

УДК 519.87

В.Я.Копп, Ю.Е. Обжерин, И.В. Ольшанская, М.В. Заморенов

## АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГИБКОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЯЧЕЙКИ С РАЗЛИЧНЫМИ ОБЕСЦЕНИВАЮЩИМИ ПРОСТОЯМИ

Современный этап развития машиностроения характеризуется широким применением в промышленности гибких производственных систем (ГПС), область использования которых распространилась на все типы производства – от индивидуального до крупносерийного и массового. С помощью ГПС решается такая задача в промышленности, как повышение производительности и надежности производства в целом. Гибкость производственной системы, в частности, характеризуется количественным составом обрабатываемых деталей или собираемых данной системой изделий, числом вариантов технологических процессов и скоростью переналадки на выпуск другого изделия. Важным фактором, определяющим эффективность функционирования гибких производственных систем (ГПС) являются возникающие в процессе их функционирования простои, причины которых разнообразны.

Учет специфики простоев ГПС, включая переналадки, является одним из основных моментов, позволяющих повысить производительность.

Резервы повышения производительности и надежности ГПС путем сокращения времени простоев оценивают с помощью баланса производительности, который учитывает все факторы ее определяющие.

В данной работе исследуется модель функционирования гибкой производственной ячейки (ГПЯ) [1] при условии, что в случае простоя ГПЯ обслуживание продукции прерывается, а после восстановления ее работоспособности оно начинается сначала, т.е. время, затраченное на обслуживание единицы продукции до момента простоя ГПЯ, обесценивается [2,3].

Необходимо определить функцию распределения (ФР)  $F_{\theta}(t)$  случайной величины (СВ)  $\theta$ - времени между двумя соседними моментами окончания обслуживания продукции с учетом простоев

ГПЯ, а также математическое ожидание, дисперсию указанной СВ  $\theta$  и производительность ГПЯ.

Время обслуживания единицы продукции ГПЯ – СВ  $\alpha_1$  с ФР  $F_1(t) = P\{\alpha_1 \leq t\}$ . Время безотказной работы ГПЯ – СВ  $\alpha_2$  с ФР  $F_2(t) = P\{\alpha_2 \leq t\}$ . ГПЯ может простаивать в силу простоя  $i$ -го вида,  $i = \overline{1, n}$  с вероятностью  $p_i > 0$ ,  $\sum_{i=1}^n p_i = 1$ . Если ГПЯ простаивает

вследствие простоя  $i$ -го вида, то время восстановления ГПЯ – СВ  $\beta_i$  с ФР  $G_i(t) = P\{\beta_i \leq t\}$ . СВ  $\alpha_1, \alpha_2, \beta_i$  предполагаются независимыми, имеющими конечные математические ожидания и дисперсии; у ФР  $F_1(t), F_2(t), G_i(t)$  существуют плотности  $f_1(t), f_2(t), g_i(t)$ . При простое ГПЯ обслуживание единицы продукции прерывается, после восстановления его работоспособности прерванное обслуживание единицы продукции начинается сначала.

Для описания функционирования системы S используем процесс марковского восстановления (ПМВ)  $\{\xi_n, \theta_n; n \geq 0\}$  и соответствующий ему полумарковский процесс (ПМП)  $\xi(t)$  с состояниями:

10x- ГПЯ работоспособна, началось обслуживание очередной единицы продукции; время, оставшееся до отказа ГПЯ, равно  $x > 0$ ;

11x - мгновенное состояние, соответствующее моменту окончания обслуживания единицы продукции; время, оставшееся до простоя ГПЯ, равно  $x \geq 0$ ;

20 - произошло восстановление работоспособности ГПЯ, прерванное обслуживание единицы продукции начинается сначала;

21i - наступил простой  $i$ -го вида  $i = \overline{1, n}$ , обслуживание единицы продукции прервано.

