

УДК 624.31

О.С. Петренко

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ОБҐРУНТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ДОСТАТНОСТІ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ НАТУРНИХ ВИПРОБУВАНЬ РЛС З ЗАДАНИМ РІВНЕМ ДОСТОВІРНОСТІ

На основі інформаційних нерівностей отримані співвідношення, що дозволяють визначити мінімально необхідну кількість вимірювань для проведення випробувань, достатню для прийняття рішення про відповідність точносних характеристик вимірювального комплексу, що випробовується, заданим значенням з необхідною достовірністю.

Ключові слова: натурний експеримент, точносні характеристики, достовірність, розпізнавальна інформація, інформаційні нерівності.

Вступ

Постановка проблеми. При випробуваннях сучасних РЛС особливе значення мають задачі, пов'язані з організацією робіт, вибором умов, методів і засобів забезпечення випробувань, плануванням натурних експериментів, оцінкою характеристик при випробуваннях. Вихідними даними є параметри траєкторії і точність їх визначення – одна з основних характеристик РЛС.

Остаточне рішення про відповідність виробу вимогам, що до нього пред'являються, приймається за результатами контрольних випробувань, які основані на проведенні натурних експериментів.

Задачі натурних випробувань складних систем багато в чому визначають специфіку процесу обробки даних, що отримуються. При цьому в результаті виконання операцій обробки з'являється інформація, що необхідна для вирішення задач управління експериментальними дослідженнями.

Склад первинної обробки вихідної інформації обумовлений способом реєстрації, що застосовується, та складається з низки операцій підготовки інформації для вторинної обробки.

Вторинна обробка полягає в обробці інформації за цільовими алгоритмами і програмами, в результаті чого визначаються функціональні або статистичні характеристики, отримання яких є кінцевою метою всього процесу натурних випробувань.

Однією з груп вихідної інформації від джерел експериментальних даних є інформація про параметри і характеристики, що оцінюються, об'єктів, що досліджуються. На основі цієї інформації в подальшому здійснюється оцінка значень основних технічних характеристик системи, що випробовується, і ступеню їх відповідності тим, що задані. При цьому характерними є: обчислення окремих параметрів системи за сукупністю вимірювань; визначення деяких статистичних характеристик параметрів, що контролюються.

Також слід відзначити таку складову обробки експериментальних даних, як проведення кількісної оцінки якості функціонування елементів випробувального комплексу. При цьому обробка полягає у пороговому контролі достовірності і кількісній оцінці вимірювальної інформації.

Вибір об'єму і умов проведення експериментів на реальній РЛС визначається здобуттям остаточних оцінок її характеристик з необхідною точністю і достовірністю. При цьому натурні експерименти призначені для здобуття: необхідного об'єму, вигляду і числа вихідних даних, результатів натурних експериментів (на станції і її пристроях), необхідного об'єму контрольних статистичних результатів для виключення методичних помилок. Вибираючи об'єм випробувань, слід виходити з необхідної точності здобуття статистичних характеристик параметрів РЛС, що перевіряються.

Тому виникає задача визначення необхідного об'єму спостережень, якій при заданому рівні достовірності випробувань як функція від точності зовнішнього вимірювального засобу забезпечить інформаційну достатність процесу натурних випробувань РЛС.

Аналіз основних публікацій. Аналіз публікацій за тематикою випробувань сучасних РЛС показав наявність великої кількості методик проведення натурних випробувань РЛС [1 – 3], з яких впливає, що кількість випробувань, необхідна для прийняття рішення про технічний стан системи, що випробовується, з заданою достовірністю залежить від точності зовнішнього вимірювального засобу.

З урахуванням складності проведення натурних експериментів в роботі [4] для високої ступені достовірності прийняття рішення про характеристики радіоелектронного засобу, що випробовується, вважається за доцільне враховувати результати попередніх випробувань. Це дозволяє збільшити кількість спостережень. На основі цього підходу запропоноване оптимальне правило об'єднання різнорідних

контрольних випробувань радіоелектронних засобів.

