

Фактор часу в критичних режимах функціонування радіоелектронних систем

Бичковський В. О., Реутська Ю. Ю., Чмельов В. О.

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

E-mail: reutska_rtf@ukr.net

На підставі інформаційного підходу до аналізу процесів в радіоелектронних системах встановлено залежності їх ефективності від кількості доступної інформації. Прийнято до уваги, що в критичних режимах функціонування радіоелектронних систем внаслідок невизначеності та непередбаченості ситуацій збільшується час на обробку інформації, і доступна інформація відрізняється від передбаченої штатним режимом. Показано, що в умовах швидкого розгортання непередбачених подій певна кількість інформації втрачає свою актуальність, і фактор часу набуває суттєвого значення. В процесі аналізу функціонування систем добування інформації на підставі диференціально-поліномної моделі збільшення кількості інформації встановлено вплив запізнювання інформації на показник ефективності. Визначено час, необхідний для виконання поставленої задачі з заданою ефективністю. Проведено системно-інформаційний аналіз ситуації з одним із варіантів диференціально-поліномної моделі. Проаналізовано ситуацію, яка виникає в процесі обміну інформацією між двома системами в умовах затримки інформації від однієї із них. Визначено залежність швидкості зміни кількості інформації від часу її запізнювання. Встановлено вплив запізнювання інформації на показник ефективності системи та визначено час, необхідний для виконання поставленої задачі з заданою ефективністю. Визначено обмеження на час запізнювання інформації та проведено системно-інформаційний аналіз можливої ситуації. Проаналізовані типові ситуації критичних режимів функціонування радіоелектронних систем та вплив хибної або втраченої інформації на їх якісні характеристики. Визначені показники усталеного режиму функціонування систем. Проведено системно-інформаційний аналіз процесів з використанням типових прогностичних моделей та методу аналогій.

Ключові слова: радіоелектронна система; критичні режими; інформація; фактор часу

DOI: [10.20535/RADAP.2018.75.25-32](https://doi.org/10.20535/RADAP.2018.75.25-32)

Вступ

На сучасному етапі використання технічних систем все більше уваги приділяється прогнозуванню їх розвитку, якості та характеристик процесів як у штатних режимах функціонування, так і в умовах втрат інформації [1–3]. Це стосується і радіоелектронних систем (РЕС), функціонування яких може відбуватися в умовах зміни режимів роботи та невизначеності відносно внутрішніх та зовнішніх випадкових факторів, які призводять до критичних подій різноманітного характеру. Передбачити всі критичні ситуації та їх можливі наслідки не представляється можливим, а загальні висновки можна зробити на підставі системно-інформаційного аналізу процесів. Необхідно зауважити, що такий аналіз виконується як на макроскопічному, так і на мікроскопічному рівнях, але не спрямований на дослідження критичних режимів функціонування РЕС. Досить несприятливі ситуації для функціонування РЕС виникають в умовах інформаційних конфліктів, коли з'являється необхідність прогно-

зування наслідків втрат інформації або впливу навмисних завад на можливості РЕС [4, 5]. Необхідно зауважити, що в критичних ситуаціях суттєву роль відіграє фактор часу. З одного боку, інформація, яка надходить із запізнюванням, втрачає свою актуальність. З іншої точки зору виникає питання щодо можливості виконання поставленої задачі в межах передбаченого часу.

Аналізу та синтезу систем із запізнюванням присвячено досить багато робіт. В них розглядаються як багатозв'язні системи, так і системи із запізнюванням по вихідних змінних [6, 7]. Розробляються методи, які дають можливість розкрити робастні можливості систем автоматичного керування із запізнюванням на етапі синтезу регулятора, а також побудови систем, в яких додатково змінюються декілька параметрів об'єкта керування [8, 9]. Досліджуються також динамічні властивості систем керування об'єктами, моделі яких поряд з параметричною невизначеністю містять компоненти із запізнюванням [10]. Удосконалення методів дослідження систем передбачає перехід до системно-

інформаційного аналізу [11–13]. Своєчасність отримання інформації розглядається як чинник успішного виконання поставленої функціональної задачі [11, 14]. На макроскопічному рівні аналізу за умови використання методу аналогій час запізнювання розглядається як аналог опору в електричному колі [14]. В розглянутих роботах критичні режими функціонування РЕС не розглядаються, і часові показники не аналізуються.

Таким чином, задача визначення часових показників функціонування РЕС в критичних режимах є актуальною та вимагає подальших досліджень.

