

УДК 621.396

# Оцінювання якісних характеристик радіоелектронних систем в критичних режимах функціонування

Бичковський В. О., Реутська Ю. Ю.

Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

E-mail: reutaska\_rtf@ukr.net

На підставі інформаційного підходу до аналізу процесів в радіоелектронних системах встановлено основні співвідношення щодо оцінювання якісних характеристик систем в критичних режимах функціонування. Виконано редукцію моделей радіоелектронних систем до рівня багатоеlementних фізичних систем. Передбачена можливість переходу від класичних характеристик систем до їх тлумачення на інформаційному рівні аналізу. Проаналізовані ситуації, які виникають в умовах впливу хибної інформації або втрат інформації. Враховані такі показники, як інформаційна спроможність, відносна помилка та обмеження на час роботи систем. Проаналізовані якісні характеристики автоматизованих систем. Враховано особливості роботи людини-оператора та визначено час, необхідний для виконання поставленої задачі з заданою ймовірністю.

*Ключові слова:* радіоелектронна система; критичні режими; інформація; якісні характеристики

## Вступ

Сучасний етап розвитку техніки характеризується широким застосуванням радіоелектронних систем (РЕС) різноманітного призначення. В останні роки поряд із задачами аналізу, синтезу та моделювання технічних систем, в тому числі і РЕС, все більше уваги поділяється прогнозуванню їх розвитку, якості та характеристик процесів.

Особливістю сучасних РЕС є необхідність забезпечення їх ефективного функціонування в умовах зміни режимів роботи та невизначеності відносно внутрішніх та зовнішніх випадкових факторів. В таких ситуаціях все частіше спостерігаються критичні події різноманітного характеру. Критичні ситуації — це ситуації, в яких ряд цільових показників системи або функціональних характеристик середовища виходять за допустимі межі і створюють умови для такого порушення функціонування об'єкта, яке призводить до загрози виникнення аварії або катастрофи. З точки зору інформаційного аналізу критична ситуація виникає за умови недостатньої інформаційної підтримки процесів в РЕС, втрат інформації та обмежень на час роботи РЕС. В критичних умовах функціонування потрібна тільки достатньо якісна оцінка характеристик систем.

Виходячи із сучасних наукових концепцій, РЕС функціонує як єдине ціле завдяки інформаційній підтримці процесів та раціональній організації зв'язків між пристроями та підсистемами. Отже, стає зрозумілою доцільність використання інфор-

маційного підходу до аналізу процесів в РЕС [1–4]. Задачі інформаційного аналізу ставляться як на макроскопічному, так і на мікроскопічному рівнях, пов'язуються з системою у цілому або з її підсистемами та елементами. В результаті аналізу перехідних характеристик динамічних ланок РЕС встановлюються їх частотно-квантові спроможності. На підставі логічного аналізу методом аналогій здійснюють перехід до опису, прийнятому в теорії кіл. Доцільним є також висновок про те, що необхідно оперувати не тільки сигналами  $x$  на вході системи та  $y$  на її виході, але і абсолютними помилками  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  та розглядати відношення  $B = y\Delta x/x\Delta y$ . В цьому випадку виявляється інформаційна складова у вигляді інформаційних спроможностей  $N_y = y_m/\Delta y$ ,  $N_x = x_m/\Delta x$ , де  $y_m$ ,  $x_m$  — максимальні значення  $y$  та  $x$ . Якщо ввести у розгляд нормовані значення  $y_n = y/y_m$ ,  $x_n = x/x_m$ , то можна записати  $B = y_n N_y / x_n N_x$ . Необхідно зауважити, що розглянуті методи інформаційного аналізу РЕС спрямовані на розв'язання окремих задач та не пов'язані між собою.