Фазовое пространство состояний E имеет вид:

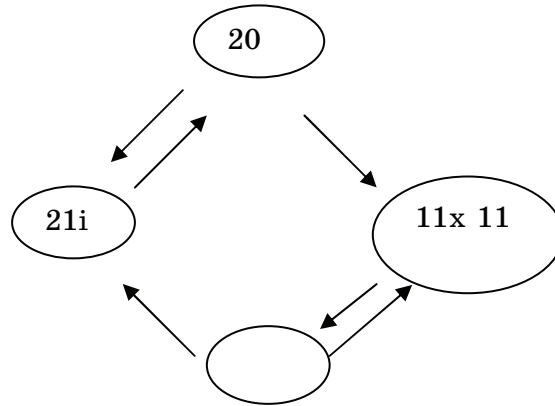
$$E = \{10x, 11x, 20, 21i\}$$

Граф состояний функционирования ГПЯ - на рисунке 1

Определим полумарковское ядро  $Q(t, x, B)$  ПМВ  $\{\xi_n, \theta_n, n \geq 0\}$  в дифференциальной форме:

$$Q(t, 10x, 21i) = p_i \bar{F}_1(x) \cdot 1_x(t), \quad Q(t, 10, 11dy) = f_1(x-y) \cdot 1_{x-y}(t) dy, \quad 0 < y < x,$$

$$Q(t, 20, 11dy) = \int_0^t f_1(s) \cdot f_2(y+s) ds dy, \quad y > 0,$$



$$Q(t, 20x, 21i) = \int_0^t p_i f_2(s) \bar{F}_1(s) ds, \quad Q(t, 11x, 10x) = 1(t), \quad Q(t, 21i, 20) = G_i(t).$$

Рисунок 1 - Граф переходов системы

Представим множество всех состояний в виде:

$$E = E_+ \cup E_-, \quad E_+ = \{10x, 20, 21i\}, \quad E_- = \{11x\}.$$

Найдем распределение времени пребывания ПМП  $\xi(t)$  в подмножестве состояний  $E_+$ . Пусть  $\tau_{10x}$ ,  $\tau_{20}$ ,  $\tau_{21i}$  - времена пребывания ПМП  $\xi(t)$  в  $E_+$  с начальными состояниями  $10x$ ,  $20$ ,  $21i$  соответственно;  $\Phi_1(x, t)$ ,  $\Phi_2(x, t)$ ,  $\Phi_{3i}(x, t)$  - их ФР.

Система уравнений марковского восстановления (2.10) Для функций  $\bar{\Phi}_1(x, t) = 1 - \Phi_1(x, t)$ ,  $\bar{\Phi}_2(x, t) = 1 - \Phi_2(x, t)$ ,  $\bar{\Phi}_{3i}(x, t) = 1 - \Phi_{3i}(x, t)$  имеет вид:

$$\begin{cases} \bar{\Phi}_1(x, t) = \bar{F}_1(x) \sum_{i=1}^n p_i \bar{\Phi}_{3i}(t-x), t \geq x, \\ \bar{\Phi}_2(t) = \int_0^t \bar{F}_1(t-y) f_2(t-y) \sum_{i=1}^n p_i \bar{\Phi}_{3i}(y) dy + \bar{F}_1(t) \bar{F}_2(t), \\ \bar{\Phi}_{3i}(t) = \int_0^t p_i g_i(t-y) \bar{\Phi}_2(y) dy + p_i \bar{G}_i(t), i = \bar{1}, n. \end{cases} \quad (1)$$

