1970 год ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ Выпуск 39

УДК 681.142.005:681.142.019.3

РАСЧЕТ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОДНОРОДНЫХ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ВЫСОКОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

В.Г. Хорошевский, Э.Г. Хорошевская, Т.М. Голоскокова

В работе выводятся формулы для технико-экономических показателей однородных универсальных вычислительных систем (УВС) [1,2] в предположении, что число элементарных машин (ЭМ), число восстанавливающих устройств (ВУ), интенсивности отказов в ЭМ, восстановления и переключения машин, начальное состояние системы п р о и з в о л ь н ы. Формулы позволяют даже в р у ч н у ю получать числовые значения, которые с достаточной для практики точностью совпадают с результатами более точных и трудоемких расчетов (как для стационарного [3], так и переходного [4] режимов). Рассматриваются следующие показатели: математические ожидания числа исправных ЭМ, переключаемых ЭМ, занятых ВУ, стоимость эксплуатации, функции стоимости, характеризующие потери за счет простоев машин и ВУ, ожидаемый доход. Результаты иллюстрируются примерами однородных УВС.

Однородные универсальные вычислительные системы высокой производительности состоят из большого количества элементарных машин [1]. Поэтому целесообразно принять допущение [5,6] о том, что эффективность (производительность, доход и т.д.) УВС в любой момент времени пропорциональна математическим ожиданиям

числа исправных ЭМ и числа занятых ВУ, а не их случайным числам. Такое допущение, как показано ниже, приводит к простым расчетным формулам для показателей систем.

§ 1. Математическое ожидание

Пусть N – число ЭМ в УВС, m – число ВУ в восстанавливающей системе (ВС), λ – интенсивность отказов в ЭМ, μ – интенсивность восстановления элементарных машин восстанавливающим устройством, ν – интенсивность переключения восстановленных ЭМ.

Требуется вычислить среднее число $n_i(t)$ исправных ЭМ в УВС, среднее число $m_i(t)$ занятых ВУ в ВС, среднее число $\mathcal{L}_i(t)$ переключаемых ЭМ, среднее число $\mathcal{K}_i(t)$ неисправных ЭМ в момент времени $t \geqslant 0$ при условии, что $\mathcal{K}_i(0) = N - i$, $i \in E$, $E = \{0, 1, 2, \ldots, N\}$.

Для $n_i(t)$, $m_i(t)$, $\mathcal{L}_i(t)$, $\mathcal{K}_i(t)$ справедлива система уравнений:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{d}{dt} n_i(t) = -\lambda n_i(t) + \nu \mathcal{L}_i(t), \\ &\frac{d}{dt} \mathcal{K}_i(t) = -\mu m_i(t) + \lambda n_i(t), \\ &\frac{d}{dt} \mathcal{L}_i(t) = -\nu \mathcal{L}_i(t) + \mu m_i(t), \end{aligned}\right\} \qquad (1.1)$$

причем

$$m_i(t) = \begin{cases} \mathcal{K}_i(t) & \text{при } \mathcal{K}_i(t) \leqslant m, \\ m & \text{при } \mathcal{K}_i(t) > m, \end{cases}$$

$$\left.\begin{aligned} &n_i(0) + \mathcal{L}_i(0) = i, \quad \mathcal{K}_i(0) = N - i, \\ &n_i(0) = j, \quad \mathcal{L}_i(0) = i - j, \quad j \in E_i, \\ &E_i = \{0, 1, \ldots, i\}, \quad i \in E \end{aligned}\right\} \qquad (1.2)$$

С л у ч а й 1. Будем считать, что восстанавливающая система имеет высокую производительность, если для любого $t > 0$

$$\mathcal{K}_i(t) \leqslant m, \qquad (1.3)$$

где $i \in E^1$, $E^1 = \{(N-m), (N-m+1), \ldots, N\}$.