1 Постановка задачі

Прийmemo до уваги, що ефективність функціонування РЕС можна оцінити ймовірністю виконання поставленої задачі P . В процесі надходження інформації $I_c = I_c(t)$ ця ймовірність збільшується та асимптотично наближається до одиниці. Якщо K — константа швидкості зміни P за рахунок надходження I_c , можна записати

$$dP = K(1 - P)dI_c. \quad (1)$$

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

$$\frac{dg}{g} = -KdI_c. \quad (2)$$

Якщо ввести у розгляд величину $G = \ln g$, то із залежності (2) знаходимо

$$dG = -KdI_c. \quad (3)$$

Позначивши $C_n = dI_c/dt$, з формули (3) визначаємо

$$\frac{dG}{dt} = -KC_n. \quad (4)$$

В критичних режимах функціонування внаслідок невизначеності та непередбаченості ситуацій, що виникають, збільшується час τ на обробку інформації. Таким чином, доступна інформація I_c , яка сприймається системою, відрізняється від інформації I , передбаченої штатним режимом, та визначається з умови

$$I_c = I(t - \tau). \quad (5)$$

Якщо розкласти функцію (5) в ряд Тейлора, то можна записати

$$I_c = I - \Delta I, \quad (6)$$

$$\Delta I = - \sum_{i=1}^n (-1)^i \frac{\tau^i d^i I}{i! dt^i}. \quad (7)$$

В критичних режимах функціонування, коли непередбачені події розгортаються дуже швидко, складова ΔI відповідає кількості інформації, яка

втрачає свою актуальність. Таким чином, треба з'ясувати вплив τ на закономірність зміни G та час роботи РЕС, необхідний для виконання поставленої задачі. З іншого боку необхідно встановити, чи існують обмеження на τ та з'ясувати вимоги до основних параметрів, які характеризують роботу РЕС в критичних режимах. З практичної точки зору потрібно порівняти реальні та потенційні показники РЕС та передбачити можливість прогнозування наслідків критичних режимів їх функціонування.

2 Системи добування інформації

Прийmemo до уваги, що однією із поширених моделей для $I = I(t)$ є диференціально-поліномна

$$I = a_0 t^2 + a_1 t + a_2, \quad (8)$$

де a_0, a_1, a_2 — постійні коефіцієнти, між якими існують певні співвідношення [1]. На підставі залежностей (5), (8) знаходимо

$$I_c = a_0 t^2 + (a_1 - 2a_0 \tau)t + a_0 \tau^2 - a_1 \tau + a_2, \quad (9)$$

$$\Delta I = \tau(2a_0 t + a_1 - a_0 \tau).$$

Оскільки $C_n = dI_c/dt$, то з формули (9) визначаємо

$$C_n = a_1 + 2a_0(t - \tau). \quad (10)$$

Враховуючи залежності (4), (10), запишемо

$$dG = -K[a_1 + 2a_0(t - \tau)]dt. \quad (11)$$

Інтегруючи ліву частину рівняння (11) від G_0 до G , а праву від 0 до t , знаходимо

$$G = G_0 - K[(a_1 - 2a_0 \tau)t + a_0 t^2]. \quad (12)$$

На підставі рівняння (12) визначаємо час, необхідний для виконання поставленої задачі з показником G :

$$t = \frac{1}{2a_0} \sqrt{\frac{1}{K} [K(2a_0 \tau - a_1)^2 + 4a_0(G_0 - G)]} + \frac{2a_0 \tau - a_1}{2a_0}. \quad (13)$$

Оскільки $G = \ln g$, $G_0 = \ln g_0$, $g = 1 - P$, $g_0 = 1 - P_0$, то формула (13) дає можливість визначити залежність t від P_0 та P . На підставі формули (13) визначаємо час виконання поставленої задачі у штатному режимі ($\tau = 0$)

$$t_0 = \frac{1}{2a_0} \sqrt{\frac{1}{K} [Ka_1^2 + 4a_0(G_0 - G)]} - \frac{a_1}{2a_0}. \quad (14)$$

Аналіз формул (12), (13) показує, що $G = G_0$ при $t = 0$ та за умови

$$t_1 = 2\tau - \frac{a_1}{a_0}. \quad (15)$$

Проведемо системно-інформаційний аналіз ситуації, яка характеризується наступними показниками: $P_0 = 0$; $P = 0,9$; $K = 1$; $\tau = 2$ с; $a_0 = 0,5$ ($1/c^2$); $a_1 = 1$ ($1/c$). Оскільки $G_0 = \ln g_0 = \ln(1 - P_0)$, $G = \ln g = \ln(1 - P)$, то визначаємо, що $G_0 = 0$, $G = -2,3026$. На підставі формули (13) знаходимо необхідний час функціонування системи $t = 3,4$ с.