Використання існуючих методів інформаційного аналізу для оцінювання якісних характеристик РЕС в критичних режимах функціонування не представляється можливим. Це зумовлено декількома обставинами. По-перше, в основному відомі методи базуються на статичному підході. Отже, часові обмеження на роботу РЕС не можуть бути враховані. По-друге, динаміка входу в критичний режим

залишається прихованою, що не дає можливості оцінювати загрози виникнення аварії або катастрофи в разі подальшого розгортання критичних подій. Окрім того, неможливо передбачити наслідки втрат інформації або впливу навмисних завад на характеристики РЕС. Таким чином, задача оцінювання якісних характеристик РЕС в критичних режимах функціонування є актуальною та практично спрямованою.

## 1 Постановка задачі

Прийmemo до уваги, що якість функціонування РЕС оцінюється за допомогою показника ефективності. Ця числова характеристика визначає ступінь пристосованості системи до виконання поставлених задач та суттєво впливає на результати її дослідження. Показник ефективності визначається безпосередньо процесом функціонування системи та відбиває її поведінку и у часі. Поширеними критеріями ефективності систем є критерій максимальної швидкодії, інтегральний квадратичний критерій, енергетичний критерій та різноманітні комбіновані критерії. Всі вони базуються на оцінюванні мінімального значення деякого показника системи  $G$ . Необхідно зауважити, що передбачити нюанси критичної ситуації в принципі неможливо. Отже, доцільно обмежитися макроскопічним рівнем аналізу, тобто перейти від випадкових внутрішньосистемних взаємодій до деякого регулярного процесу. З іншого боку, необхідно врахувати інфодинаміку РЕС, тобто вплив інформації  $I = I(t)$  на величину  $G$ . Нехай  $K$  — константа швидкості зменшення  $G$  за рахунок надходження  $I$ . Тоді можна записати

$$dG = -KI. \quad (1)$$

Якщо позначити  $C_n = dI/dt$ , то на підставі рівняння (1) знаходимо

$$\frac{dG}{dt} = -KC_n. \quad (2)$$

Ефективність РЕС можна оцінити ймовірністю виконання поставленої задачі  $P$ . В процесі надходження інформації  $I$  ця ймовірність зростає та асимптотично наближується до одиниці. Таким чином,

$$\frac{dP}{dI} = K(1 - P). \quad (3)$$

Позначивши  $g = 1 - P$ , на підставі формули (3) визначаємо

$$\frac{dg}{g} = -KI. \quad (4)$$

Якщо ввести у розгляд величину  $G = \ln g$ , то отримаємо залежності (1), (2). Вказані співвідношення не можуть в повній мірі описати якісні

характеристики РЕС в критичних режимах функціонування. Це зумовлено тим, що в них не враховуються наслідки втрат інформації та впливу хибної інформації.

Для розв'язання поставленої задачі прийmemo до уваги, що одним із найпотужніших методів прогнозування та макроскопічного аналізу є метод аналогій, який передбачає редукцію прогнозних моделей та моделей технічних систем до рівня багатоеlementних фізичних систем [5]. В процесі застосування методу аналогій доцільно передбачити можливість переходу від класичних характеристик систем до їх тлумачення на інформаційному рівні аналізу.

## 2 Теоретичні викладки

Ефективність РЕС залежить від кількості та цінності інформації, що надходить до них в процесі функціонування. Враховуючи особливості роботи РЕС в критичних режимах функціонування, будемо розглядати корисну інформацію  $I_1 = I_1(t)$  та хибну або втрачену інформацію  $I_2 = I_2(t)$ . Оскільки  $G = G(I_1, I_2)$ , то можна записати

$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial I_1}\right) dI_1 + \left(\frac{\partial G}{\partial I_2}\right) dI_2. \quad (5)$$

Прийmemo до уваги, що збільшення  $I_2$  супроводжується збільшенням  $G$ . З іншого боку, збільшення  $I_1$  супроводжується зменшенням  $G$ . Тоді на підставі формули (5) знаходимо

$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial I_2}\right) dI_2 - \left|\frac{\partial G}{\partial I_1}\right| dI_1. \quad (6)$$

Введемо у розгляд парціальні величини  $x_1$  та  $x_2$ :

$$x_1 = \left|\frac{\partial G}{\partial I_1}\right|, \quad x_2 = \frac{\partial G}{\partial I_2}. \quad (7)$$

Тоді рівняння (6) набуває наступного вигляду:

$$dG = x_2 dI_2 - x_1 dI_1. \quad (8)$$

Аналіз рівняння (8) виконується на підставі відомої процедури [6].