Решением системы дифференциальных уравнений (I.I) при начальных условиях (I.2) будет:

$$
\left.
\begin{aligned}
n_i(t) &= \frac{N\mu\nu}{\alpha_1\alpha_2} + \left[\frac{N\mu\nu}{\alpha_1} + i\nu + j(\alpha_1+\mu)\right]\frac{e^{\alpha_1 t}}{\alpha_1-\alpha_2} + \\
&\quad + \left[\frac{N\mu\nu}{\alpha_2} + i\nu + j(\alpha_2+\mu)\right]\frac{e^{\alpha_2 t}}{\alpha_2-\alpha_1}, \\
m_i(t) &= \frac{N\lambda\nu}{\alpha_1\cdot\alpha_2} + \left[\frac{N(\alpha_1+\lambda)(\alpha_1+\nu)}{\alpha_1} - i(\alpha_1+\lambda+\nu) + j\lambda\right]\frac{e^{\alpha_1 t}}{\alpha_1-\alpha_2} + \\
&\quad + \left[\frac{N(\alpha_2+\lambda)(\alpha_2+\nu)}{\alpha_2} - i(\alpha_2+\lambda+\nu) + j\lambda\right]\frac{e^{\alpha_2 t}}{\alpha_2-\alpha_1}, \\
L_i(t) &= N - n_i(t) - m_i(t), \quad K_i(t) = m_i(t), \quad i \in E^1, \\
\alpha_{1,2} &= -\frac{1}{2}\left[\lambda+\mu+\nu \mp \sqrt{\lambda^2+\mu^2+\nu^2-2(\lambda\mu+\lambda\nu+\mu\nu)}\right].
\end{aligned}
\right\} \quad (I.4)
$$

Очевидно, что в стационарном режиме математические ожидания будут определяться формулами:

$$n = \lim_{t\to\infty} n_i(t) = \frac{N\mu\nu}{\lambda\mu+\lambda\nu+\mu\nu},$$

$$m = \lim_{t\to\infty} m_i(t) = \frac{N\lambda\nu}{\lambda\mu+\lambda\nu+\mu\nu},$$

$$L = \lim_{t\to\infty} L_i(t) = N - n - m,$$

$$K = \lim_{t\to\infty} K_i(t) = m.$$

Можно доказать, что неравенство (I.3) выполняется при

$$N\lambda \leq m\left(\lambda+\mu+\frac{\lambda\mu}{\nu}\right). \quad (I.5)$$

Практически $\lambda << \mu << \nu$, поэтому вместо (I.5) можно написать

$$N\lambda \leq m\mu. \quad (I.6)$$

Из (I.6) видно, что ВС будет иметь высокую производительность, если число отказов, появляющихся в УВС, не превышает число восстановлений, которое может произвести ВС в единицу времени. Величина $m\mu$ является количественной характеристикой производительности восстанавливающей системы.

Выпишем решение системы (I.I) в предположении, что переключение совершается мгновенно, для чего найдем пределы для (I.4) при $\nu \to \infty$:

$$
\left.
\begin{aligned}
n_i(t) &= \frac{N\mu}{\lambda+\mu} + \frac{i\lambda-(N-i)\mu}{\lambda+\mu} e^{-(\lambda+\mu)t}, \\
m_i(t) &= K_i(t) = N - n_i(t), \\
L_i(t) &= 0, \quad i \in E^1.
\end{aligned}
\right\} \quad (I.7)
$$

Здесь условием высокой производительности ВС будет:

$$N\lambda \leq m(\lambda+\mu). \quad (I.8)$$

Случай 2. ВС имеет невысокую производительность, то есть

$$K_i(t) > m, \quad (I.9)$$

где $i \in E^2$, $E^2 = \{0, 1, 2, \ldots, (N-m-1)\}$.

Решение системы дифференциальных уравнений (I.I) при начальных условиях (I.2):

$$
\left.
\begin{aligned}
n_i(t) &= \frac{m\mu}{\lambda} + \left[-\frac{m\mu\nu}{\lambda} + i\nu - j\lambda\right]\frac{e^{-\lambda t}}{\nu-\lambda} + \\
&\quad + \left[m\mu - i\nu + j\nu\right]\frac{e^{-\nu t}}{\nu-\lambda}, \\
L_i(t) &= \frac{m\mu}{\nu} + \left[-\frac{m\mu}{\nu} + i - j\right] e^{-\nu t}, \\
K_i(t) &= N - n_i(t) - L_i(t), \quad m_i(t) = m, \; i \in E^2.
\end{aligned}
\right\} \quad (I.10)
$$

Решение (I.10) при $\nu \to \infty$ имеет вид:

$$\left.\begin{aligned} &n_i(t) = \frac{m\mu}{\lambda} + \frac{i\lambda - m\mu}{\lambda} e^{-\lambda t}, \\ &m_i(t) = m,\ \mathcal{K}_i(t) = N - n_i(t),\ \mathcal{L}_i(t) = 0,\ i \in E^2. \end{aligned}\right\} \qquad (\text{I.II})$$

Условием малой производительности ВС (I.9) будут неравенства, обратные (I.5), (I.6), (I.8).