Отримані результати дають можливість врахувати вплив τ на ефективність систем добування інформації та визначати час, необхідний на виконання поставленої функціональної задачі.

3 Системи із зворотним зв'язком

Розглянемо ситуацію, коли між двома системами організовано обмін інформацією. Нехай, $I_1 = I_1(t)$, $I_2 = I_2(t)$ — інформація, яка накопичується в системах, K_1, K_2 — константи швидкості збільшення кількості інформації. В першу систему інформація надходить з другої системи із запізнюванням на час τ . Тоді можна записати систему рівнянь

$$\frac{dI_1}{dt} = K_2 I_2(t - \tau), \quad (16)$$

$$\frac{dI_2}{dt} = K_1 I_1. \quad (17)$$

Будемо аналізувати характеристики першої системи, тобто $I = I_1$. Розкладаючи праву частину рівняння (16) в ряд Тейлора та утримуючи два перших члени ряду, знаходимо

$$\frac{dI_1}{dt} = K_2 I_2 - K_2 \tau \frac{dI_2}{dt}. \quad (18)$$

На підставі залежностей (17), (18) визначаємо

$$\frac{d^2 I_1}{dt^2} + K_1 K_2 \tau \frac{dI_1}{dt} - K_1 K_2 I_1 = 0. \quad (19)$$

Приймаючи до уваги залежність (19), складаємо характеристичне рівняння

$$\lambda^2 + K_1 K_2 \tau \lambda - K_1 K_2 = 0$$

та визначаємо його корені

$$\lambda_{1,2} = -\frac{K_1 K_2 \tau}{2} \pm \sqrt{\frac{(K_1 K_2 \tau)^2}{4} + K_1 K_2}. \quad (20)$$

Якщо A_1, A_2 — постійні величини, що визначаються із початкових умов, то рішення диференціального рівняння (19) має наступний вигляд:

$$I_1 = A_1 \exp(\lambda_1 t) + A_2 \exp(\lambda_2 t). \quad (21)$$

На підставі рівнянь (17), (18) знаходимо

$$K_2 I_2 = \frac{dI_1}{dt} + K_1 K_2 \tau I_1. \quad (22)$$

Враховуючи залежності (21), (22), запишемо

$$I_2 = \frac{1}{K_2} A_1 (K_1 K_2 \tau + \lambda_1) \exp(\lambda_1 t) + \frac{1}{K_2} A_2 (K_1 K_2 \tau + \lambda_2) \exp(\lambda_2 t). \quad (23)$$

За початкової умови $t = 0$ з формул (21), (23) визначаємо початкові значення кількості інформації

$$I_{10} = A_1 + A_2, \quad (24)$$

$$I_{20} = \frac{1}{K_2} A_1 (K_1 K_2 \tau + \lambda_1) + \frac{1}{K_2} A_2 (K_1 K_2 \tau + \lambda_2). \quad (25)$$

На підставі системи рівнянь (24), (25) знаходимо

$$A_1 = \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} [I_{10} (K_1 K_2 \tau + \lambda_2) - K_2 I_{20}]; \quad (26)$$

$$A_2 = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} [I_{10} (K_1 K_2 \tau + \lambda_1) - K_2 I_{20}]. \quad (27)$$

На підставі формул (21), (23), (26), (27) складаємо матричне рівняння

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{10} \\ I_{20} \end{bmatrix}, \quad (28)$$

$$A_{11} = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} [m_1 \exp(\lambda_2 t) - m_2 \exp(\lambda_1 t)],$$

$$A_{12} = \frac{K_2}{\lambda_1 - \lambda_2} [\exp(\lambda_1 t) - \exp(\lambda_2 t)],$$

$$A_{21} = \frac{m_1 m_2}{K_2 (\lambda_1 - \lambda_2)} [\exp(\lambda_2 t) - \exp(\lambda_1 t)],$$

$$A_{22} = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} [m_1 \exp(\lambda_1 t) - m_2 \exp(\lambda_2 t)],$$

$$m_1 = K_1 K_2 \tau + \lambda_1,$$

$$m_2 = K_1 K_2 \tau + \lambda_2.$$

Приймаючи до уваги, що $C_n = dI_c/dt$, де $I_c = I_1$, на підставі рівняння (28) визначаємо

$$C_n = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} (m_3 I_{10} + m_4 K_2 I_{20}), \quad (29)$$

$$m_3 = m_1 \lambda_2 \exp(\lambda_2 t) - m_2 \lambda_1 \exp(\lambda_1 t),$$

$$m_4 = \lambda_1 \exp(\lambda_1 t) - \lambda_2 \exp(\lambda_2 t).$$

Приймаючи до уваги залежність (4), запишемо

$$dG = -K C_n dt. \quad (30)$$

Інтегруючи ліву частину рівняння (30) від G_0 до G , а праву від 0 до t та враховуючи залежність (29), знаходимо

$$G = G_0 + \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} (m_5 K I_{10} + m_6 K K_2 I_{20}), \quad (31)$$

$$\begin{aligned} m_5 &= m_2 \exp(\lambda_1 t) - m_1 \exp(\lambda_2 t) + m_1 - m_2, \\ m_6 &= \exp(\lambda_2 t) - \exp(\lambda_1 t). \end{aligned}$$

