

Биков В. Ю. Дослідження динамічних властивостей інтерактивної розв'язувальної системи: 36. наук. праць / За ред. В. Ю. Бикова, Ю. О. Жука / Інститут засобів навчання АПН України - К.: Атіка, 2004- 240 с. – с. 97 – 108.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ІНТЕРАКТИВНОЇ РОЗВ'ЯЗУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

**Биков В. Ю.**

**Інститут засобів навчання АПН України**

У статті наведені результати дослідження на моделях динамічних властивостей людино-машинної інтерактивної розв'язувальної системи з кооперативним управлінням.

Людино-машинну систему ми розглядаємо в розумінні, що дано в [4]. Метою функціонування людино-машинної інтерактивної розв'язувальної системи з кооперативним управлінням [2] (далі - розв'язувальної системи - РС) є досягнення спільного результату розв'язування певної задачі. Причому будуть розглянуті тільки ті з найбільш важливих динамічних властивостей РС, оцінки яких можливі в результаті експериментального визначення і аналізу динамічних характеристик (ДХ) моделі РС, що в термінах теорії автоматичного регулювання відповідає оцінці стійкості РС і якості перехідного процесу її вихідної величини. Мова тут піде про результати імітаційного експерименту з моделлю РС з двостороннім управлінням, в якій обмін повідомленнями (результатами окремих рішень) між людиною-оператором (далі - оператором) і ЕОМ має управляючий і/або інформаційний характер, а розподіл функцій між ними здійснюється динамічно в процесі їх взаємодії на підставі деякого критерію ефективності розв'язування задачі. При цьому забезпечується найкраще співвідношення наявних можливостей оператора і ЕОМ щодо розв'язування даної задачі [3].

Дослідження динамічних властивостей моделі, що розглядається, велись шляхом поєднання аналітичних і експериментальних процедур (теоретико-експериментальним методом), які в даному випадку успішно доповнювали один одного на різних етапах дослідження. При цьому експериментальні дослідження проводились за допомогою методів і засобів імітаційних систем, реалізованих на базі аналого-цифрових засобів досліджень.

### **1. Дослідження стійкості розв'язувальної системи**

Спочатку розглянемо випадок, коли РС - система з постійними в часі параметрами. Далі, застосовуючи метод «заморожування параметрів» [1], розповсюдимо отримані результати і на той випадок, коли РС є системою із змінними і стохастичними параметрами. Зазначимо, що у всіх розглянутих тут випадках структура моделі РС передбачається детермінованою.

Для дослідження стійкості РС достатньо розглянути лише замкнений контур її моделі (рис. 1г), тобто тільки модель лінійної частини розв'язувальної системи (ЛЧРС).

Відповідно (3) і (4) - (див. попередню статтю: Биков В. Ю. Модель інтерактивної розв'язувальної системи: 36. наук. праць / За ред. В. Ю. Бикова, Ю. О. Жука / Інститут засобів навчання АПН України - К.: Атіка, 2004- 240 с. – с. 88 – 97.), запишемо вираз для передаточної функції розімкненої ЛЧРС

$$W_p(p) = W_E(p)W_0(p) = \\ = K_1 K_2 \frac{p\tau_2 + 1}{p\tau_3 + 1} e^{-p(\tau_1 + \tau_4)} = K_p \frac{p\tau_2 + 1}{p\tau_3 + 1} e^{-p\tau_5}, \quad (1)$$

де:  $K_p = K_1 K_2$ ,  $\tau_5 = \tau_1 + \tau_4$ .

Далі, поставимо перед собою мету не тільки отримати умову стійкості РС, а й виділити області стійкості РС, тобто знайти межі допустимих змін значень параметрів моделі РС і встановити ті області їх можливих значень, при яких РС буде стійкою. Оскільки стійкість РС залежить не від самих значень постійних часу моделі РС, а від їх співвідношень, введемо у розгляд відносні параметри

$$\alpha = \tau_2 / \tau_3 \quad \text{та} \quad \beta = \tau_5 / \tau_3.$$

Аналіз (1) приводить до наступних умов, що визначають область стійкості РС:

РС - на межі стійкості, якщо

$$\text{а) } \begin{cases} K_p \leq 1 \\ K_p \alpha = 1 \\ \beta > 0, \end{cases} \quad \text{б) } \begin{cases} K_p > 1 \\ K_p \alpha \leq 1 \\ \beta = \beta_{кр}, \end{cases}$$