Подставляя  $\bar{\Phi}_2(t)$  из второго уравнения системы (1) в третье, находим

$$\bar{\Phi}_{3i}(t) = \int_0^t g_i(t-y) p_i dy \left[ \int_0^y \bar{F}_1(y-z) f_2(y-z) \bar{\Phi}_{3i}(z) dz + \bar{F}_1(y) \bar{F}_2(y) \right] + p_i \bar{G}_i(t) =$$

$$\begin{aligned}
 &= \int_0^t g_i(t-y)p_i dy \int_0^y \bar{F}_1(y-z)f_2(y-z)\bar{\Phi}_{3i}(z)dz + \int_0^t g_i(t-y)p_i dy \bar{F}_1(y)\bar{F}_2(y) + p_i \bar{G}_i(t) = \\
 &= \int_0^t \bar{\Phi}_{3i}(z)dz \int_z^t g_i(t-y)p_i \bar{F}_1(y-z)f_2(y-z)dy + \int_0^t g_i(t-y)p_i \bar{F}_1(y)\bar{F}_2(y)dy + p_i \bar{G}_i(t) = \\
 &= \left[ \begin{array}{l} y-z=y' \\ y=y'+z \end{array} \right] = \int_0^t \bar{\Phi}_{3i}(z)dz \int_0^{t-z} g_i(t-y'-z)p_i \bar{F}_1(y')f_2(y')dy' + \\
 &\quad + \int_0^t g_i(t-y)p_i \bar{F}_1(y)\bar{F}_2(y)dy + p_i \bar{G}_i(t)
 \end{aligned}$$

Введем функцию  $\gamma_i(t) = \int_0^t p_i g_i(t-y)\bar{F}_1(y)f_2(y)dy$

Тогда получаем

$$\bar{\Phi}_{3i}(t) = \int_0^t \gamma_i(t-y)p_i \bar{\Phi}_{3i}(y)dy + \int_0^t p_i g_i(t-y)\bar{F}_1(y)\bar{F}_2(y)dy + p_i \bar{G}_i(t), \quad (2)$$

Решение уравнения (2) можно найти методом последовательных приближений [4]

$$\begin{aligned}
 \bar{\Phi}_{3i}(t) &= p_i \bar{G}_i(t) + \int_0^t p_i g_i(t-s)\bar{F}_1(s)\bar{F}_2(s)ds + \int_0^t p_i h_\gamma(t-s)\bar{G}_i(s)ds + \\
 &\quad + \int_0^t h_\gamma(t-s)ds \int_0^s p_i g_i(s-y)\bar{F}_1(y)\bar{F}_2(y)dy,
 \end{aligned}$$

где  $h_\gamma(t) = \sum_{k=1}^{\infty} (\sum_{i=1}^n p_i g_i * (\bar{F}_1 f_2))^{*(k)}(t)$  - плотность функции

восстановления с несобственным распределением.

Из системы (1) найдем функции  $\bar{\Phi}_2(t)$  и  $\bar{\Phi}_1(x,t)$ :

$$\begin{aligned}
 \bar{\Phi}_2(t) &= \int_0^t \bar{F}_1(t-y)f_2(t-y) \left[ \sum_{i=1}^n p_i \bar{G}_i(y) + \int_0^y \sum_{i=1}^n p_i g_i(y-s)\bar{F}_1(s)\bar{F}_1(s)ds + \right. \\
 &\quad \left. + \int_0^y h_\gamma(y-s) \sum_{i=1}^n p_i \bar{G}_i(s)ds + \int_0^y h_\gamma(y-s)ds \int_0^s \bar{F}_1(z)\bar{F}_2(z) \sum_{i=1}^n p_i g_i(s-z)dy + \bar{F}_1(t)\bar{F}_2(t) \right], \\
 \bar{\Phi}_1(x,t) &= \bar{F}_1(t) \left[ \sum_{i=1}^n p_i \bar{G}_i(t-x) + \int_0^{t-x} \sum_{i=1}^n p_i g_i(t-x-s)\bar{F}_1(s)\bar{F}_1(s)ds + \right. \\
 &\quad \left. + \int_0^{t-x} h_\gamma(t-x-s)ds \sum_{i=1}^n p_i \bar{G}_i(s)ds + \int_0^{t-x} h_\gamma(t-x-s)ds \int_0^s \bar{F}_1(y)\bar{F}_2(y) \sum_{i=1}^n p_i g_i(s-y)dy \right], \\
 &\quad t \geq x, \quad \bar{\Phi}_1(x,t) = \bar{F}_1(t), \quad 0 < t < x.
 \end{aligned} \quad (3)$$