На першому етапі аналізу будемо вважати парціальні величини постійними і проінтегруємо ліву та праву частини рівняння (8) за нульвих початкових умов. Тоді отримаємо наступний результат

$$G = x_2 I_2 - x_1 I_1. \quad (9)$$

На другому етапі аналізу продиференціюємо рівняння (9) за умови, що  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $I_1$ ,  $I_2$  — змінні величини, та визначимо

$$dG = (x_2 dI_2 - x_1 dI_1) + (I_2 dx_2 - I_1 dx_1). \quad (10)$$

На підставі аналізу рівнянь (8), (10) знаходимо

$$I_2 dx_2 - I_1 dx_1 = 0. \quad (11)$$

Зауважимо, що рівняння (11) є аналогом рівняння Гібса-Дюгема та відрізняється від нього тільки знаком між складовими та фізичним змістом даних

складових [6]. На підставі формули (11) визначаємо

$$dx_2 = \frac{I_1}{I_2} dx_1. \quad (12)$$

Розглянемо ситуацію, коли  $I_1$  та  $I_2$  надходять невеликими порціями. Тоді на підставі методу аналогій встановлюємо, що  $x_1$  та  $x_2$  будуть постійними величинами [6].

З рівняння (8) отримуємо наступну залежність:

$$\frac{dG}{dt} = x_2 \frac{dI_2}{dt} - x_1 \frac{dI_1}{dt}. \quad (13)$$

Аналіз формули (13) показує, що швидкість зміни  $G$  залежить від парціальних величин  $x_2$ ,  $x_1$  та швидкостей змін корисної інформації  $C_1 = dI_1/dt$  та хибної (або втраченої) інформації  $C_2 = dI_2/dt$ . Для забезпечення  $dG/dt < 0$  необхідно виконати умову  $x_1 C_1 > x_2 C_2$ .

Прийmemo до уваги, що  $I_1$  та  $I_2$  поступово збільшуються і наближуються до своїх потенційно можливих максимальних значень  $I_{1m}$ ,  $I_{2m}$ . Якщо  $K_1$ ,  $K_2$  — константи швидкості збільшення  $I_1$ ,  $I_2$ , то можна записати

$$dI_1 = K_1 (I_{1m} - I_1) dt, \quad (14)$$

$$dI_2 = K_2 (I_{2m} - I_2) dt. \quad (15)$$

На підставі залежностей (14), (15) визначаємо

$$\frac{dI_1}{I_{1m} - I_1} = K_1 dt, \quad (16)$$

$$\frac{dI_2}{I_{2m} - I_2} = K_2 dt. \quad (17)$$

Проінтегруємо ліву частину рівняння (16) від 0 до  $I_1$ , а праву від 0 до  $t$ . Тоді отримаємо наступний результат:

$$I_1 = I_{1m} [1 - \exp(-K_1 t)]. \quad (18)$$

Після інтегрування лівої частини рівняння (17) від 0 до  $I_2$ , а правої від 0 до  $t$ , знаходимо

$$I_2 = I_{2m} [1 - \exp(-K_2 t)]. \quad (19)$$

Прийmemo до уваги залежності (13), (18), (19), визначаємо

$$dG = x_2 K_2 I_{2m} \exp(-K_2 t) dt - x_1 K_1 I_{1m} \exp(-K_1 t) dt. \quad (20)$$

Інтегруючи ліву частину рівняння (20) від 0 до  $G$ , а праву від 0 до  $t$ , знаходимо

$$G = x_2 I_{2m} [1 - \exp(-K_2 t)] - x_1 I_{1m} [1 - \exp(-K_1 t)]. \quad (21)$$

Якщо у формулі (21) прийняти  $t \rightarrow \infty$ , то визначимо усталене значення

$$G_{ст} = x_2 I_{2m} - x_1 I_{1m}. \quad (22)$$

Зауважимо, що  $G_{ст} = \ln g_{ст} < 0$ .