Розклавши експоненціальні функції в ряд та обмежившись двома першими членами ряду, на підставі формули (31) визначаємо

$$G \approx G_0 + \frac{KI_{10}}{\lambda_1 - \lambda_2} (m_2 \lambda_1 - m_1 \lambda_2) t - KK_2 I_{20} t. \quad (32)$$

На підставі залежності (32) знаходимо час, необхідний для виконання поставленої задачі

$$t \approx \frac{(G_0 - G)(\lambda_1 - \lambda_2)}{KK_2 I_{20}(\lambda_1 - \lambda_2) - KI_{10}(m_2 \lambda_1 - m_1 \lambda_2)}. \quad (33)$$

Прийmemo до уваги, що $\lambda_1 > \lambda_2$, причому $\lambda_1 > 0$, $\lambda_2 < 0$. Оскільки $G_0 - G > 0$, то рішення щодо часу існує, якщо знаменник у формулі (33) відповідає умові

$$KK_2 I_{20}(\lambda_1 - \lambda_2) > KI_{10}(m_2 \lambda_1 - m_1 \lambda_2). \quad (34)$$

Співвідношення (34) дає можливість визначити обмеження на час запізнювання інформації

$$\tau < \frac{I_{20}}{K_1 I_{10}}. \quad (35)$$

Проведемо системно-інформаційний аналіз наступної ситуації: $P_0 = 0,1$; $P = 0,9$; $K = 0,1$; $K_1 = 0,5$ (1/с); $K_2 = 2$ (1/с); $\tau = 2$ с; $I_{10} = 1$; $I_{20} = 2$. Визначаємо $G_0 = \ln(1 - P_0) = -0,1054$, $G = \ln(1 - P) = -2,3026$. Перевіряємо виконання умови (35): $\tau < 4$ с, отже умова виконується. Приймаючи до уваги рівняння (20), (28), знаходимо $\lambda_1 = 0,414$; $\lambda_2 = -2,414$; $m_1 = 2,14$; $m_2 = -0,414$. Отже, на підставі залежності (33) визначаємо $t \approx 10,99$ с.

Отримані результати дають можливість оцінювати вплив запізнювання інформації на ефективність систем із зворотним зв'язком та визначати час, необхідний для виконання поставленої функціональної задачі.

4 Системи з втратами інформації

В умовах інформаційного конфлікту швидкість зростання кількості інформації I_c зменшується за рахунок збільшення кількості хибної (або втраченої) інформації I_b . Тоді можна записати

$$\frac{dI_c}{dt} = K_1 I_c - K_2 I_b, \quad (36)$$

де K_1 — константа швидкості збільшення I_c за рахунок надходження I_c ; K_2 — константа швидкості зменшення I_c за рахунок надходження I_b .

В умовах інформаційного конфлікту радіопротидія починається не миттєво, а через деякий час

τ , необхідний для прийняття рішення. Для опису змін I_c та I_b доцільно скористатися методом аналогій [1, 15]. Додатково необхідно врахувати час τ . Отже, якщо a — постійний коефіцієнт, $x = x(t)$ — нарощування I_c та I_b , то можна записати

$$I_c = I_0 + x(t), I_b = ax(t - \tau). \quad (37)$$

Розкладаючи функцію $x(t - \tau)$ в ряд Тейлора та утримуючи два перших члени ряду, знаходимо

$$I_b = ax - a\tau \frac{dx}{dt}. \quad (38)$$

На підставі залежностей (36), (37), (38) визначаємо

$$\frac{dx}{A - x} = D dt, \quad (39)$$

$$A = \frac{K_1 I_0}{aK_2 - K_1}, \quad (40)$$

$$D = \frac{aK_2 - K_1}{1 - aK_2\tau}. \quad (41)$$

Після інтегрування лівої частини рівняння (39) від 0 до x , а правої від 0 до t , запишемо