Чтобы найти ФР  $F_\theta(t)$  СВ  $\theta$ - времени цикла обслуживания ГПЯ единицы продукции вне зависимости от непрерывной компоненты начального состояния  $10x$ , воспользуемся формулой усреднения [5]

$$\bar{F}_\theta(t) = \frac{\int \rho(dx) \int_{E_+}^{\bar{F}_y(t)} P(x, dy)}{\int_{E_-} P(x, E_+) \rho(dx)}, \quad (4)$$

где  $\rho(dx)$  - стационарное распределение ВЦМ  $\{\xi_n; n \geq 0\}$ ,  $P(x, dy)$  - вероятности переходов ВЦМ,  $F_y(t)$  - ФР времени пребывания в состоянии  $y$ .

Для этого предварительно найдем плотности стационарного распределения ВЦМ  $\{\xi_n; n \geq 0\}$ . Значения стационарного распределения на состояниях  $20$  и  $21i$  равны, обозначим их  $\rho_0$ , а через  $\rho_{11}(x)$ ,  $\rho_{10}(x)$  обозначим стационарные плотности для состояний  $11x$  и  $10x$ .

Опишем вероятности переходов ВЦМ:

$$\begin{aligned} P_{10x}^{11y} &= f_1(x-y), \quad 0 < y < x; \quad P_{10x}^{21i} = \bar{F}_1(x); \quad P_{11x}^{10x} = 1; \\ P_{20}^{11y} &= \int_0^\infty f_2(y+t) f_1(t) dt, \quad y > 0; \quad P_{20}^{21i} = \int_0^\infty \bar{F}_1(t) f_2(t) dt; \quad P_{21i}^{20} = 1. \end{aligned} \quad (5)$$

Система интегральных уравнений для стационарных плотностей имеет вид:

$$\begin{cases} \rho_{10}(x) = \rho_{11}(x) = \int_0^\infty f_1(y-x) \rho_{10}(y) dy + \rho_0 \int_0^\infty f_2(x+t) f_1(t) dt, \\ \rho_0 = \rho_0 \int_0^\infty \bar{F}_1(t) f_2(t) dt + \int_0^\infty \bar{F}_1(x) \rho_{10}(x) dx, \\ 2\rho_0 + \int_0^\infty (\rho_{11}(x) + \rho_{10}(x)) dx = 1. \end{cases} \quad (6)$$

Найдем решение системы (6). Введем оператор

$$[A_{f_1} \phi](x) = \int_x^\infty f_1(y-x) \phi(y) dy.$$

Тогда первое уравнение системы (6) запишется в виде:

$$\rho_{10}(x) = [A_{f_1} \rho_{10}](x) + \rho_0 \int_0^\infty f_2(x+t) f_1(t) dt$$

Или  $[(I - A_{f_1}) \rho_{10}](x) = \psi(x)$ , следовательно,

$$\rho_{10}(x) = (I - A_{f_1})^{-1} \psi = \psi(x) + \sum_{n=1}^{\infty} A_{f_1}^{(n)} \psi(x)$$

Найдем  $n$ -ю степень оператора  $A_{f_1}$

$$\begin{aligned} [A_{f_1}^2 \phi](x) &= \int_x^{\infty} f_1(y-x) dy \int_y^{\infty} f_1(z-y) \phi(z) dz = \int_x^{\infty} \phi(z) dz \int_0^{z-x} f_1(y-x) f_1(z-y) dy = \\ &= \left[ \begin{array}{l} y-x=y' \\ y=x+y' \end{array} \right] = \int_x^{\infty} \phi(z) dz \int_0^{z-x} f_1(y') f_1(z-x-y') dy' = \int_x^{\infty} f_1^{*(2)}(z-x) \phi(z) dz. \end{aligned}$$