РС стійка, якщо

$$\text{а) } \begin{cases} K_p \leq 1 \\ K_p \alpha < 1 \\ \beta \geq 0, \end{cases} \quad \text{б) } \begin{cases} K_p > 1 \\ K_p \alpha \leq 1 \\ \beta < \beta_{кр}, \end{cases}$$

$$\text{де } \beta_{кр} = \sqrt{\frac{(K_p \alpha)^2 - 1}{1 - K_p^2}} \left( \pi - \arctg \sqrt{\frac{(1 - K_p^2) [(K_p \alpha)^2 - 1]}{K_p^2 \alpha + 1}} \right)$$

критичне значення параметру  $\beta$ , що визначає умову знаходження замкнутої ЛЧРС на межі стійкості. В інших випадках РС нестійка. Поверхня  $\Omega$ у межі стійкості РС в координатах  $(K_p, \alpha, \beta)$  описується такими рівняннями:

$$\Omega_y(K_p, \alpha, \beta) = \begin{cases} \Omega_1(K_p, \alpha, \beta) = \beta - \beta_{кр} = 0 & \text{для } K_p > 1 \\ \Omega_2(K_p, \alpha, \beta) = K_p \alpha - 1 = 0 & \text{для } K_p \leq 1. \end{cases} \quad (2)$$

Таким чином, область стійкості РС може бути відображена деяким об'ємом  $V_y$  (рис. 1), що обмежений поверхнею  $\Omega_y$  ( $K_p, \alpha, \beta$ ) і координатними площинами (бо  $K_p \geq 0, \alpha \geq 0, \beta \geq 0$ ).

Таблиця 1

Умови стійкості розв'язувальної системи при різному характері змін параметрів її моделі в часі

Розв'язувальна система із змінними параметрами				
Закони зміни параметрів моделі РС				Умови стійкості РС
$\tau_2(t)$	$\tau_3(t)$	$K_p(t)$	$\alpha(t) = \frac{\tau_2(t)}{\tau_3(t)}$	
$t^{r_2}$	$t^{r_3}$	$t^{r_p}$	$t^{r_2 - r_3}$	$t < 1$
$g_2 t^{2r}$	$g_3 t^r$	$g_p t^r$	$\frac{g_2 t^r}{g_3}$	$t < 2r \sqrt{\frac{g_3}{g_p g_2}}$

Примітки:

- $g_p g_3 < r_1, r_2, r_3, r_p, g_2, g_3, g_p$  - деякі постійні величини;
- $\tau_5$  - для всіх зазначених випадків змінюється задовільним законом.

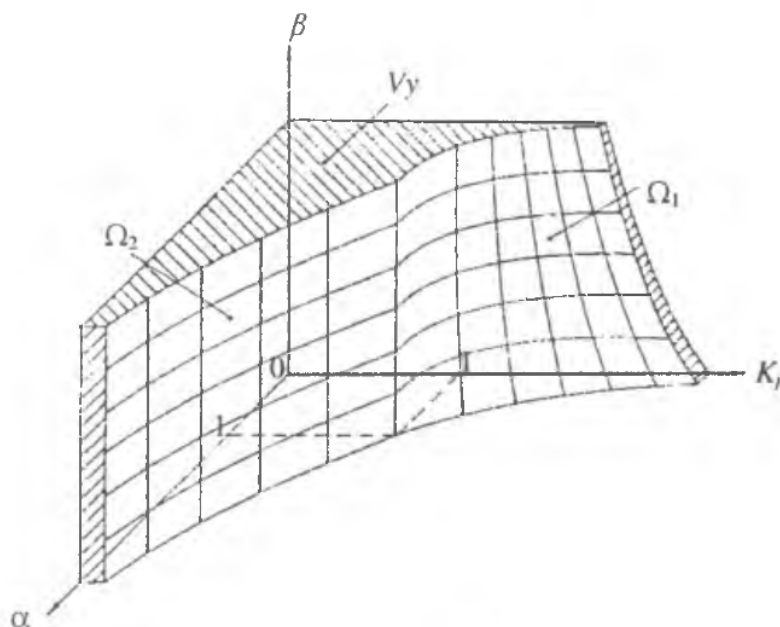


Рис. 1. Об'єм  $V_y$  і поверхні стійкості  $\Omega_1$  і  $\Omega_2$  розв'язувальної системи