С л у ч а й 3. ВС имеет невысокую производительность, но $\mathcal{K}_i(0) = N - i$, $i \in E^1$.

В этом случае до момента времени t_o, когда впервые нарушится условие (I.3), будут справедливы решения (I.4), (I.7). С момента времени t_o будут справедливы формулы (I.I0), (I.II), в которых должно быть положено $i = N - m - 1$.

С л у ч а й 4. ВС имеет высокую производительность, $\mathcal{K}_i(0) = N - i$, $i \in E^2$.

Здесь вначале будут справедливы решения (I.I0) и (I.II); с момента времени t_o, когда впервые нарушится условие (I.9), справедливы будут уже решения (I.4) и (I.7), в которых $i = N - m$.

Случаи 3 и 4 практически маловероятны.

Формулы (I.4), (I.7), (I.I0) и (I.II) позволяют вычислить функцию живучести однородной УВС

$$N_i(t) = n_i(t)/N$$

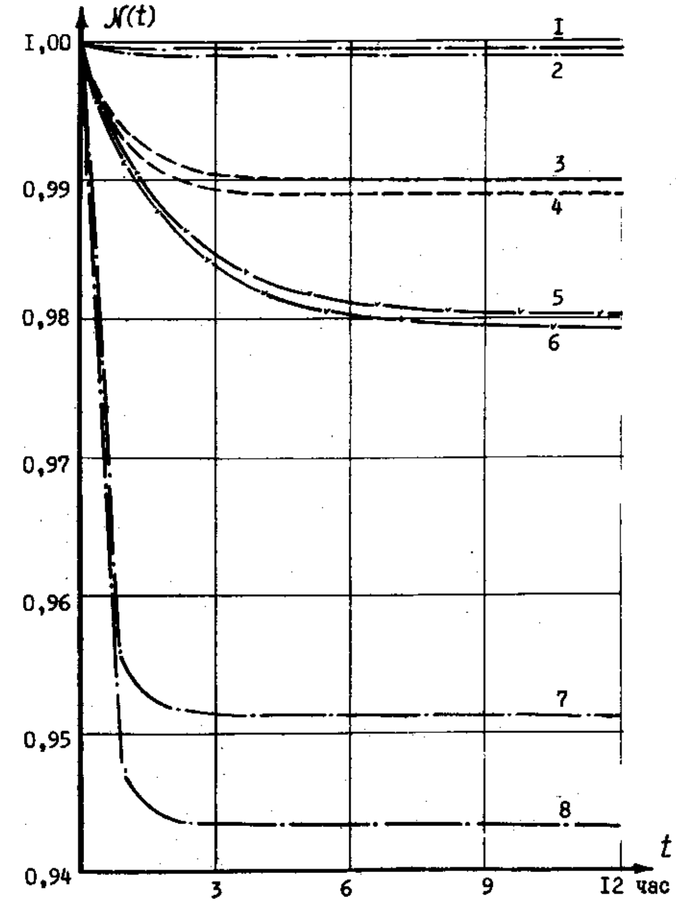
и функцию занятости ВС

$$\mathcal{M}_i(t) = m_i(t)/m,$$

где $i \in E$ [6].