$$x = A[1 - \exp(-Dt)]. \quad (42)$$

Приймаючи до уваги залежності (37), (38), (42), визначаємо

$$I_c = I_0 + A[1 - \exp(-Dt)]; \quad (43)$$

$$I_b = aA[1 - (1 + D\tau)\exp(-Dt)]. \quad (44)$$

Відповідно до формули (4) запишемо

$$dG = -KC_n dt, \quad (45)$$

де $C_n = dI_c/dt$. Інтегруючи ліву частину рівняння (45) від G_0 до G , а праву від 0 до t , та враховуючи залежності (36), (43), (44), знаходимо

$$G = G_0 - KA[1 - \exp(-Dt)]. \quad (46)$$

На підставі формули (46) визначаємо усталене значення

$$G_{ст} = \lim_{t \rightarrow \infty} G = G_0 - KA. \quad (47)$$

Приймаючи до уваги залежності (46), (47) визначаємо час, необхідний для виконання поставленої задачі

$$t = \frac{1}{D} \ln \frac{1}{G - G_{ст}}. \quad (48)$$

Відповідно до формул (40), (41), (48) запишемо

$$\begin{aligned} t = & \frac{1 - aK_2\tau}{aK_2 - K_1} \cdot \ln \frac{KK_1 I_0}{KK_1 I_0 - (G_0 - G)(aK_2 - K_1)}. \quad (49) \end{aligned}$$

Аналіз залежностей (42), (46) показує, що $A > 0$, $D > 0$. Отже, на підставі формул (40), (41) можна записати

$$aK_2 - K_1 > 0, \quad (50)$$

$$1 - aK_2\tau > 0. \quad (51)$$

З формули (51) знаходимо

$$\tau < \frac{1}{aK_2}. \quad (52)$$

Аналізуючи знаменник логарифмічної функції рівняння (49), визначаємо

$$G_0 - G < \frac{KK_1I_0}{aK_2 - K_1}. \quad (53)$$

Проведемо системно-інформаційний аналіз наступної ситуації: $P_0 = 0,1$; $P = 0,9$; $\tau = 4$ с; $I_0 = 1$; $a = 0,1$; $K_1 = 0,02$ (1/с); $K_2 = 0,3$ (1/с); $K = 2$. Визначаємо $G_0 = \ln(1 - P_0) = -0,154$, $G = \ln(1 - P) = -2,3026$. Перевіряємо виконання умов (50), (51), (52), (53) та встановлюємо, що всі вони виконуються. На підставі формули (49) знаходимо $t = 70,18$ с.

Отримані результати дають можливість прогнозувати наслідки інформаційного конфлікту, який розгортається в умовах нарощування інформаційних потенціалів та запізнювання реакції однієї із сторін конфлікту. Виходячи із вимог до ефективності функціонування системи в умовах втрат інформації, можна визначити необхідний час її роботи.

5 Аналіз отриманих результатів

Функціонування РЕС в умовах навмисних завад та втрат інформації викликає необхідність ретельного аналізу їх реальних та потенційних характеристик, визначення необхідного часу роботи і обмежень на час запізнювання інформації. Формалізація та вирішення поставлених задач може базуватися на використанні співвідношень (4) – (7) з подальшим застосуванням моделей щодо $I(t)$. В разі диференціально-поліномної моделі для $I(t)$ стає можливим визначення часу виконання поставленої задачі, початкового та передбаченого значення ефективності РЕС. В умовах організації інформаційного обміну між системами встановлюється необхідний час роботи та обмеження на час запізнювання інформації відповідно до співвідношень (33), (35). В умовах інформаційного конфлікту радіопротибля починається через деякий час τ , необхідний для прийняття рішення. На підставі рівняння (36) та методу аналогій визначається час виконання поставленої задачі відповідно до формули (50) та обмеження на час прийняття рішення згідно умови (52).

Таким чином, отримані результати доповнюють відомі дані щодо втрат інформації у динамічних системах [2, 3]. З іншого боку, тлумачення своєчасності надходження інформації переводиться на якісно новий рівень [11]. Своєчасність інформування пов'язується з ефективністю РЕС в критичних режимах функціонування. В разі використання аналогій з електричними колами час τ розглядають як аналог опору та додатково оперують ригідністю (аналогом індуктивності) та пам'яттю (аналогом ємності) [14]. В процесі складання моделі не враховується той факт, що ймовірність P асимптотично наближається до свого потенційно можливого максимального значення. Аналіз рівнянь (2), (3) показує, що замість прийнятого в інформаційних аналогах електричних кіл відношення $\log(P/P_0)$ необхідно розглядати відношення $\ln(g_0/g)$, де $g_0 = 1 - P_0$, $g = 1 - P$, або різницю $G_0 - G$. Комплект моделей може бути створеним на підставі рівнянь (12), (32), (46). Прийемо до уваги, що в останні роки інформаційним моделям відводиться все більше уваги [11, 16]. Отримані результати доповнюють перелік відомих інформаційних моделей та дають можливість прогнозувати наслідки критичних режимів функціонування радіоелектронних систем.