Розглянемо окрему ситуацію, коли  $K_1 = K_2$ . Приймаючи до уваги, що  $G = \ln g \leq 0$ , на підставі формули (21) знаходимо

$$x_2 \leq \frac{x_1 I_{1m}}{I_{2m}}. \quad (23)$$

На підставі залежності (23) можна встановити співвідношення між парціальними величинами та потенційно можливими максимальними значеннями корисної та хибної інформації.

Таким чином, представляється можливим на підставі методу парціальних величин розв'язати задачі оцінювання якісних характеристик РЕС в критичних режимах функціонування. В процесі розв'язання поставлених задач доцільно розглядати окремо автоматичні та автоматизовані системи (системи з людиною-оператором). Це зумовлено рядом факторів. По-перше, необхідно прийняти до уваги, що в умовах сильних завад основне навантаження лягає на людину-оператора. По-друге, суттєвий вплив на якісні характеристики РЕС мають психофізичні особливості людини [7, 8].

### 3 Радіoeлектронні автоматичні системи

Радіoeлектронні автоматичні системи (РАС) входять у склад майже всіх засобів радіoeлектронного обладнання. Методи математичного опису РАС, як і інших автоматичних систем, є досить відомими. В останні роки все частіше застосовують інформаційні методи аналізу, доцільність яких зумовлена можливістю розкриття змістовної складової керування. Приймаемо до уваги, що інформаційний опис динамічних ланок можна виконати на підставі аналізу перехідного процесу. Нехай корисні та хибні сигнали надходять в систему з різних динамічних ланок. Якщо  $N_1$  та  $N_2$  — інформаційні спроможності, то

$$\begin{aligned} I_1 &= \ln N_1, & N_1 &= 1/2\gamma_1, \\ I_2 &= \ln N_2, & N_2 &= 1/2\gamma_2. \end{aligned} \quad (24)$$

де  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  — відносні помилки перехідного процесу [2, 3]. На підставі формул (8), (24) знаходимо

$$dG = x_2 d \ln N_2 - x_1 d \ln N_1, \quad (25)$$

$$dG = x_1 d \ln \gamma_1 - x_2 d \ln \gamma_2. \quad (26)$$

Розглянемо типову ситуацію, коли

$$\gamma_1 = \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right), \quad \gamma_2 = \exp\left(-\frac{t}{T_2}\right). \quad (27)$$

де  $t$  — час,  $T_1, T_2$  — постійні часу динамічних ланок [2]. На підставі залежностей (26), (27) визначаємо

$$dG = \left( \frac{x_2}{T_2} - \frac{x_1}{T_1} \right) dt. \quad (28)$$

Інтегруючи ліву частину рівняння (28) від  $G_0$  до  $G$ , а праву від 0 до  $t$ , знаходимо

$$G = G_0 - \left( \frac{x_1}{T_1} - \frac{x_2}{T_2} \right) t. \quad (29)$$

На підставі формули (29) можна визначити необхідний час роботи системи

$$t = \frac{(G_0 - G) T_1 T_2}{T_2 x_1 - T_1 x_2}. \quad (30)$$

Нехай за передбачений час роботи  $t = t_n$  забезпечується показник системи  $G_n$ . Визначимо, яким буде показник системи  $G_{об}$ , якщо час роботи РАС буде обмеженим:  $t_{об} < t_n$ . На підставі формули (29) знаходимо

$$G_{об} = G_n + \left( \frac{x_1}{T_1} - \frac{x_2}{T_2} \right) (t_n - t_{об}). \quad (31)$$

