the offered technique the generalized criterion of an estimation of efficiency of functioning of information-measuring systems (IMS) is used which takes into account probability of non-failure operation of subsystems object of the control, information ability itself IMS, mistake of the control I and II of a sort, amount of parameters, which meaning are measured by an indirect way and volume of the information from primary parameters*

**Keywords:** space information systems, space vehicle, information-measuring system, onboard telemetering system, information ability, accuracy of the control.