$$\text{Аналогично } [A_{f_1}^{*(n)} \phi](x) = \int_x^{\infty} f_1^{*(n)}(y-x) \phi(y) dy$$

$$\begin{aligned} \text{Поэтому } \rho_{10}(x) &= \rho_0 \int_0^{\infty} f_2(x+t) f_1(t) dt + \rho_0 \sum_{n=1}^{\infty} \int_x^{\infty} f_1^{*(n)}(y-x) dy \int_0^{\infty} f_2(y+t) f_1(t) dt = \\ &= [y+t=t'] = \rho_0 \int_0^{\infty} f_2(x+t) f_1(t) dt + \rho_0 \sum_{n=1}^{\infty} \int_x^{\infty} f_1^{*(n)}(y-x) dy \int_y^{\infty} f_2(t') f_1(t'-y) dt' = \\ &= \rho_0 \int_0^{\infty} f_2(x+t) f_1(t) dt + \rho_0 \sum_{n=1}^{\infty} \int_x^{\infty} f_2(t) dt \int_x^t f_1(y-x) f_1(t-y) dy = \left[ \begin{array}{l} y-x=y' \\ y=x+y' \end{array} \right] = \\ &= \rho_0 \int_0^{\infty} f_2(x+t) f_1(t) dt + \rho_0 \sum_{n=1}^{\infty} \int_x^{\infty} f_2(t) dt \int_0^{t-x} f_1^{*(n)}(y') f_1(t-x-y') dy = \\ &= \rho_0 \int_0^{\infty} f_2(x+t) f_1(t) dt + \rho_0 \sum_{n=1}^{\infty} \int_x^{\infty} f_2(t) dt f_1^{*(n+1)}(t-x) = \left[ \begin{array}{l} t-x=t' \\ t=t'+x \end{array} \right] = \\ &= \rho_0 \int_0^{\infty} f_2(x+t) f_1(t) dt + \rho_0 \sum_{n=1}^{\infty} \int_0^{\infty} f_1^{*(n+1)}(t) f_2(t+x) dt = \rho_0 \int_0^{\infty} f_2(x+t) h(t) dt \end{aligned}$$

Таким образом решением первого уравнения системы (6) является функция

$$\rho_{10}(x) = \rho_{11}(x) = \rho_0 \int_0^{\infty} f_2(x+y) h_1(y) dy, \quad (7)$$

где  $h_1(t) = \sum_{k=1}^{\infty} f_1^{*(k)}(t)$  – плотность функции восстановления процесса с временем восстановления  $\alpha_1$ . Постоянная  $\rho_0$  находится из условия нормировки.

Вычислим знаменатель в формуле (4).

$$\int_{E_-} P(x, E_+) \rho(dx) = \rho_0 \int_0^\infty dx \int_0^\infty f_2(x+y) h_1(y) dy = \rho_0 \int_0^\infty H_1(x) f_2(x) dx .$$

Определим числитель формулы (4)  $\int_{E_-} \rho(dx) \int_{E_+} \bar{F}_y(t) P(x, dy)$ ,

$$\begin{aligned} \int_{E_-} \rho(dx) \int_{E_+} \bar{F}_y(t) P(x, dy) &= \rho_0 \int_0^\infty dx \int_0^\infty f_2(x+y) h_1(y) dy \bar{\phi}_1(x, t) = \\ &= \rho_0 \int_0^\infty \bar{\phi}_1(x, t) dx \int_0^\infty f_2(x+y) h_1(y) dy = \rho_0 \int_0^t \bar{\phi}_1(x, t) dx \int_0^\infty f_2(x+y) h_1(y) dy + \\ &+ \rho_0 \int_t^\infty \bar{\phi}_1(x, t) dx \int_0^\infty f_2(x+y) h_1(y) dy \end{aligned}$$