Експериментальні дослідження моделі РС (рис. 3 з попередньої статті) підтвердили правильність зроблених теоретичних висновків. На рис. 2 і 3 наведені отримані за допомогою аналого-цифрових засобів дослідження і мітаційної системи графіки областей стійкості РС для різних значень  $K_p, \alpha$  і  $\beta$ , а на рис. 4 - амплітудно-фазочастотна характеристика динамічної частини РС

(ДЧРС), яка ілюструє перехід РС із стійкого (крива 1) через критичний (крива 2) в нестійкий (крива 3, що охоплює точку на комплексній площині з координатами  $-1, j0$ ) стан. Аналіз отриманих результатів дозволяє запропонувати інженерні співвідношення, які надають можливість з достатньою для практики точністю описати область стійкості РС при

$$K_p \gg 1 \text{ і } a \ll 1:$$

$$\beta \leq \begin{cases} -K_p + 2 & \forall K_p [\text{дБ}] \leq \alpha [\text{дБ}] \\ -\infty & \forall K_p [\text{дБ}] > \alpha [\text{дБ}], \end{cases}$$

де  $K_p[\text{дБ}]$ ,  $\alpha[\text{дБ}]$  – значення параметрів моделі РС в децибелах.

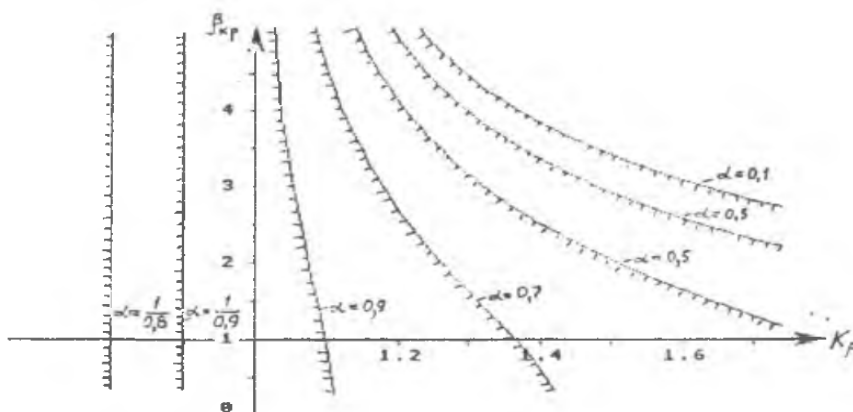


Рис. 2. Графіки  $\beta_{кр}(K_p, \alpha)$ , які визначають границю стійкості розв'язувальної системи

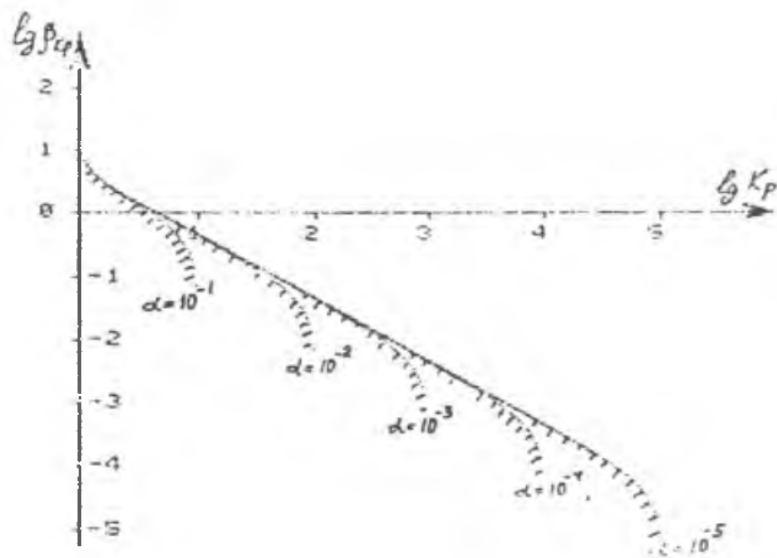


Рис. 3. Графіки  $\beta_{кр}(K_p, \alpha)$ , які визначають границю стійкості розв'язувальної системи