В [5] на основі аналізу традиційних підходів до визначення і порівняння якості оцінювання параметрів обґрунтовується критерій досягнення точності, що вимагається, при оцінці векторних параметрів.

Метою статті є обґрунтування на основі інформаційних нерівностей та помилок першого та другого роду, що обумовлюють достовірність результатів випробувань РЛС, необхідного об'єму спостережень, як функції від точності зовнішньої вимірювальної системи.

Виклад основного матеріалу

Відомо [6], що якщо мають місце дві гіпотези, а саме H_1 - прийняти рішення про відповідність точності вимірювальної системи значенням, що вимагаються, та H_2 - забракувати систему, що випробовується, то можна отримати через помилки першого і другого роду середню мінімально необхідну кількість розпізнавальної інформації на користь кожної з гіпотез.

$$I_{\text{тр}}(1:2; Q_N) = N \cdot I_{\text{инт}}(1:2) \geq \beta \cdot \ln\left(\frac{\beta}{1-\alpha}\right) + (1-\beta) \cdot \ln\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right); \quad (1)$$

$$I_{\text{тр}}(2:1; Q_N) = N \cdot I_{\text{инт}}(2:1) \geq \alpha \cdot \ln\left(\frac{\alpha}{1-\beta}\right) + (1-\alpha) \cdot \ln\left(\frac{1-\alpha}{\beta}\right), \quad (2)$$

де N – кількість спостережень; Q_N означає вибірку з N незалежних спостережень, а Q_1 – вибірку з одного спостереження.

В випадку одномірної нормальної популяції вираз для середньої інформації для розрізнення на користь гіпотези H_1 проти H_2 та відповідно H_2 проти H_1 може бути представлено в вигляді [3]:

$$I(1:2) = \frac{1}{2} \ln \frac{D_{\Sigma 2}}{D_{\Sigma 1}} - \frac{1}{2} + \frac{D_{\Sigma 1}}{2D_{\Sigma 2}}; \quad (3)$$

$$I(2:1) = -\frac{1}{2} \ln \frac{D_{\Sigma 2}}{D_{\Sigma 1}} - \frac{1}{2} + \frac{D_{\Sigma 2}}{2D_{\Sigma 1}}, \quad (4)$$

де $D_{\Sigma 1} = D_1 + D_e$; $D_{\Sigma 2} = D_2 + D_e$; D_1 і D_2 – дисперсії погіршностей системи, що випробовується, при прийнятті гіпотези H_1 та H_2 відповідно; D_e – дисперсія розподілу погіршностей "еталону".

В виразі (3) при прийнятті гіпотези H_2 положимо $D_2 = D_{\text{тр}}$, тобто як тільки дисперсія помилок параметра, що вимірюється, приймає значення $D_{\text{тр}}$, РЛС треба признати такою, що не задовольняє заданим характеристикам за точністю. $D_{\text{тр}}$ – деякий рівень точності, що вимагається у РЛС, що випробовується.

Мінімальне значення D_0 дисперсії параметру, що повіряється – деякий мінімальний рівень "стану" РЛС, що випробовується. Введемо позначення:

$$\frac{D_0}{D_{\text{тр}}} = \gamma_0; \quad \frac{D_1}{D_{\text{тр}}} = \gamma_1; \quad \frac{D_e}{D_{\text{тр}}} = \gamma_e.$$

З урахуванням прийнятих допущень і позначень вирази (3) і (4) приймуть вигляд:

$$I(1:2/\gamma) = \frac{1}{2} \ln \frac{1+\gamma_e}{\gamma+\gamma_e} - \frac{1}{2} + \frac{\gamma+\gamma_e}{2(1+\gamma_e)}; \quad (5)$$

$$I(2:1/\gamma) = -\frac{1}{2} \ln \frac{1+\gamma_e}{\gamma+\gamma_e} - \frac{1}{2} + \frac{1+\gamma_e}{2(\gamma+\gamma_e)}. \quad (6)$$

