

ЕРГОНОМІЧНІ ОБМЕЖЕННЯ В ІНФОРМАЦІЙНО-  
ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

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

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

Функціональні можливості сучасних інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) з людиною-оператором (ЛО) суттєво залежать від рівня інформаційної підтримки, психофізичного стану та неупорядкованих станів ЛО. Ці складові розглядаються окремо, що не дає можливості встановити обмеження, зумовлені людським фактором (ергономічні обмеження) [1, 2, 3]. Таким чином, актуальною є задача комплексного оцінювання ергономічних обмежень в ІВС. Для розв'язання поставленої задачі прийємо до уваги, що відсутність інформації викликає у ЛО численні неупорядковані стани, які характеризуються збільшенням кількості невиконаних операцій  $Q$ . Нехай  $Q_{\max}$  — потенційне можливе максимальне значення  $Q$ . Тоді згідно моделі Гомперца

$$Q = Q_{\max} \exp[-b \exp(-K_0 t)], \quad (1)$$

де  $b$ ,  $K_0$  — постійні коефіцієнти [4]. Прологарифмуємо ліву та праву частини рівняння (1):

$$\ln Q = \ln Q_{\max} - b \exp(-K_0 t). \quad (2)$$

Враховуючи початкові умови  $t = 0$ ,  $Q = Q_0$ , знаходимо

$$b = \ln \frac{Q_{\max}}{Q_0}. \quad (3)$$

Введемо позначення  $H = \ln Q$ ,  $H_{\max} = \ln Q_{\max}$ . Тоді на підставі формули (2) можна записати

$$H = H_{\max} - b \exp(-K_0 t), \quad (4)$$

$$\frac{dH}{dt} = b K_0 \exp(-K_0 t). \quad (5)$$

Розглянемо ситуацію, коли інформація надходить до ЛО. Якщо  $K$  — константа швидкості зменшення  $Q$ , то  $dQ/dI = -KQ$ , або  $d \ln Q = -K dI$ . Таким чином,

$$\frac{dH}{dt} = -KC, \quad (6)$$

де  $C = dI/dt$ . На підставі формул (5), (6) знаходимо

$$\frac{dH}{dt} = b K_0 \exp(-K_0 t) - KC. \quad (7)$$

Рівняння (7) дає можливість враховувати два протилежних фактора —

збільшення  $H$  за відсутності інформації  $I$  та зменшення  $H$  в разі надходження інформації  $I$ .

Закономірність збільшення кількості інформації в пам'яті ЛО

$$\frac{dI}{dt} = C_n - \frac{\mu}{T}(I - I_{cm}), \quad (8)$$

де  $C_n$  — швидкість надходження інформації ( $C_n = const$ );  $I_{cm} = I(\infty)$  — кількість інформації, що залишається в пам'яті через досить великий відрізок часу;  $T = a/C_n^{1,1}$ ;  $a = 2.6...6$ ;  $\mu \leq 1$  [2].

Введемо позначення  $K_1 = \mu C_n^{1,1}/a$ . Якщо початкові умови  $t = 0$ ,  $I = I_0$ , то розв'язання рівняння (8) має наступний вигляд

$$I - I_0 = \left( \frac{C_n}{K_1} + I_{cm} - I_0 \right) (1 - \exp(-K_1 t)). \quad (9)$$

Коефіцієнт  $K_1$  залежить від  $\mu$ , а  $\mu$  залежить від характеристик індивідуума, його психофізичного стану та інших факторів.

Розглянемо ситуацію, яка описується залежністю (9). Тоді на підставі формули (7) знаходимо

$$dH = bK_0 \exp(-K_0 t) dt - K \left[ C_n + (I_{cm} - I_0) K_1 \right] \exp(-K_1 t) dt \quad (10)$$

Інтегруючи ліву частину рівняння (10) від  $H_0 = H_{\max} - b$  до  $H$ , праву від 0 до  $t$ , визначаємо

$$H = H_{\max} - (H_{\max} - H_0) \exp(-K_0 t) - K \left[ \frac{C_n}{K_1} + (I_{cm} - I_0) \right] [1 - \exp(-K_1 t)].$$

Отже, враховано вплив надходження інформації на зменшення  $H$ .