**Імовірність стійкості розв'язувальної системи  
при різному характері змін параметрів її моделі в часі**

Розв'язувальна система із стохастичними параметрами					
Щільність розподілу параметрів моделі РС					Імовірність стійкості РС $P_y$
$f(\tau_2)$	$f(\tau_3)$	$f(K_p)$	$f(\alpha)$		
Випадок 1	$\frac{1}{\tau_2^1}$ , при $\tau_2 \leq \tau_2^1$ 0, при $\tau_2 > \tau_2^1$	$\frac{1}{\tau_3^1}$ , при $\tau_3 \leq \tau_3^1$ 0 при $\tau_3 > \tau_3^1$	$\frac{1}{K_p^1}$ , при $K_p \leq K_p^1$ 0 при $K_p > K_p^1$	$\frac{1}{2\alpha^1}$ , при $\alpha \leq \alpha^1 \frac{1}{2}$ $\frac{\alpha^1}{2\alpha^2}$ , при $\alpha > \alpha^1$	$1 - \frac{K_p^1 \alpha^1}{4}$ , при $\alpha^1 \leq \frac{1}{K_p^1}$ $\frac{3 + 2 \ln K_p^1 \alpha^1}{4 K_p^1 \alpha^1}$ , при $\alpha^1 > \frac{1}{K_p^1}$
Випадок 2	$\frac{1}{\tau_2^1}$ , при $\tau_2 \leq \tau_2^1$ 0, при $\tau_2 > \tau_2^1$	$\frac{6}{(\tau_3^1)^2} \left( \tau_3 - \frac{\tau_3^2}{\tau_3^1} \right)$ , при $\tau_3 \leq \tau_3^1$ 0 при $\tau_3 > \tau_3^1$	$\frac{1}{K_p^1}$ , при $K_p \leq K_p^1$ 0 при $K_p > K_p^1$	$\frac{1}{2\alpha^1}$ , при $\alpha \leq \alpha^1$ $\frac{(\alpha^1)^2}{2} \left( \frac{4}{\alpha^3} - \frac{3\alpha^1}{\alpha^4} \right)$ , при $\alpha < \alpha^1$	$1 + (\alpha^1 K_p^1)^2 \left( \frac{\alpha^1 K_p^1}{8} - \frac{1}{3} \right)$ , при $\alpha^1 \leq \frac{1}{K_p^1}$ $\frac{19 + 12 \ln K_p^1 \alpha^1}{24 K_p^1 \alpha^1}$ при $\alpha^1 > \frac{1}{K_p^1}$

Розв'язувальна система із стохастичними параметрами					
Щільність розподілу параметрів моделі РС					Імовірність стійкості РС $P_y$
$f(\tau_2)$	$f(\tau_3)$	$f(K_p)$	$f(\alpha)$		
Випадок 3	$\frac{6}{(u_2^1)^2} \left( u_2 - \frac{u_2^2}{u_2^1} \right)$ , при $u_2 \leq u_2^1$ , при $u_2 > u_2^1$	$\frac{6}{(u_3^1)^2} \left( u_3 - \frac{u_3^2}{u_3^1} \right)$ , при $u_3 \leq u_3^1$ , при $u_3 > u_3^1$	$\frac{6}{(K_p^1)^2} \left( K_p - \frac{K_p^2}{K_p^1} \right)$ , при $K_p \leq K_p^1$ , при $K_p > K_p^1$	$\frac{9}{5(\partial^1)^2} \partial - \frac{6}{5(\partial^1)^3} \partial^2$ при $\partial \leq \partial^1$ $\frac{9(\partial^1)^2}{5} \cdot \frac{1}{\partial^3}$ $-\frac{6}{5}(\partial^1)^3 \cdot \frac{1}{\partial^4}$ при $\partial > \partial^1$	$1 + \frac{(\partial^1 K_p^1)^2}{100}$ $(8K_p^1 \partial^1 - 27)$ при $\partial^1 \leq \frac{1}{K_p^1}$ $\frac{-5,67}{(\partial^1 K_p^1)^2} + \frac{6,58}{(\partial^1 K_p^1)^3} +$ $+(5,4K_p^1 \partial^1 + 2,4) \frac{\ln K_p^1 \partial^1}{(K_p^1 \partial^1)^3}$ при $\partial^1 > \frac{1}{K_p^1}$

**Примітки:** 1.  $\tau_3$  – для всіх зазначених випадків змінюється за довільним законом.

2. Значення  $P_y$  наведені для  $K_p > 1$ .