Тобто при прийнятті гіпотези H_1 точність скалярного параметру РЛС, що випробовується, знаходиться в межах поля допусків, обмеженого значеннями D_0 і $D_{\text{тр}}$ ($D_0 \leq D_1 < D_{\text{тр}}$), при прийнятті гіпотези H_2 – точність скалярного параметру РЛС, що випробовується, виходить за межі поля допусків, $D_2 \geq D_{\text{тр}}$ (в нашому випадку $D_2 = D_{\text{тр}}$). Введемо щільність імовірності апіорних значень дисперсії помилок вимірювання параметру вимірювальної системи, що випробовується, за гіпотезою H_1 , рахуючи, що D_1 розподілена за рівномірним законом, а саме розпізнавальної на інтервалі від D_0 до $D_{\text{тр}}$ або від γ_0 до 1:

$$f_{a1}(\gamma) = \begin{cases} \frac{1}{1-\gamma_0}; & \text{при } D_0 \leq D_1 < D_{\text{тр}} (\gamma_0 \leq \gamma_1 < 1) \\ 0; & \text{інакше} \end{cases}. \quad (7)$$

З урахуванням (5) і (6) вираз для питомої середньої розпізнавальної інформації по області Ω_γ – можливих значень γ на користь гіпотези H_1 при її справедливості як математичне сподівання $I(1:2)$ має вигляд:

$$I_{\text{инт}}(1:2/\gamma_e) = \int_{\Omega_\gamma} \left(\frac{1}{1-\gamma_0} \left[\frac{1}{2} \ln \frac{1+\gamma_e}{\gamma+\gamma_e} - \frac{1}{2} + \frac{\gamma+\gamma_e}{2(1+\gamma_e)} \right] \right) d\gamma = \frac{1}{2} \left[\frac{\gamma_0 + \gamma_e}{1-\gamma_0} \ln \frac{\gamma_0 + \gamma_e}{1+\gamma_e} + 1 \right] + \frac{1+\gamma_0 + 2\gamma_e}{4 \cdot (1+\gamma_e)} - \frac{1}{2}. \quad (8)$$

Аналогічно отримано вираз для удільної середньої розпізнавальної інформації на користь гіпотези H_2 при її справедливості:

$$I_{\text{инт}}(2:1/\gamma_e) = \frac{1+\gamma_0 + 2\gamma_e}{2 \cdot (1-\gamma_0)} \ln \frac{1+\gamma_e}{\gamma_0 + \gamma_e} - 1. \quad (9)$$

Залежності значення середньої інформації для розрізнення на користь гіпотези H_1 проти H_2 при справедливості H_1 та на користь гіпотези H_2 проти H_1 при справедливості H_2 для нормального закону розподілення у припущенні центрування величин вимірювання системою, що випробовується, і еталонною системою та рівності середніх значень обох популяцій від точності еталонної системи представлені на рис. 1.

Далі задаючи значення γ_0 і γ_e , а, по суті, рівень точності зовнішньої (еталонної) системи γ_e з діапазону $0 < \gamma_e \leq \gamma_{e\text{max}}$ за формулами (8) і (9) можливо отримати середню питому кількість розпізнавальної інформації на користь кожної з гіпотез при її справедливості в одному вимірюванні $I_{\text{инт}}(1:2/\gamma_e)$ і $I_{\text{инт}}(2:1/\gamma_e)$.

З іншого боку, задавши деяким рівнем довіри (достовірності), тобто при фіксованих значеннях помилок першого і другого роду – α і β , використовуючи вирази (1) і (2) можливо отримати середню

мінімально необхідну кількість розпізнавальної інформації на користь кожної з гіпотез.