В критичних ситуаціях ряд цільових показників системи або функціональних характеристик середовища виходять за допустимі межі і створюють умови для такого функціонування об'єкта, яке призводить до загрози виникнення аварії або катастрофи. Тому розробку моделей і методів керування в таких ситуаціях необхідно розглядати як актуальну задачу [17]. Співвідношення (13), (33), (48) дають можливість враховувати фактор часу, який грає суттєву роль для наслідків критичних подій.

Висновки

Отримані результати показують, що в критичних режимах функціонування РЕС фактор часу має суттєве значення та впливає як на показники ефективності РЕС, так і на їх потенційні можливості. Для систем добування інформації стало можливим враховувати час, необхідний для обробки інформації, використовувати типову прогнозну модель щодо закономірності збільшення кількості інформації, визначити ефективність та необхідний час роботи системи.

Аналіз роботи систем із зворотним зв'язком в умовах запізнювання інформації дав можливість встановити обмеження на допустимий час запізнювання, визначити ефективність та необхідний час роботи систем.

Для систем з втратами інформації в умовах інформаційного конфлікту у разі збільшення інформаційних потенціалів та запізнюванні реакції однією із сторін конфлікту встановлено наступні показники:

1. Реальну та потенційну ефективність систем.
2. Обмеження на можливу ефективність систем.
3. Допустимий час запізнювання реакції однією із сторін конфлікту.
4. Час, необхідний для виконання поставленої функціональної задачі.

Отримані результати дають можливість перейти на якісно новий рівень аналізу РЕС, оцінювати їх ефективність в критичних режимах функціонування, прогнозувати необхідний час роботи, визначати обмеження на час запізнювання інформації. Вони можуть використовуватись в процесі модернізації існуючих РЕС та на початковому етапі проектування нових РЕС.

Перелік посилань

1. Кузнецов Ю. М. Прогнозування розвитку технічних систем / Ю. М. Кузнецов, Р. А. Склярів. – К. : ТОВ «ЗМОК»-ПП «ГНОЗИС». – 2004. – 323 с.
2. Geiger B. C. Some results on the information loss in dynamical systems / B.C. Geiger, G. Kubin // Proc. IEEE Int. Sym. Wireless Communication Systems (ISWCS), Aachen, Nov. 2011, pp. 794-798.
3. Geiger B. C. On the Information Loss in Memoryless Systems: The Multivariate Case / B. C. Geiger, Kubin G. // Proc. Int. Zurich Seminar on Communications, 2012, pp. 32-35, extended version available: arXiv:1109.4856 [cs.IT].
4. Леньшин А. В. Бортовые системы и комплексы радиоэлектронного подавления / А. В. Леньшин. – Воронеж. : ИЦП «Научная книга». – 2014. – 590 с.
5. Бичковський В. О. Оцінювання якісних характеристик радіоелектронних систем в критичних режимах функціонування / В. О. Бичковський, Ю. Ю. Реутська // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2017. № 71. – с. 60-66.
6. Ильясов Б. Г. Управление многосвязными системами с запаздыванием на основе логических регуляторов / Б. Г. Ильясов, Г. А. Сaitова, И. И. Сабитов // Всероссийское совещание по проблемам управления. ВСПУ 2014. Москва, 16-19 июня. – с. 1370-1376.
7. Кузьмина А. А. Синтез наблюдателя для системы с запаздыванием по выходным переменным / А. А. Кузьмина // «Молодой ученый». Том 1. – 2011. – № 5 (28). – с. 70-74.
8. Тхан В. З. Системы автоматического управления объектами с запаздыванием: робастность, быстродействие, синтез / В. З. Тхан, Д. Ю. Берчук // Программные продукты и системы. – 2017. № 1 (30). – с. 45-50.
9. Goncharov V. and Rudnicki V. Real interpolation method in automatic control systems self-adjustment problem // Systems Science, vol.36, no. 3, 2010, pp. 35-37.