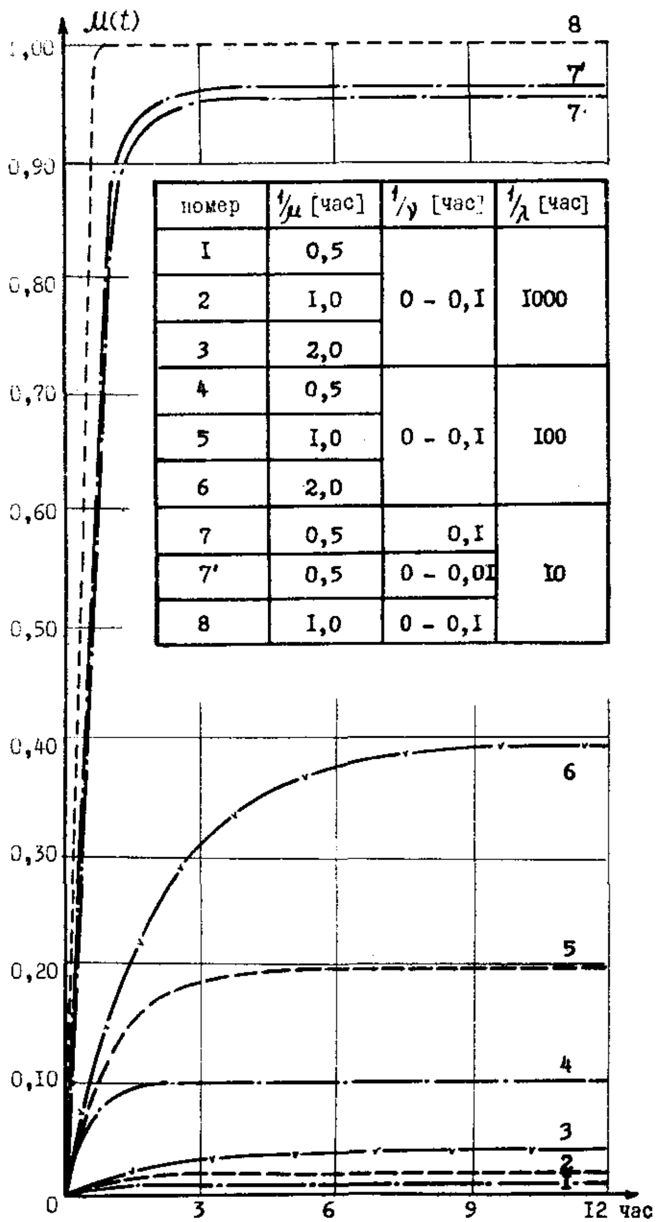
Функции живучести УВС $N(t) = N_N(t)$ и занятости ВС $\mathcal{M}(t) = \mathcal{M}_N(t)$ для различных значений λ, μ, ν и для N/m = 20 представлены на рис. I.I и рис. I.2 соответственно. Причем в рассматриваемых примерах выполняется условие (I.5), за исключением случая, соответствующего кривой 8 рис. I.2. Видно, что учет времени переключения $1/\nu$ не приводит к существенному изменению результата при практически достижимых значениях ν. Поэтому в дальнейшем для расчета $n_i(t)$ и $m_i(t)$, $i \in E$, будем пользоваться формулами (I.7) и (I.II).

Функция живучести $N_i(t)$, $i \in E^2$, однородной УВС, для



номер	$1/\nu$ [час]	$1/\mu$ [час]	$1/\lambda$ [час]
I	0–0,0I	2,0	I00
2	0,I		
3	0–0,0I	I,0	
4	0,I		
5	0–0,0I	0,5	
6	0,I		
7	0,0I	2,0	I0
8	0,I		

Рис. I.I. Функция живучести УВС



номер	$1/\mu$ [час]	$1/\gamma$ [час]	$1/\lambda$ [час]
I	0,5	0 - 0,I	I000
2	I,0	0 - 0,I	I000
3	2,0	0 - 0,I	I000
4	0,5	0 - 0,I	I00
5	I,0	0 - 0,I	I00
6	2,0	0 - 0,I	I00
7	0,5	0,I	I0
7'	0,5	0 - 0,0I	I0
8	I,0	0 - 0,I	I0

Рис.I.2. Функция занятости ВС

которой не выполняется условие (I.5), изображена на рис. I.3.

§ 2. Стоимость эксплуатации

Пусть V_1 – расходы, связанные с эксплуатацией элементарной машины в течение достаточно длительного времени $\mathcal{T}$.

$$V_1 = \sum_{i=1}^{6} v_i ,$$

где компоненты v_i определяются за время $\mathcal{T}$, причем

v_1 – стоимость амортизации ЭМ и вспомогательного оборудования к ней ($v_1 = \kappa v$, v – оптовая цена машины и вспомогательного оборудования к ней, κ – коэффициент амортизации);

v_2 – стоимость содержания восстанавливающего устройства (бригады обслуживания);

v_3 – стоимость материалов, деталей и приборов, расходуемых при устранении неисправностей;

v_4 – стоимость вспомогательных материалов (бумаги, лент, перфокарт и т.д.), необходимых для нормального функционирования ЭМ;

v_5 – стоимость электроэнергии, потребляемой ЭМ и вспомогательным оборудованием;

v_6 – накладные расходы (амортизация помещения и т.д.).