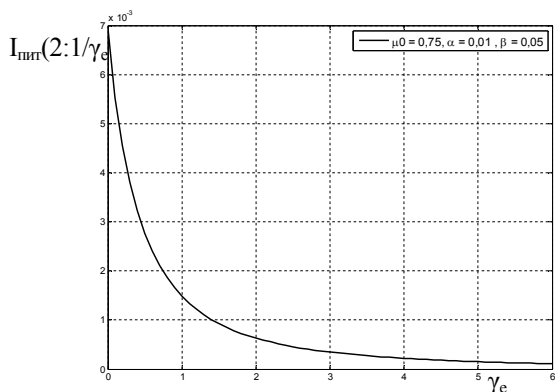
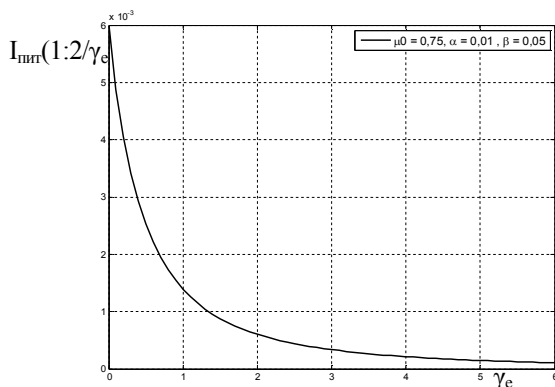
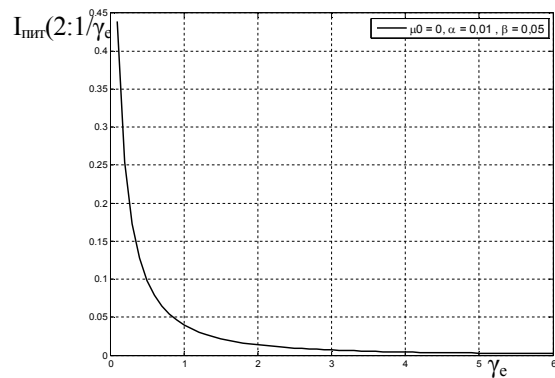
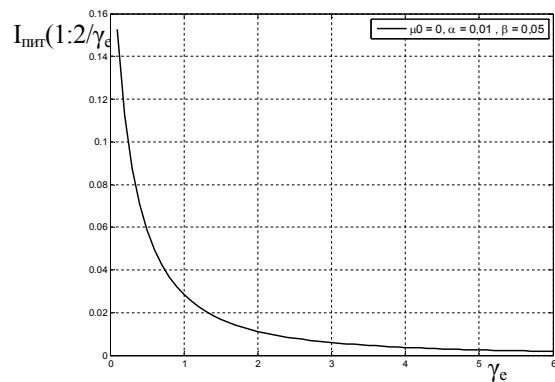


Рис. 1. Залежності значення середньої розпізнавальної інформації від точності еталонної системи

Таким чином, можна визначити мінімально необхідну кількість вимірювань для проведення випробувань як:

$$N_{\text{необх}}(\gamma_s) = \max \left\{ \frac{I_{\text{тр}}(1:2; Q_N)}{I_{\text{пит}}(1:2/\gamma_s)}, \frac{I_{\text{тр}}(2:1; Q_N)}{I_{\text{пит}}(2:1/\gamma_s)} \right\}. \quad (10)$$

Слід відмітити особливість даної методики при розповсюдженні на багато параметричний випадок. Відповідно до [5] в цьому випадку при справедливості гіпотези H_1 всі власні числа $\{\mu_i\}$ матриці виду $\mathbf{K}_1 \cdot \mathbf{K}_{\text{тр}}^{-1}$ повинні бути менше 1

$$\mu_{\max}(\mathbf{K}_1 \cdot \mathbf{K}_{\text{тр}}^{-1}) < 1, \quad (11)$$

а при справедливості гіпотези H_2

$$\mu_{\min}(\mathbf{K}_2 \cdot \mathbf{K}_{\text{тр}}^{-1}) \geq 1, \quad (12)$$

де матриця $\mathbf{K}_{\text{тр}}$ задає допустимий рівень погрешностей вимірювань.