10. Ахмеджанов Ф. М. Анализ и синтез систем управления при наличии параметрических неопределенностей и запаздывания в модели объекта / Ф. М. Ахмеджанов, В. Г. Крымский, Р. А. Кудаяров // Вестник УГАТУ. Серия Управление, ВТ и И. – 2007. – Том 9, № 4 (22). – с. 24-33.
11. Згуровський М. З. Основи системного аналізу / М.З. Згуровський, Н.Д. Панкратова. – К. : Видавнича група ВНУ. – 2007. – 544 с.
12. Шилейко А. В. Введение в информационную теорию систем / А. В. Шилейко, В. Ф. Кочнев, Ф. Ф. Химущин. – М. : Радио и связь. – 1985. – 278 с.
13. Горский Ю. М. Системно-информационный анализ процессов управления / Ю. М. Горский. – Новосибирск. : Наука. – 1988. – 327 с.
14. Денисов А. А. Информационные основы управления / А. А. Денисов. – Л. : Энергоатомиздат. – 1983. – 72 с.
15. Стромберг А. Г. Физическая химия / А. Г. Стромберг, Д. П. Семченко. – М. : Высшая школа. – 1988. – 496 с.
16. Дубовой В. М. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів: навчальний посібник / В. М. Дубовой. – Вінниця. : ВНТУ. – 2012. – 308 с.
17. Рудакова Г. В. Моделі та методи керування організаційно-технічними системами в критичних режимах функціонування / Г. В. Рудакова. – Херсон : Видавництво ПП Вишемирський В. С. – 2014. – 316 с.

References

- [1] Kuznetsov Yu. M. and Skliarov R. A. (2004) *Prohnozuvannya rozvytku tekhnichnykh sistem* [Prognostication of technical systems development], Kyiv, ZMOK-PP HNOZYS, 323 p.
- [2] Geiger B.C. and Kubin G. (2011) Some results on the information loss in dynamical systems. *2011 8th International Symposium on Wireless Communication Systems*. DOI: 10.1109/iswcs.2011.6125271
- [3] Geiger B. C. and Kubin G. (2012) On the Information Loss in Memoryless Systems: The Multivariate Case, *Proc. Int. Zurich Seminar on Communications*, pp. 32-35.
- [4] Len'shin A. V. (2014) *Bortovye sistemy i komplekсы radioelektronnogo podavleniya* [On-board systems and complexes of electronic suppression], Voronezh, Nauchnaya kniga, 590 p.
- [5] Bychkovskiy V. O. and Reutska Yu. Yu. (2017) Evaluation of the quality characteristics of the radio electronic systems in the operation critical modes. *Visn NTUU KPI, Ser. Radiotech. Radioparato buduv.*, no. 71, pp. 60-66. DOI: 10.20535/RADAP.2017.71.60-66
- [6] P'yasov B. G., Saitova G. A. and Sabitov I. I. (2014) *Upravlenie mnogosvyaznymi sistemami s zapazdyvaniem na osnove logicheskikh regulyatorov* [Control of multi-connected systems with lag based on logic controls]. *XII Vserossiiskoe soveshchanie po problemam upravleniya VSPU-2014*, pp. 1370-1376.
- [7] Kuz'mina A. A. (2011) Sintez nablyudatelya dlya sistemy s zapazdyvaniem po vyhodnym peremennym [The synthesis of the observer for a system with a delay in the output variables]. *Molodoi uchenyi*, Vol 1., No 5 (28), pp. 70-74.
- [8] Than V.D. and Berchuk D.Yu. (2017) Time delay automatic control systems: robustness, response time, synthesis. *Software & Systems*, Vol. 30, No. 1, pp. 45-50. DOI:10.15827/0236-235X.117.045-050

- [9] Goncharov V. and Rudnicki V. (2010) Real interpolation method in automatic control systems self-adjustment problem. *Systems Science*, Vol.36, No. 3, pp. 35-37.
- [10] Ahmedzhanov F. M., Krymskij V. G. and Kudayarov R. A. (2007) Analiz i sintez sistem upravleniya pri nalichii parametricheskikh neopredelennostlej i zapazdyvaniya v modeli ob"ekta [Analysis and synthesis of control systems in the presence of parametric uncertainties and delays in the object model]. *Vestnik UGATU Journal. Seriya Upravlenie, VT i I*, Vol. 9. No 4 (22), pp. 24-33.
- [11] Zhurovskiy M. Z. and Pankratova N.D. (2007) *Osnovy sistemnoho analizu* [Basics of system analysis], Kuiv, Vydavnycha hrupa BHV, 544 p.
- [12] Shileiko A. V., Kochnev V. F. and Khimushin F. F. (1985) *Vvedenie v informatsionnyu teoriyu sistem* [Introduction to Information Systems Theory], Moscow, Radio i svyaz', 278 p.
- [13] Gorskii Yu. M. (1988) *Sistemno-informatsionnyi analiz protsessov upravleniya* [System information analysis of management processes], Novosibirsk, Nauka, 327 p.
- [14] Denisov A. A. (1983) *Informatsionnye osnovy upravleniya* [Information bases of management], Energoatomizdat, 72 p.
- [15] Stromberg A. G. and Semchenko D. P. (1988) *Fizicheskaya khimiya* [Physical chemistry], Moscow, Vysshaya shkola, 496 p.
- [16] Dubovoi V. M. (2012) *Identifikatsiia ta modeliuvannia tekhnologichnykh ob'ektiv* [Identification and modeling of technological objects], Vinnytsia, VNTU, 308 p.
- [17] Rudakova H. V. (2014) *Modeli ta metody keruvannia orhanizatsiino-tekhnichnymy systemamy v krytychnykh rezhymakh funktsionuvannia* [Models and methods of management of organizational and technical systems in critical operating modes], Kherson, 316 p.