Якщо не можна вважати, що  $I_1$  та  $I_2$  надходять малими порціями, то  $x_1$  та  $x_2$  є змінними величинами. Тоді з рівняння (12) визначаємо одну парціальну величину через іншу. Інтегруючи ліву частину рівняння (12) від  $x_{20}$  до  $x_2$ , а праву від  $x_{10}$  до  $x_1$ , знаходимо

$$x_2 = x_{20} + \int_{x_{10}}^{x_1} \frac{I_1}{I_2} dx_1. \quad (32)$$

Прийmemo до уваги, що досить часто системно-інформаційний аналіз проводиться за умов  $C_1 = dI_1/dt = const$ ,  $C_2 = dI_2/dt = const$ ,  $I_1 = C_1 t$ ,  $I_2 = C_2 t$ . Тоді на підставі формули (32) визначаємо

$$x_2 = x_{20} + \frac{C_1}{C_2} (x_1 - x_{10}). \quad (33)$$

та враховуємо залежність (33) в формулах (29)–(31).

Залежності (29) – (33) дають можливість оцінювати якісні характеристики системи в критичних режимах функціонування та визначати час, необхідний для виконання поставленої задачі.

## 4 Радіоелектронні автоматизовані системи

Необхідність використання автоматизованих систем зумовлена тим, що людина-оператор хоч і може поступатися технічним засобам за швидкістю, часом виконання завдань та об'ємом сприйнятої інформації, але він є найбільш пластичною, універсальною та активною ланкою. Людина-оператор має

можливість сприймати будь-які сигнали, реагувати на малоімовірні сигнали, об'єднувати різноманітні символи в одне ціле, аналізувати інформацію та налаштовуватися на будь-яку програму. Завдяки людині-оператору внутрішньосистемна взаємодія об'єднується в єдиний цілеспрямований процес функціонування [7, 8].

Прийmemo до уваги, що в умовах навмисних завад з невідомим розподілом ймовірностей основне навантаження лягає на людину-оператора, яка використовує апріорні знання про характер корисних сигналів та завад, досвід та інтуїцію. Критична ситуація виникає тоді, коли досягається дезорієнтація та перевантаження оператора. Зауважимо, що в умовах завад передаточна функція замкненої системи з людиною-оператором в режимі слідування

$$W(p) = \frac{\exp(-p\tau)}{T_1 p + 1}, \quad (34)$$

де  $T_1$  — постійна часу,  $\tau$  — час запізнювання [8]. Розглянемо типову ситуацію, коли  $\gamma_2$  знаходиться з рівняння (27), тобто в загальну систему надходять хибні сигнали також з іншої динамічної ланки. Щоб визначити  $\gamma_1$ , будемо подавати на вхід ланки з передаточною функцією (34) сигнал  $x(t) = A \cdot 1(t)$ . Зображення по Лапласу сигналу на виході ланки

$$Y(p) = \frac{A \exp(-p\tau)}{p(T_1 p + 1)}. \quad (35)$$

На підставі залежності (35) знаходимо

$$y(t) = A \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t-\tau}{T_1}\right) \right]. \quad (36)$$

Усталене значення сигналу на виході ланки

$$y_{ст} = \lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = A. \quad (37)$$

Прийmemo до уваги, що відносна помилка  $\gamma_1 = [y_{ст} - y(t)]/y_{ст}$ . Враховуючи залежності (36), (37), визначаємо

$$\gamma_1 = \exp\left(-\frac{t-\tau}{T_1}\right). \quad (38)$$

На підставі формул (26), (38) приходимо до висновку, що в даній ситуації залишаються справедливими залежності (28) – (33).

Розглянемо процес накопичення інформації в пам'яті людини-оператора [7]. Якщо не враховувати кількості інформації, яка залишається в пам'яті оператора через досить великий час, то можна записати

$$\frac{dI_1}{dt} = C_n - \frac{\mu}{T} I_1. \quad (39)$$

де  $C_n$  — швидкість надходження інформації від джерела;  $T = a/C_n^{1,1}$ ;  $a = 2.6...6$ ;  $\mu \leq 1$  [7]. Прийmemo до уваги, що у разі невеликої швидкості надходження інформації  $C_n \approx C_n^{1,1}$  [9]. Якщо

$C_n = const$ , то за початкових умов  $t = 0$ ,  $I_1 = 0$  можна записати

$$I_1 = \frac{a}{\mu} \left[ 1 - \exp \left( -\frac{\mu C_n t}{a} \right) \right]. \quad (40)$$

Порівняльний аналіз формул (18), (40) показує, що  $I_{1m} = a/\mu$ ,  $K_1 = \mu C_n/a$ . Таким чином, для розрахунків можна використовувати залежності (21) - (23).