Багатопараметричні аналоги виразів (5) і (6) для середньої розпізнавальної інформації мають вигляд

$$I(1:2; O_m / \xi) = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \ln \frac{\mu_i + \xi}{1 + \xi} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \frac{\mu_i + \xi}{1 + \xi} - \frac{m}{2}; \quad (13)$$

$$I(2:1; O_m / \xi) = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \ln \frac{1 + \xi}{\mu_i + \xi} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \frac{1 + \xi}{\mu_i + \xi} - \frac{m}{2}, \quad (14)$$

де ξ – коефіцієнт, аналог однопараметричного γ_e в виразі $\mathbf{K}_e = \xi \mathbf{K}_{\text{тр}}$, \mathbf{K}_e – кореляційна матриця погрешностей еталонної вимірювальної системи; $\{\mu_i\}$ – спектр власних чисел матриці виду $\mathbf{K}_1 \cdot \mathbf{K}_{\text{тр}}^{-1}$ при прийнятті гіпотези H_1 або $\mathbf{K}_2 \cdot \mathbf{K}_{\text{тр}}^{-1}$ при прийнятті гіпотези H_2 відповідно.

Багатопараметричні аналоги виразів (8) і (9) для питомої розпізнавальної інформації в "точці" багатомірного простору μ конкретного стану РЛС, що випробовується, за гіпотезою H_1 і H_2 відповідно мають вигляд

$$I_{\text{пит}}(1:2; O_m) = \frac{m}{2} \cdot \left(\frac{\mu_0 + \xi}{1 - \mu_0} \ln \left(\frac{\mu_0 + \xi}{1 + \xi} \right) + 1 \right) + \frac{m}{2} \cdot \frac{1 + \mu_0 + 2\xi}{2 \cdot (1 + \xi)} - \frac{m}{2}, \quad (15)$$

$$I_{\text{пит}}(2:1; O_m) = m \cdot \frac{\mu_0 + 2\xi + 1}{2 \cdot (1 - \mu_0)} \cdot \ln \left(\frac{1 + \xi}{\mu_0 + \xi} \right) - m. \quad (16)$$

На рис. 2 приведені графіки залежності $N_{\text{необх}}$ від точності еталонної системи γ_e для однопараметричного випадку при $\alpha \leq \alpha_0$, $\beta \leq \beta_0$ для різних значень помилок першого та другого роду (достовірності) і для різних γ_0 .

З їх аналізу можливо зробити висновок про те, що при зниженні вимог до характеристик еталонної системи за точністю збільшується кількість випробувань, необхідна для прийняття рішення про технічний стан системи, що випробовується з заданою достовірністю.

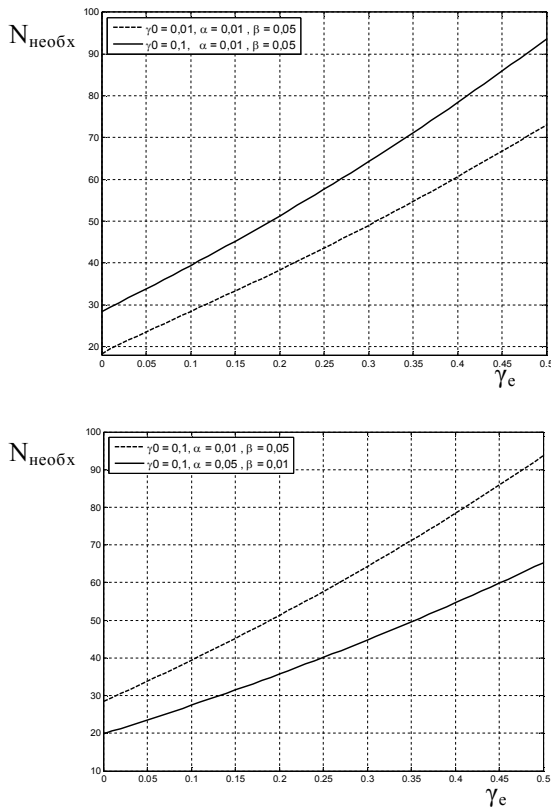


Рис. 2. Залежності необхідної кількості вимірювань від точності еталонної системи