Прийmemo до уваги, що в процесі роботи ЛО його продуктивність  $r = r(t)$  змінюється. Саме цей показник враховує особливості індивідуума та його психофізичний стан [3]. В багатьох випадках

$$r = r_{\min} + (r_{\max} - r_{\min}) \left[ 1 + \left( a_1 t - \frac{1}{a_2 t} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (11)$$

Коефіцієнт  $a_1$  характеризує швидкість встановлення фази компенсації, коефіцієнт  $a_2$  характеризує швидкість переходу до фази втоми. Аналіз формули (3) показує, що за умови  $a_1 t = 1/a_2 t$  маємо  $r = r_{\max}$ . Момент часу, коли  $r = r_{\max}$ , знаходиться з умови  $t_m = 1/\sqrt{a_1 a_2}$ . З формули (11) знаходимо

$$R = \frac{1}{D} \left\{ 1 + (D-1) \left[ 1 + b_1^2 N^2 \right]^{1/2} \right\},$$

$$R = \frac{1}{D} \left\{ 1 + (D-1) \left[ 1 + b_2^{-2} N^2 \right]^{1/2} \right\}.$$

де  $b_1 = a_1 t_m$ ;  $b_2 = a_2 t_m$ ;  $N = t/t_m - t_m/t$ ,  $t_m = 1/\sqrt{a_1 a_2}$ ,  $R = r/r_{\max}$ ,  
 $D = r_{\max}/r_{\min}$ .

Для визначення  $K_1$  приймають  $\mu=1$ , отже, особливості індивідуума та його психофізичний стан не розглядаються [2]. Якщо прийняти  $\mu=1-R$ , то ця проблема зникає. Таким чином, на підставі рівняння (8) знаходимо

$$\frac{dI}{dt} = C_n - \frac{1-R}{T} (I - I_{cm}).$$

Отримані результати дають можливість врахувати людський фактор в роботі ІВС, встановити обмеження на функціональні можливості ІВС та перевести процедуру їх аналізу на якісно новий рівень.

#### Перелік посилань

1. Стенін О. А. Автоматичне навчання операторів ергатичних систем. / О. А. Стенін, О. І. Михальов, К. Ю. Мелкумян. — К.: НТУУ «КПІ», 2013. — 180 с.
2. Присняков В. Ф. Математическое моделирование переработки информации оператором человека-машинных систем. / В. Ф. Присняков, Л. М. Приснякова. — М.: Машиностроение, 1990. — 248 с.
3. Ємченко І. В. Методи і технічні засоби митного контролю. — К.: Центр учбової літератури, 2007. — 432 с.
4. Кузнєцов Ю. М. Прогнозування розвитку технічних систем. / Ю. М. Кузнєцов, Р. А. Склярів — К.: ТОВ «ЗМОК»-ПП «ГНОЗИС», 2004. — 323 с.

#### Анотація

На підставі аналізу закономірності збільшення кількості інформації в пам'яті людини-оператора та продуктивності її роботи визначено вплив людського фактора на роботу інформаційно-вимірвальних систем. Враховано вплив відсутності інформації на збільшення ентропії. Враховано час досягнення максимальної продуктивності роботи людини-оператора.

**Ключові слова:** людина-оператор, інформація, продуктивність роботи.

#### Аннотация

На основе анализа закономерности увеличения количества информации в памяти человека-оператора и продуктивности его работы определено влияние человеческого фактора на работу информационно-измерительных систем. Учтено влияние отсутствия информации на увеличение энтропии. Учтено время достижения максимальной продуктивности работы человека-оператора.

**Ключевые слова:** человек-оператор, информация, продуктивность работы.

#### Abstract

Influence of the human factor in the work of information-measuring systems is determined by analyzing the patterns of increasing the information amount in the human operator memory and his work productivity. The information absence influence on the entropy increase is taken into account. Time to reach the maximum productivity of a human operator is taken into account.

**Keywords:** human operator, information, productivity.