

## МАКРОСКОПІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ РАДІОКЕРУВАННЯ БЕЗПЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ

*Бичковський В. О., к. т. н., доцент; Реутська Ю. Ю., асистент*

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Сучасний етап розвитку авіації характеризується безперервним удосконаленням техніки, ефективне використання якої без організації процесу керування не представляється можливим. Останні досягнення мікроелектроніки та технологій виробництва відкрили можливості створення та ефективного використання малогабаритних безпілотних літальних апаратів різноманітного призначення [1, 2]. Виходячи із сучасних наукових концепцій процеси керування розгортаються у просторі і часі та безперервно пов'язуються з перетворенням речовини, енергії та інформації. Таким чином, стає зрозумілою доцільність використання математичного апарату теорії інформації для аналізу як процесів керування у цілому, так і процесів радіокерування [3, 4, 5, 6].

З макроскопічної точки зору система радіокерування безпілотного літального апарата вирішує просторово-часову задачу доставки апарату з деякого об'єму  $Q_0$  в менший об'єм  $Q_{Ц}$ , необхідний для виконання поставленої задачі. Для розкриття динаміки процесу радіокерування введемо у розгляд поряд з об'ємом  $Q_0$  деякий поточний об'єм  $Q$ , який зменшується в процесі наведення завдяки надходженню інформації  $I = I(t)$  від керуючої частини системи. Якщо  $K$  — константа швидкості зменшення  $Q$ , то можна записати

$$\frac{dQ}{dI} = -KQ. \quad (1)$$

На підставі рівняння (1) знаходимо  $d \ln Q = -KdI$ . Оскільки ентропія  $H = \ln Q$ , то

$$dH = -KdI. \quad (2)$$

В процесі керування інформація подається по двох каналах — вертикальному ( $I_1 = I_1(t)$ ) та горизонтальному ( $I_2 = I_2(t)$ ). Оскільки  $I = I(I_1, I_2)$ , то можна записати

$$dI = \left( \frac{\partial I}{\partial I_1} \right) dI_1 + \left( \frac{\partial I}{\partial I_2} \right) dI_2. \quad (3)$$

Введемо у розгляд парціальні величини  $x_1 = \partial I / \partial I_1$ ,  $x_2 = \partial I / \partial I_2$ . Тоді рівняння (3) приймає наступний вигляд:

$$dI = x_1 dI_1 + x_2 dI_2. \quad (4)$$

Якщо збільшувати інформацію в каналах невеликими порціями, то  $x_1$  та  $x_2$  можна вважати постійними величинами. Оскільки швидкість надходження керуючої інформації  $C_K = dI/dt$ ,  $C_1 = dI_1/dt$ ,  $C_2 = dI_2/dt$ , то на підставі формул (2), (4) визначаємо

$$\frac{dH}{dt} = -K(x_1 C_1 + x_2 C_2). \quad (5)$$

Інтегрування рівняння (5) за початкових умов  $t = 0$ ,  $H = H_0 = \ln Q_0$  дає наступний результат:

$$H = H_0 - K \int_0^t (x_1 C_1 + x_2 C_2) dt. \quad (6)$$

В загальному випадку  $C_1 = C_1(t)$ ,  $C_2 = C_2(t)$ . Для подальшого аналізу скористуємося відомою методикою [7]. Якщо  $x_1$  та  $x_2$  — постійні величини, то після інтегрування рівняння (4) знаходимо

$$I = x_1 I_1 + x_2 I_2. \quad (7)$$

Тепер продиференціюємо рівняння (7) за умови, що  $x_1$  та  $x_2$  — змінні величини:

$$dI = (I_1 dx_1 + I_2 dx_2) + (x_1 dI_1 + x_2 dI_2). \quad (8)$$

На підставі рівнянь (4), (8) визначаємо

$$I_1 dx_1 + I_2 dx_2 = 0. \quad (9)$$

Таким чином, можна записати

$$dx_2 = -\frac{I_1}{I_2} dx_1, \quad (10)$$

Інтегруючи ліву частину рівняння (10) від  $x_{2a}$  до  $x_{2b}$ , а праву від  $x_{1a}$  до  $x_{1b}$ , знаходимо

$$x_{2b} = x_{2a} - \int_{x_{1a}}^{x_{1b}} \frac{I_1}{I_2} dx_1. \quad (11)$$

Рівняння (11) дає можливість встановити зв'язок між парціальними величинами. Якщо об'єм  $Q$  поступово зменшується та асимптотично наближається до свого потенційно можливого мінімального значення  $Q_{\Pi}$ , то можна записати

$$\frac{dQ}{dI} = -K(Q - Q_{\Pi}). \quad (12)$$

Введемо у розгляд різницю об'ємів  $Q_B = Q - Q_{\Pi}$ . Тоді на підставі формули (12) визначаємо

$$\frac{dQ_B}{dI} = -KQ_B. \quad (13)$$

Якщо  $H_B = \ln Q_B$ , то на підставі рівняння (13) знаходимо

$$dH_B = -Kdl . \quad (14)$$

Аналіз рівнянь (2), (14) показує, що всі попередні результати можна поширити на дану ситуацію, зробивши перехід від  $H_0$  до  $H_{B0}$  та від  $H$  до  $H_B$ . Представляється можливим скористатися методом аналогій та перенести результати, отримані в інших галузях знань, на задачі радіокерування. Цей висновок відноситься до формул (7 – 11) та рівняння (9), яке після процедури нормування відповідає рівнянню Гіббса-Дюгема [7]. Отримані результати дають можливість прогнозувати якісні характеристики процесу радіокерування рухомими об'єктами.

#### **Перелік посилань**

1. Рэндал У. Биард. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика. / Рэндал У. Биард, Тимати У. МакЛэйн. — М.: Техносфера, 2015. — 312 с.
2. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов. / Под ред. М. Н. Красильщикова, Г. Г. Серебрякова. — М.: Физматлит, 2009. — 556 с.
3. Попович М. Г. Теорія автоматичного керування. / М. Г. Попович, О. В. Ковальчук. — К.: Либідь, 2007. — 656 с.
4. Денисов А. А. Информационные основы управления. — Л.: Энергоатомиздат, 1983. — 72 с.
5. Коган И. М. Теория информации и проблемы ближней радиолокации. — М.: Сов. радио, 1968. — 144 с.
6. Бычковский В. А. Авиационные системы радиоуправления. — К.: КВВАИУ, 1985. — 100 с.
7. Стромберг А. Г. Физическая химия. / А. Г. Стромберг, Д. П. Семченко. — М.: Высшая школа, 1988. — 496 с.

#### **Анотація**

На підставі макроскопічного підходу до аналізу процесу радіокерування розглянуто залежності між ентропією об'єкта керування та кількістю і швидкістю надходження керуючої інформації. Враховується інформаційна підтримка процесу керування по двох каналах. Проаналізована ситуація, яка враховує потенційні можливості керування.

**Ключові слова:** керування, інформація, канали, парціальні величини.

#### **Аннотация**

На основе макроскопического подхода к анализу процесса радиоуправления рассмотрены зависимости между энтропией объекта управления, количеством и скоростью поступления управляющей информации. Учитывается информационная поддержка процесса управления по двум каналам. Проанализирована ситуация, которая учитывает потенциальные возможности управления.

**Ключевые слова:** управление, информация, каналы, парциальные величины.

#### **Abstract**

The relationship between the control object entropy, quality and speed admission control information considered on the basis of the macroscopic approach to the analysis of radio control. The information support of control process the two channels accounted. The situation, that takes account the possibility potential for control is analyzed.

**Keywords:** control, information, channels, partial quantities.