Рассмотрим второе слагаемое

$$\begin{aligned} \int_t^\infty \bar{\phi}_1(x, t) dx \int_0^\infty f_2(x+y) h_1(y) dy &= \bar{F}_1(t) \rho_0 \int_t^\infty dx \int_0^\infty f_2(x+y) h_1(y) dy = \\ &= \bar{F}_1(t) \int_0^\infty h_1(y) dy \int_t^\infty f_2(x+y) dx = [x+y=x'] = \\ &= \bar{F}_1(t) \int_0^\infty h_1(y) dy \int_{t+y}^\infty f_2(x') dx' = \bar{F}_1(t) \int_0^\infty \bar{F}_2(t+y) h_1(y) dy . \end{aligned}$$

Рассмотрим первое слагаемое

$$\begin{aligned} \int_0^t \bar{\phi}_1(x, t) dx \int_0^\infty f_2(x+y) h_1(y) dy &= \int_0^t \bar{F}_1(x) \left[ \sum_{i=1}^n p_i \bar{G}_i(t-x) + \right. \\ &+ \int_0^{t-x} \sum_{i=1}^n p_i g_i(t-x-s) \bar{F}_1(s) \bar{F}_2(s) ds + \int_0^{t-x} h_\gamma(t-x-s) \sum_{i=1}^n p_i \bar{G}_2(s) ds + \\ &+ \left. \int_0^{t-x} h_\gamma(t-x-s) ds \int_0^s \sum_{i=1}^n p_i g_i(s-z) \bar{F}_1(z) \bar{F}_2(z) dz \right] dx \int_0^\infty f_2(x+y) h_1(y) dy = \\ &= \int_0^t \psi(t-x) \bar{F}_1(x) dx \int_0^\infty f_2(x+y) h_1(y) dy , \end{aligned}$$

где

$$\psi(t) = \sum_{i=1}^n p_i \bar{G}_i(t-x) + \left( \sum_{i=1}^n p_i g_i * \bar{F}_1 \bar{F}_2 \right)(t) + [h_\gamma + \left( \sum_{i=1}^n p_i \bar{G}_i + \sum_{i=1}^n p_i g_i * \bar{F}_1 \bar{F}_2 \right)](t) ,$$

$$\left( \sum_{i=1}^n p_i g_i * \bar{F}_1 \bar{F}_2 \right)(t) = \int_0^t \sum_{i=1}^n p_i g_i(t-s) \bar{F}_1(s) \bar{F}_2(s) ds$$

$$[h_\gamma + (\sum_{i=1}^n p_i \bar{G}_i + \sum_{i=1}^n p_i g_i * \bar{F}_1 \bar{F}_2)](t) = [h_\gamma * \sum_{i=1}^n p_i \bar{G}_i](t) + h_\gamma * (\sum_{i=1}^n p_i g_i * \bar{F}_1 \bar{F}_2)(t),$$

$$[h_\gamma * \sum_{i=1}^n p_i \bar{G}_i](t) = \int_0^t h_\gamma(t-s) \sum_{i=1}^n p_i \bar{G}_i(s) ds,$$

$$[h_\gamma * (\sum_{i=1}^n p_i g_i * \bar{F}_1 \bar{F}_2)](t) = \int_0^t h_\gamma(t-s) ds \int_0^s \sum_{i=1}^n p_i g_i(s-z) \bar{F}_1(z) \bar{F}_2(z) dz.$$

Таким образом, усредненная функция распределения  $\bar{F}_\theta(t)$  имеет следующий вид:

$$\bar{F}_\theta(t) = \frac{1}{c} (\bar{F}_1(t) \int_0^\infty \bar{F}_2(t+y) h_1(y) dy + \int_0^t \psi(t-x) \bar{F}_1(x) dx \int_0^\infty f_2(x+y) h_1(y) dy), \quad (8)$$

где

$$\psi(t) = \sum_{i=1}^n p_i \bar{G}_i(t) + (\sum_{i=1}^n p_i g_i * \bar{F}_1 \bar{F}_2)(t) + [h_\gamma * (\sum_{i=1}^n p_i \bar{G}_i(t) + (\sum_{i=1}^n p_i g_i * \bar{F}_1 \bar{F}_2)(t)), \quad (9)$$

$$c = \int_0^\infty f_2(x) H_1(x) dx, \quad H_1(x) = \sum_{k=1}^\infty F_1^{*(k)}(x).$$