Розглянемо типову ситуацію слідкування в умовах завад. Прийемо до уваги, що постійна часу  $T_1$  залежить від відношення амплітуди завади до амплітуди сигналу  $U_3/U_c$ . Якщо  $U_3/U_c = 0.5$ , то  $T_1 = 0.75$  с. Час запізнювання  $\tau = 0.15$  с [8]. Хибні сигнали проходять у загальну систему через динамічну ланку з постійною часу  $T_2 = 1$  с. На підставі формул (27), (38) визначаємо  $\gamma_2 = \exp(-t)$ ,  $\gamma_1 = \exp(-1.333t + 0.2)$ . Оскільки  $C_1 = dI_1/dt$ ,  $C_2 = dI_2/dt$ , то на підставі залежностей (24), (38) знаходимо  $C_1 = 1/T_1 = 1.333$  (1/с),  $C_2 = 1/T_2 = 1$  (1/с).

На початку роботи системи  $x_{10} = 1$ ;  $x_{20} = 1.32$ ;  $P = 0$ . Через час  $t$  за умови  $x_1 = 1.2$  необхідно забезпечити  $P = 0.9$ . Відповідно до формули (33) маємо  $x_2 = 1.5866$ . Оскільки  $G = \ln g$ ,  $g = 1 - P$ , то на початку спостережень  $G_0 = 0$ , в кінці спостережень  $G = -2.3026$ . На підставі залежності (30) визначаємо необхідний час роботи системи  $t = 171.84$  с.

## Висновки

Отримані результати показують, що оцінювання якісних характеристик радіоелектронних систем в критичних режимах функціонування може бути проведено на підставі методу парціальних величин. Використання даного методу дало можливість проаналізувати особливості функціонування автоматичних та автоматизованих систем в умовах втрат інформації або надходження хибної інформації. Класичні результати застосування методу парціальних величин доповнено інформаційними складовими, що дало можливість врахувати інформаційні спроможності типових динамічних ланок та відносні помилки перехідного процесу. Для автоматичних систем встановлено залежність помилки від часу, початкових значень парціальних величин та постійних часу динамічних ланок. Визначено вплив часових обмежень на характеристики радіоелектронних автоматичних систем. Метод парціальних величин розповсюджено також на автоматизовані системи. Суттєвим фактором стало те, що враховано динамічні властивості людини-оператора, який слідкує за об'єктом в умовах завад, та встановити вимоги до часу його роботи.

Стає можливим поширення запропонованого методу оцінювання якісних характеристик на групу різноманітних задач, пов'язаних з аналізом та про-

гнозуванням рівня інформаційного забезпечення систем [10,11].

Отримані результати дають можливість перейти на якісно новий рівень макроскопічного аналізу РЕС, оцінити їх характеристики в критичних режимах функціонування та прогнозувати ці характеристики на початковому етапі проектування РЕС.