3.  $\alpha^1 = \frac{\tau_2^1}{1}$ .

Все вищесказане справедливе і для РС з повільно змінними параметрами. При цьому можна стверджувати, що система стійка доти, доки ці параметри знаходяться в області, що замкнена в об'ємі  $V_y$ .

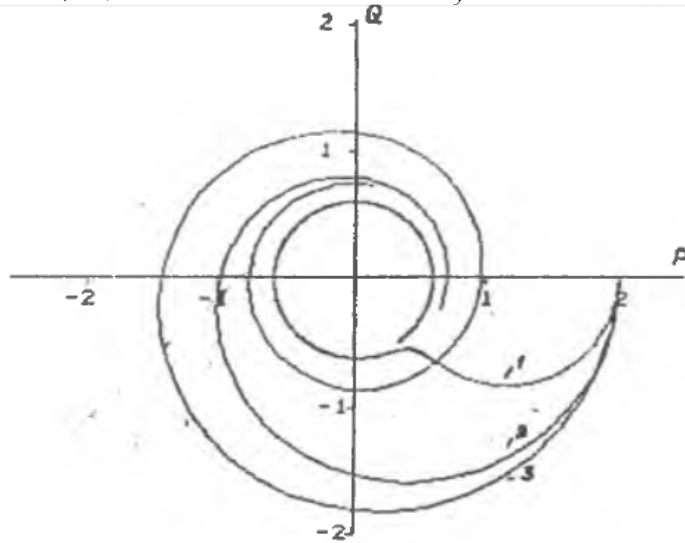


Рис. 4. Амплітудно-фазочастотна характеристика розв'язувальної системи для  $K_p = 2$ ,  $\alpha = 0,3$  і різних  $\beta$ :  $\beta = 0,1$  (крива 1),  $\beta = 1,2$  (крива 2),  $\beta = 2,5$  (крива 3)

Розглянемо випадок, коли РС - система із змінними в часі параметрами, тобто  $K_p = K_p(t)$ ,  $a = a(t)$ ,  $\alpha = \alpha(t)$ ,  $\beta = \beta(t)$  В цьому випадку система

$$\text{рівнянь } \begin{cases} K_p = K_p(t) \\ \alpha = \alpha(t) \\ \beta = \beta(t) \end{cases} \text{ описує деяку параметрично задану в координатах}$$

$(K_p, \alpha, \beta)$  криву

$$y = y[K_p(t), \alpha(t), \beta(t)], \quad (3)$$

в якій можливі спільні точки з поверхнею  $\Omega_y$ .

Спільне розв'язування (2) і (3) відносно  $i$  дозволяє знайти ті значення часу  $t_i (i = 1, 2 \dots)$ , при яких точки кривої  $y$ , будуть знаходитись на поверхні  $\Omega_y$ , тобто ті значення  $t_i$ , при яких РС буде на межі стійкості. При цьому, якщо припустити, що в момент часу  $t = 0$  РС була стійкою (тобто відповідна точка на кривій  $y$  знаходилась всередині об'єму  $V_y$ ), то можна стверджувати, що при  $t_1 < t_2 < t_3 < \dots$  РС буде стійкою на часових інтервалах  $0 < t < t_1$ ,  $t_2 < t < t_3$ ,  $t_4 < t < t_5 \dots$  - і буде нестійкою при  $t_1 < t < t_2$ ,  $t_3 < t < t_4$ , ... . Таким чином, умова знаходження кривої  $y$  всередині об'єму  $V_y$  у всі моменти часу  $t$  зміни параметрів  $K_p(t)$ ,  $\alpha(t)$ ,  $\beta(t) \in$  в розглядуваному випадку необхідною і достатньою умовою стійкості РС.

І нарешті, розглянемо випадок, коли РС - система із стохастичними параметрами. Нехай параметри РС  $K_p(t)$ ,  $\alpha(t)$ ,  $\beta(t)$  - некорельовані, стаціонарні, ергодичні випадкові змінні з неперервними щільностями

імовірностей  $f(K_p)$ ,  $f(\alpha)$  і  $f(\beta)$ . Тоді щільність імовірності їх спільного розподілу  $f(K_p, \alpha, \beta) = f(K_p) f(\alpha) f(\beta)$ .