Фактор времени в критических режимах функционирования радиоэлектронных систем

Бычковский В. А., Реутская Ю. Ю., Чмелев В. О.

На основании информационного подхода к анализу процессов в радиоэлектронных системах установлены основные соотношения относительно необходимого времени их работы и ограничений на время запаздывания информации. Проанализированы типичные ситуации критических режимов функционирования радиоэлектронных систем и влияние ложной или потерянной информации на их качественные характеристики. Определены показатели установившегося режима функционирования систем. Проведен системно-информационный анализ процессов с использованием типовых прогнозных моделей и метода аналогий.

Ключевые слова: радиоэлектронная система; критические режимы; информация; фактор времени

Time factor in critical modes of radio electronic system functioning

Bychkovskiy V. O., Reutskaya Yu. Yu., Chmelov V. O.

Introduction. At the present stage of the development of technical systems, it is important to predict their development, quality, and process characteristics. This also applies to radio electronic systems. Sufficiently unfavorable situations for the functioning of radio electronic systems arise in the context of information conflicts, when it becomes necessary to predict the consequences of information loss or the effect of deliberate interference on the capabilities of radio electronic systems. In critical situations the time factor plays a significant role. On the one hand, information that comes with a delay and loses its relevance. From another point of view, it is necessary to carry out the assigned task within the prescribed time. Thus, the task of determining time indicators of the functioning of radio electronic systems in critical regimes remains urgent and requires further research.

Problem statement. Take into account that the effectiveness of the radio electronic systems functioning can be estimated by the performing the task probability. In the process of information flow this probability increases and asymptotically come close to one. In critical modes of operation due to the uncertainty and unpredictability of emerging situations the processing time of information increases. Thus the available information which is perceived by the system is different from the information that is provided by the regular mode. It is necessary to find out the influence of time on processing information on the regularity of the change in the probability of accomplishing the task. It is necessary to estimate the radio electronic operation time, which is necessary to perform the task. It is necessary to set restrictions on the processing time of information and to clarify the requirements for the main parameters that characterize the operation of radio electronic systems in critical modes. From a practical point of view it is necessary to compare real and potential indicators of radio electronic systems and to provide for the possibility of predicting the consequences of their functioning critical modes.

Results. On the basis of the informational approach to the analysis of processes in radio electronic systems, the main relations regarding the necessary time of their work and the restrictions on the information delay time are established. Typical situations of critical operating modes of radio electronic systems and the effect of false or lost information on their qualitative characteristics are analyzed. Indicators of a systems operation stable mode are defined. System information analysis of processes using typical forecasting models and the method of analogies is carried out. The effectiveness of the radio electronic systems depends on the amount and value of information that comes to them in the process of functioning. Taking into account the peculiarities of the work of the radio electronic systems In critical operating modes, we will consider useful information and misleading or lost information. Analysis of the work of systems with feedback in the conditions of information delay, allowed to set limits on the permissible delay time, determine the efficiency and the required operating time of the systems. For systems with information losses in the information conflict context in conditions of

information capacities increasing and delaying the reaction of one of the parties to the conflict the following indicators are established: real and potential systems efficiency; limitations on the possible efficiency of systems; admissible delay time of reaction by one of the parties to the conflict; necessary time for the performance of the assigned functional task.

Conclusions. The obtained results show that in critical modes of the functioning of radio electronic systems, the factor influences both the radio electronic systems performance indicators and their potential capabilities. For

information systems that extract information, it became possible to take into account the time that is necessary for processing information, use a typical predictive model for the regularity of increasing the information amount and determine the efficiency and necessary time of the system operating. These results can be used in the process of the radio electronic systems modernization and at the initial stage of radio electronic systems designing.

Key words: radio electronic system; critical modes; information; time factor