## Перелік посилань

1. Волкова В. Н. Основы теории систем и системного анализа / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. – СПб : СПбГПУ. – 2004. – 520 с.
2. Ацюковский В. А. Построение систем связи комплексов оборудования летательных аппаратов / В. А. Ацюковский. – М. : Сов. радио. – 1974. – 160 с.
3. Новицкий П. В. Основы информационной теории измерительных устройств / П. В. Новицкий. – М. : Энергия. – 1968. – 248 с.
4. Денисов А. А. Информационные основы управления / А. А. Денисов. – Л. : Энергоатомиздат. – 1983. – 72 с.
5. Николаев В. И. Системотехника: методы и приложения / В. И. Николаев, В. М. Брук. – М. : Машиностроение. – 1985. – 199 с.
6. Стромберг А. Г. Физическая химия / А. Г. Стромберг, Д. П. Семченко. – М. : Высш. школа. – 1988. – 496 с.
7. Присняков В. Ф. Математическое моделирование переработки информации оператором человеко-машинных систем / В. Ф. Присняков, Л. М. Приснякова. – М. : Машиностроение. – 1990. – 248 с.
8. Цибулевский И. Е. Человек как звено следящей системы / И. Е. Цибулевский. – М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы. – 1981. – 288 с.
9. Бичковський В. О. Ідентифікація елементів інформаційних трактів / В. О. Бичковський, Ю. Ю. Реутська, Є. Є. Правенький // Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи ; міжн. наук.-техн. конф. – Київ, 20-26 березня. – 2017. – С. 152-154.
10. Ухин А. Л. Вероятностная модель конфликта радиоэлектронных систем управления и телекоммуникации в условиях деструктивных воздействий / А. Л. Ухин, Ю. Л. Козирацкий // Системы управления и информационные технологии. – 2014. – Т. 57, №3.2. – С. 281-286.
11. Павловский М. В. Имитационное моделирование радиоэлектронного конфликта сложных эргатических систем: динамика структур сторон конфликта / М. В. Павловский, Н. А. Тюкачев // Вестник ВГУ. Серия: системный анализ и информационные технологии. – 2015. – №3. – С. 24-32.

## References

- [1] Volkova V. N. and Denisov V. N. (2004) *Osnovy teorii sistem i sistemnogo analiza* [Fundamentals of the system theory and the system analysis]. Sankt-Peterburg, SPbGPU Publ., 520 p.

- [2] Atsyukovskii V. (1974) *Postroenie sistem svyazi kompleksov oborudovaniya letatel'nykh apparatov* [The construction of the communication systems for the aircraft equipment complexes]. Moscow, Sovetskoie radio Publ., 160 p.
- [3] Novitskii P. V. (1968) *Osnovy informatsionnoi teorii izmeritel'nykh ustroistv* [The information theory fundamentals of the measuring devices]. Moscow, Energiya Publ., 248 p.
- [4] Denisov A. A. (1983) *Informatsionnye osnovy upravleniya* [The information basis of the control]. Leningrad, Energoatomizdat Publ., 72 p.
- [5] Nikolaev V. I. and Bruk V. M. (1985) *Sistemotekhnika: metody i prilozheniya* [The system engineering: the methods and the applications]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 199 p.
- [6] Stromberg A. G. and Semchenko D. P. (1988) *Fizicheskaya khimiya* [The physical chemistry]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 496 p.
- [7] Prisnyakov V. F. and Prisnyakova L. M. (1990) *Matematicheskoe modelirovanie pererabotki informatsii operatorom cheloveko-mashinnykh sistem* [The math modeling of information processing by the operator of man-machine systems]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 248 p.
- [8] Tsibulevskii I. E. (1981) *Chelovek kak zveno sledyashchei sistemy* [Man as a link of the tracking system]. Moscow, Nauka, 288 p.
- [9] Bichkovskii V. O., Reutska Yu. Yu. and Praven'kii Ye. Ye. (2017) Identifikatsiya elementiv informatsinikh traktiv [The identifying of the information paths elements]. *Radio Engineering Fields, Signals, Devices and Systems, REFSDS'2017*. Kyiv, pp. 152-154.
- [10] Ukhin A. L. and Koziratskii Yu. L. (2014) Veroyatnostnaya model' konflikta radioelektronnykh sistem upravleniya i telekommunikatsii v usloviyakh destruktivnykh vozdeystviy [Simulation of the radioelectronic conflict of complex ergatic systems: the dynamics of the structures of the parties to the conflict]. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii*, Vol. 57, No3.2, pp. 281-286.
- [11] Pavlovsky M. V. and Tkachev N. A. (2015) Imitatsionnoe modelirovanie radioelektronного konflikta slozhnykh ergaticheskikh sistem: dinamika struktur storon konflikta [Simulation of the radioelectronic conflict of complex ergatic systems: the dynamics of the structures of the parties to the conflict]. *Vestnik VGU. Seriya: sistemnyi analiz i informatsionnye tekhnologii*, No 3, pp. 24-32.