Простір, замкнений всередині об'єму  $V_y$ , має безліч точок з координатами  $\{K_p\}$ ,  $\{\alpha\}$ ,  $\{\beta\}$ . Імовірність того, що параметри  $K_p$ ,  $\alpha$  і  $\beta$  приймуть значення координат точок простору, замкненого в  $V_y$ .

$$P_y = \iiint_{V_y} f(K_p, \alpha, \beta) dK_p d\alpha d\beta. \quad (4)$$

Таким чином,  $P_y$  є не чим іншим, як імовірністю стійкості РС при заданих щільностях розподілу випадкових величин  $K_p$ ,  $\alpha$  і  $\beta$ .

Вираз (4) запишемо так

$$P_y = \iiint_{V_1} f(K_p, \alpha, \beta) dK_p d\alpha d\beta + \iiint_{V_2} f(K_p, \alpha, \beta) dK_p d\alpha d\beta, \quad (5)$$

де  $V_1 + V_2 = V_y$  описуються такими системами нерівностей:

$$V_1 \Leftrightarrow \begin{cases} 0 < K_p < 1 \\ 0 < \alpha < 1/K_p \\ 0 < \beta < \infty \end{cases}, \quad V_2 \Leftrightarrow \begin{cases} 1 < K_p < \infty \\ 0 < \alpha < 1/K_p \\ 0 < \beta < \beta_{кр} = \beta_{кр}(K_p, \alpha) \end{cases}. \quad (6)$$

З урахуванням (6) та беручи до уваги, що  $\int_0^{\infty} f(\beta) d\beta = 1$ , вираз (5) набуває вигляду

$$P_y = \int_0^1 dK_p \int_0^{1/K_p} f(K_p) f(\alpha) d\alpha + \int_1^{\infty} dK_p \int_0^{1/K_p} d\alpha \int_0^{\beta_{кр}} f(K_p) f(\alpha) f(\beta) d\beta. \quad (7)$$

Вираз (7) дозволяє визначити імовірність стійкості РС для будь-яких законів розподілу випадкових параметрів  $K_p$ ,  $\alpha$  і  $\beta$ . Із (7) видно, що при  $K_p < 1$

$$P_y = \int_0^1 dK_p \int_0^{1/K_p} f(K_p) f(\alpha) d\alpha = \iint_{S_1} f(K_p) f(\alpha) dK_p d\alpha, \quad (8)$$

де  $S_1$  – деяка площа на площині  $\alpha \in [0, 1/K_p]$ , що описується такою системою нерівностей:

$$\begin{cases} 0 < K_p < 1 \\ 0 < \alpha < 1/K_p. \end{cases}$$

Як видно з (8), імовірність стійкості РС при  $K_p < 1$  не залежить від щільності ймовірності  $f(\beta)$  і повністю визначається значеннями  $f(K_p)$  і  $f(\alpha)$ . В таблицях 1 і 2 наведені умови стійкості РС при деякому детермінованому визначенні параметрів системи, а також імовірність стійкості РС для деяких

типових законів розподілу її випадкових параметрів. Вид законів розподілу випадкових параметрів  $\tau_2$ ,  $\tau_3$ ,  $K_p$  і  $\alpha$  для випадків, наведених у табл. 2, дано на рис. 5, а характер залежності  $P_y$  від значень параметрів  $K'_p$  і  $\alpha$  відображено на рис. 6.

## 2. Дослідження впливу значень параметрів розв'язувальної системи на час розв'язування задач

Спочатку зазначимо, що постійна часу  $\tau_3$  приймає кінцеві значення (при кінцевих  $\Theta$ ) для класу задач, які взагалі можуть бути розв'язані даною РС, і  $\tau_3 = \infty$ , якщо розв'язок якоїсь задачі (класу задач) на даній РС отримати неможливо. Далі будемо розглядати випадок кінцевих  $\tau_3$  (тобто випадок розв'язування відносно розв'язуваних задач).

Аналіз моделі РС, її передаточної функції дозволяє зробити висновок, що час перехідного процесу (час розв'язування задачі) збільшується із збільшенням значень параметрів  $\mu_A$ ,  $\tau_1$ ,  $\tau_3$ ,  $\tau_4$  та із зменшенням  $\tau_2$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ . Цей результат підтверджується експериментально отриманими кривими перехідних процесів вихідної величини моделі РС (рис. 1). Така залежність часу розв'язування задачі від параметрів РС відповідає характеру протікання реальних процесів в інтерактивній РС.