Используя формулу (8), определим математическое ожидание СВ  $\theta$  :

$$\begin{aligned} M\theta &= \int_0^\infty \bar{F}_\theta(t) dt = \frac{1}{c} (\int_0^\infty \bar{F}_2(s) ds \int_0^s h_1(s-t) \bar{F}_1(t) dt + \\ &+ \int_0^\infty \psi(t) dt \int_0^\infty \bar{F}_1(x) dx \int_0^\infty f_2(x+y) h_1(y) dy) = \frac{1}{c} (\int_0^\infty \bar{F}_2(s) \bar{F}_1(s) ds + \\ &+ \int_0^\infty \psi(t) dt P(\alpha_1 < \alpha_2)) = \frac{1}{c} (M\alpha_2 - M(\alpha_1 \wedge \alpha_2) + \\ &+ P(\alpha_1 < \alpha_2) (\sum_{i=1}^n p_i M\beta_i + M(\alpha_1 \wedge \alpha_2) + \int_0^\infty h_\gamma(t) dt (\sum_{i=1}^n p_i M\beta_i + M(\alpha_1 \wedge \alpha_2))). \end{aligned}$$

Учитывая, что

$$\int_0^\infty h_\gamma(t) dt = \sum_{k=1}^\infty \int_0^\infty \gamma^{*(k)}(t) dt = \sum_{k=1}^\infty (\int_0^\infty \gamma(t) dt)^k = \sum_{k=1}^\infty [P(\alpha_1 > \alpha_2)]^k = \frac{P(\alpha_1 > \alpha_2)}{P(\alpha_1 < \alpha_2)},$$

Получаем



$$M\theta = \frac{1}{c}(M\alpha_2 - M(\alpha_1 \wedge \alpha_2) + (\sum_{i=1}^n p_i M\beta_i + M(\alpha_1 \wedge \alpha_2))P(\alpha_1 < \alpha_2)) \times \\ \times (1 + \frac{P(\alpha_1 > \alpha_2)}{P(\alpha_1 < \alpha_2)}) = \frac{1}{c}(M\alpha_2 + \sum_{i=1}^n p_i M\beta_i)$$

Таким образом, производительность ГПЯ с различными видами простоев в случае, когда не учитывается время прерванного обслуживания, равна:

$$P_{ГПЯ} = \frac{\int_0^{\infty} H_1(x) f_2(x) dx}{M\alpha_2 + \sum_{i=1}^n p_i M\beta_i}.$$

Полученные результаты позволяют проводить анализ влияния различных видов простоев на производительность ГПЯ. Данную методику планируется перенести на многокомпонентную систему.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Копп В.Я., Обжерин Ю.Е., Песчанский А.И. Моделирование автоматизированных линий/ Монография.- Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2006.-240с.
2. Копп В.Я. Анализ производительности технологической ячейки с учетом ее надежности/ Копп В.Я., Обжерин Ю.Е. , Песчанский А.И.// Кибернетика и системный анализ.-2001.-№5.-с.17-24.
3. Математическая модель функционирования сборочной ячейки при обесценивающих отказах./ Ю.Е. Обжерин, В.Я. Копп, А.И. Песчанский // Оптимизация производственных процессов: Сб. науч. Тр.-Севастополь, 2000.-№3.-С.24-32.
4. Михлин С.Г. Интегральные уравнения и их приложения к некоторым проблемам механики, математической физики и техники/ С.Г. Михлин.-М.:Гостехиздат,1949.-380с.
5. Разработка САПР: в 10 кн. Кн.9, Имитационное моделирование/ А.В. Петров, И.М. Черненький и др./ Под ред. А.В. Петрова.- М.: Высш. шк., 1990.- 110с.

Получено 11.03.2008 г.