Висновки

Таким чином можливо зробити висновок, що прагнення здешевити та скоротити строки випробувань сучасних РЛС за рахунок зменшення загального числа натурних експериментів потребує збільшення їх інформативності.

Отримані аналітичні вирази, ілюструють залежність мінімальної кількості вимірювань достатньої для проведення випробувань точніших характеристик РЛС з заданим рівнем достовірності в залежності від точності зовнішньої "еталонної" системи зов-

нішньотраєкторного забезпечення. Отже, кількість вимірювань, що потребується, є функцією від класу точності еталонної системи. Отримані результати можуть застосовуватись, наприклад, при об'єднанні результатів контрольних випробувань [4], при пред'явленні вимог до точності системи зовнішньотраєкторного забезпечення випробувань [7].

Список літератури

1. Испытания РЛС (оценка характеристик) / А.И. Леонов, С.А. Леонов, Ф.В. Нагулино и др.; под ред. А.И. Леонова. – М.: Радио и связь, 1990. – 220 с.
2. Натурный эксперимент: Информационное обеспечение экспериментальных исследований / А.Н. Белонов, Г.И. Солодихин, В.А. Солодовников и др.; под ред. Н.И. Баглашова. – М.: Радио и связь, 1982. – 242 с.
3. Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники / Г.П. Богданов, В.А. Кузнецов, М.А. Лотонов и др.; под ред. В.А. Кузнецова. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.
4. Вакуленко А.А. Объединение результатов разнородных контрольных испытаний радиоэлектронных средств / А.А. Вакуленко, Ю.Н. Мелихов, В.В. Хилев // Радиотехника. – 2009. – № 9. – С. 125-127.
5. Деденок В.П. Обоснование критериев достижения требуемой точности оценивания навигационных параметров космических аппаратов / В.П. Деденок, В.А. Кочура, Е.В. Мизура // Системы обработки информации. – ХФВ "Транспорт України", 2001. – Вып. 1(11). – С. 51-56.
6. Кульбак С. Теория информации и статистика / С. Кульбак. – М.: Наука, 1967 – 408 с.
7. Деденок В.П. Использование информационно-стоимостных подходов при предъявлении требований к точности системы внешнетраекторного обеспечения испытаний / В.П. Деденок, В.Р. Хачатуров, А.С. Петренко // Зб. наук. пр. – НАНУ інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова, 2003. – Вып. 22. – С.42-45.

Надійшла до редколегії 6.08.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.П. Деденок, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ОБОСНОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ДОСТАТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ РЛС С ЗАДАНЫМ УРОВНЕМ ДОСТОВЕРНОСТИ

А.С. Петренко

На основе информационных неравенств получены соотношения, позволяющие определить минимально необходимое количество измерений для проведения испытаний, достаточное для принятия решения о соответствии точностных характеристик испытываемого измерительного комплекса заданным значениям с необходимой достоверностью.

Ключевые слова: натурный эксперимент, точностные характеристики, достоверность, различающая информация, информационные неравенства.

GROUND OF INFORMATIVE SUFFICIENCY OF THE MEASURING FOR REALIZATION OF MODEL TESTS OF THE RADAR STATION WITH THE PRESET LEVEL OF AUTHENTICITY

A.S. Petrenko

On the basis of information inequality have got the relations allowing to define the minimum necessary amount of measuring for testing, sufficient for a decision-making about accordance of precision descriptions of the tested measuring complex to the set values with necessary authenticity.

Keywords: model tests, precision descriptions, authenticity, discrimination information, information inequality.