Постійні часу  $\tau'_1$ ,  $\tau_3$ ,  $\tau_H$  для даної задачі і даної РС мають чітко визначені закони розподілу своїх імовірностей. їх зміна в реальній РС може бути здійснена шляхом зміни, наприклад, рівня знань, навичок роботи, режиму самовідпочинку оператора тощо, тобто за рахунок таких заходів, які потребують для своєї реалізації багато часу і не можуть бути здійснені шляхом зміни загального характеру організації роботи оператора. Параметри  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $\tau'_1$ ,  $\tau_4$  залежать не тільки від потенційних можливостей РС, але й від загальної організації її роботи і мають деякі оптимальні (з точки зору мінімізації часу розв'язування задачі в області стійкої роботи РС) значення. Постійна часу  $\tau_2$  може змінюватись у широких межах і приймати нульове значення, що відповідає роботі оператора без залучення його прогнозуючих можливостей.

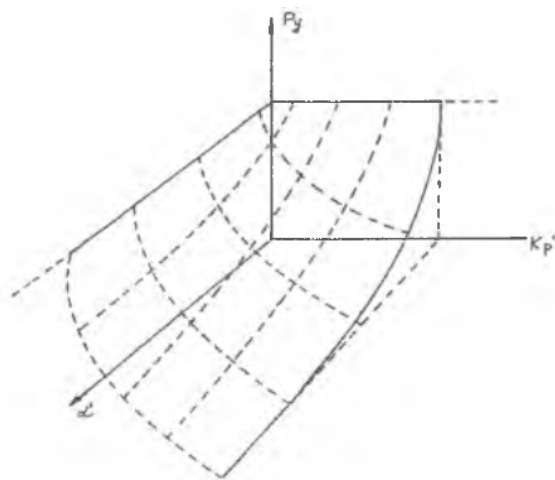


Рис. 5. Вид законів розподілу випадкових параметрів моделі розв'язувальної системи  $\tau_2$ ,  $\tau_3$ ,  $K_p$ , і  $\alpha$  для випадків, наведених в таблиці 3:  
а) випадок 1; б) випадок 2; в) випадок 3