## Оценка качественных характеристик радиоэлектронных систем в критических режимах функционирования

Бычковский В. А., Реутская Ю. Ю.

На основании информационного подхода к анализу процессов в радиоэлектронных системах установлены основные соотношения по оценке качественных характеристик систем в критических режимах функционирования. Выполнена редукция моделей радиоэлектронных систем до уровня многоэлементных физических систем. Предусмотрена возможность перехода от классических характеристик систем к их толкованию на информационном уровне анализа. Проанализированы ситуации,

которые возникают в условиях воздействия ложной информации или потерь информации. Учтены такие показатели, как информационная способность, относительная ошибка и ограничения на время работы систем. Проанализированы качественные характеристики автоматизированных систем. Учтены особенности работы человека-оператора и определено время, необходимое для выполнения поставленной задачи с заданной вероятностью.

*Ключевые слова:* радиоэлектронная система; критические режимы; информация; качественные характеристики

## Evaluation of the quality characteristics of the radio electronic systems in the operation critical modes

Bychkovskiy V. O., Reutska Yu. Yu.

**Introduction.** Feature of the modern radio electronic systems is the need to ensure their effective functioning in conditions of the changing working conditions and the uncertainty regarding the internal factors and the external random factors. In such more and more often situations there are crit of a diverse nature, when a number of target indicators of the system or functional characteristics of the environment go beyond the permissible limits. From the point of view of information analysis the critical situation arises under the condition of insufficient information support of processes in the radio electronic systems, the information loss and the restrictions on the operation time of radio electronic systems.

The use of existing methods of information analysis for evaluating the qualitative characteristics of radio electronic systems in critical operating modes is not possible. This is due to several circumstances. Firstly, generally known methods are based on a static approach. Consequently, time limits for the work of radio electronic systems cannot be taken into account. Secondly, the dynamics of entering the critical regime remains hidden, this does not allow to evaluate the threat of an accident or disaster in the event of further deployment of critical events. In addition, it is impossible to predict the consequences of the information loss or the effect of deliberate interference on the radio systems characteristics. Thus, the task of evaluating the qualitative characteristics of radio electronic systems in critical operating modes is relevant and practically oriented.

**Results.** For solve the problem use the analogy method, which involves the reduction of predictive models and models of technical systems to the level of multi-elemental physical systems.

The effectiveness of the radio electronic systems depends on the amount and value of incoming information in the functioning process. We will consider useful information and misleading or lost information taking into account the peculiarities of the radio electronic systems work in critical operating modes.

On the basis of the partial quantities method the qualitative characteristics evaluating task of the radio electronic systems in the critical operating modes is solved.

The need to use automated systems is due to the fact that the human operator can give way to technical means for the speed, timing of tasks and the amount of perceived

information but it is the most flexible, versatile and active link. Thanks to the human operator, the intra-system interaction is combined into a single, purposeful process of functioning.

Taken into account that in conditions of deliberate interferences with an unknown distribution of probabilities the main burden lies on the human operator. He uses a priori knowledge about the nature of useful signals and interferences, experience and intuition. A critical situation arises when disorientation and overloading of the operator is achieved.

The classical results of the application of the partial-value method were supplemented by information components enabled to take into account the information capabilities of typical dynamic links and relative errors

of the transition process. For automatic systems the dependence of the error on time, the initial values of the partial values and the constant time of the dynamic units is established. The essential factor was that the dynamic properties of the human-operator, which follows the object in the conditions of interference is taken into account, and the requirements for the time of its operation is established.

**Conclusions.** The obtained results allow us to proceed to a qualitatively new level of macroscopic analysis of radio electronic systems, give an opportunity to evaluate their characteristics in critical operating modes and to predict these characteristics at the initial stage of the design of radio electronic systems.

*Key words:* radio electronic system; critical modes; information; qualitative characteristics