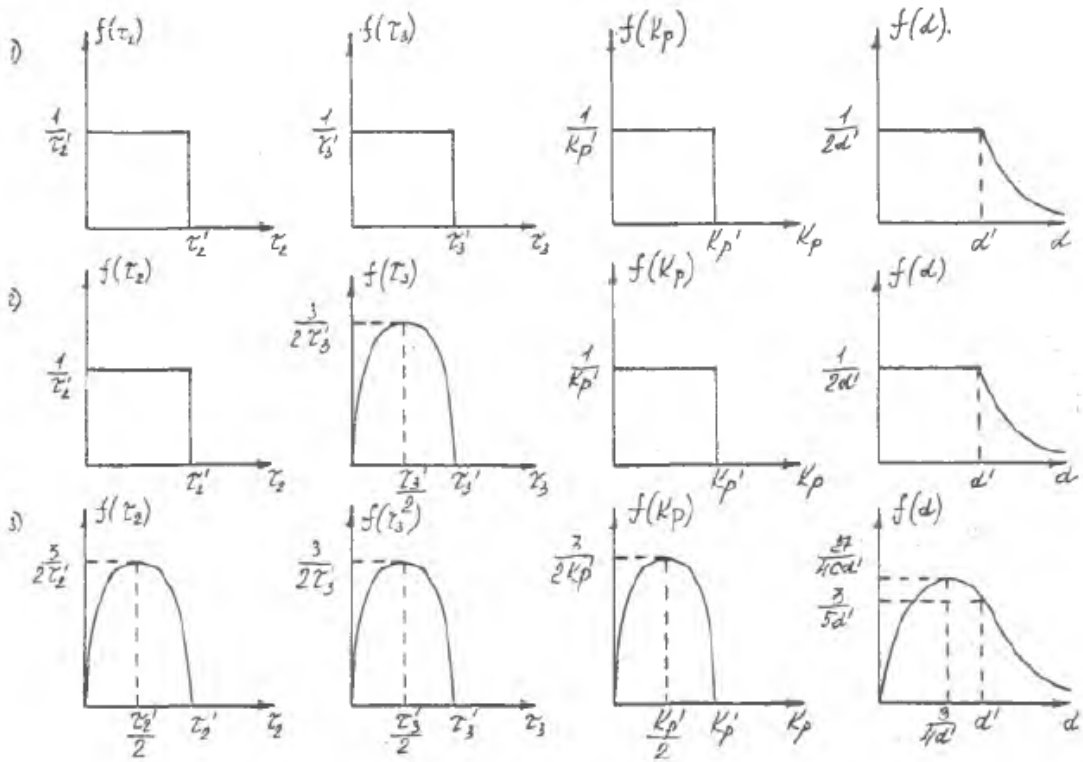


Рис. 6. Вигляд залежності  $P_y(K_p', d')$

Таким чином, якщо РС працює з параметрами  $\tau_3, \tau_{11}, \tau_{1\min}, \tau_{4\min}, K_{1\max}, K_{2\max}$ , то задача може бути розв'язана РС за виділений час  $T_6$ , якщо існує таке  $\tau_2$ , при якому РС стійка і розрахований час розв'язування задачі

$T_p < T_6$ . Якщо ж  $\tau_2 = \tau_{2\max}$  тобто РС працює з максимально допустимим (з точки зору стійкості РС) прогнозом і розрахований час розв'язування даної задачі  $T_p < T_6$ , то така задача в даний момент часу не може бути розв'язана даною РС за виділений час. З вищесказаного видно, що в загальному випадку є можливість зменшити час розв'язування задачі шляхом використання різного рівня прогнозу ( $\tau_2$ ). Однак при цьому важливо не вийти за межі стійкості РС.

У процесі розв'язування задача може розбиватися на кроки, кожному з яких ставиться у відповідності деякий час  $T_{ne}$  (урок, академічний час, час, що виділений на тест, тощо). Тому важливо знати, яким чином зробити розбивання задачі на кроки, аби розв'язок кожного  $n$ -го кроку задачі закінчувався за виділений на цей крок задачі час.

Може стояти і зворотна задача: задача, що підлягає розв'язуванню, вже розбита на кроки і необхідно встановити допустимий (з точки зору стійкості РС) час розв'язування кожного її кроку.

Відповідно до запропонованої моделі РС (див. рисунок у попередній статті) введемо дві умови:

1. Умова розбивання задачі на кроки.

Якщо відомі параметри РС, за якими буде проводитися розв'язування задачі, і виділено час розв'язування кожного її кроку  $T_{ne}$ , то необхідно розбити задачу на кроки таким чином, аби для операційної ємності кроку даної задачі  $\mu_n$  виконувалась умова  $\mu_n < \mu_{n\max}$ , де  $\mu_{n\max}$  - операційна ємність кроку, для якого розрахований час розв'язування буде  $T_{ne}$ .

2. Умова виділення часу на розв'язування задачі.

Якщо відомі параметри РС, на якій буде проводитись розв'язування задачі, і відома операційна ємність кроків задачі, то час  $T_{ne}$ , що виділяється для розв'язування даного кроку задачі, повинен задовольняти умові  $T_{ne} < T_{nmin}$ , де  $T_{nmin}$  - мінімально розрахований час, за який може бути розв'язаний даний крок задачі.

Значення параметрів  $\mu_{nmax}$  і  $T_{nmin}$  можуть бути отримані в кожному конкретному випадку за допомогою запропонованої моделі РС шляхом дослідження на імітаційній системі перехідних процесів її вихідної величини, для певних значень вхідних параметрів моделі  $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, K_1, K_2, \tau_n$ .

#### ЛІТЕРАТУРА

1. *Бесекерский В. А., Попов Б. П.* Теория систем автоматического регулирования- М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1975 - 768 с.
  2. *Брановицкий В. И.* Диалог «человек - ЭВМ» и его роль в решении народнохозяйственных задач - К.: О-во «Знание» УССР, 1982 - 20 с.
  3. *Быков В. Ю., Быков В. В.* Моделирование комп'ютерних інтерактивних систем управління проектами // Управління проектами та розвиток виробництва. 36. наук, праць / За ред. В. А. Рач, 2000- № 1- С. 36-46.
- Довгялло А. М.* Диалог пользователя с ЭВМ. Основы проектирования и реализации.- К.: Наукова думка, 1981- 232 с.