T – часть времени $\mathcal{T}$ будем считать полезным временем эксплуатации ЭМ, если оно использовано на решение задач.

Отношение

$$C_1' = \frac{V_1}{T}$$

будет *себестоимостью единицы полезного времени* при эксплуатации ЭМ.

Стоимостью эксплуатации ЭМ назовем стоимость единицы полезного времени при эксплуатации ЭМ

$$C_1 = \frac{1}{T}(V_1 + V_2),$$

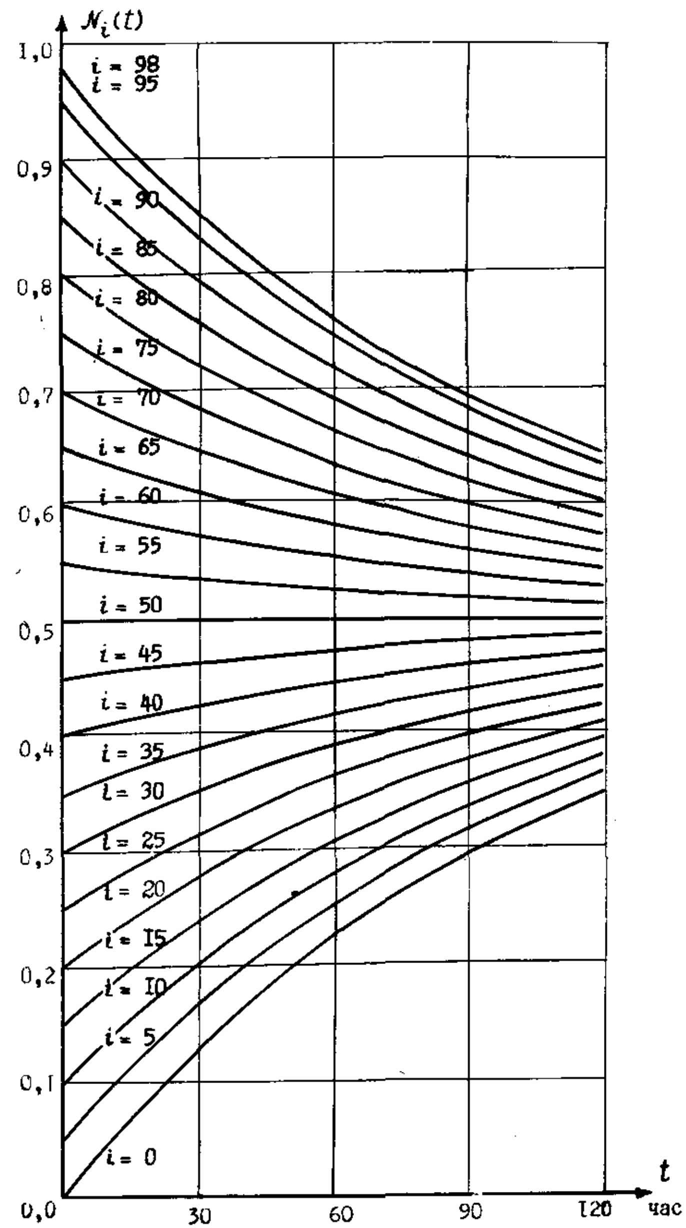


Рис. 1.3. Функция живучести УВС ($N = 100, m = 1$, $1/\lambda = 100$ час, $1/\mu = 2$ час, $1/\nu = 0,1$ час)

где $V_2 = v_7 + v_1$, v_7 – плановая прибыль вычислительного центра (ВЦ), эксплуатирующего ЭМ, v_1 – отчисления в фонд новых исследований (на составление стандартных программ, на разработку языков, на модернизацию машины и т.д.) за время $\mathcal{T}$.

Себестоимость и стоимость содержания восстанавливающего устройства в единицу времени:

$$c_2' = v_2 / \mathcal{T}, \quad c_2 = v_2 / \mathcal{T} .$$

Стоимостью запасных материалов, деталей и приборов, расходуемых при однократном восстановлении отказавшей ЭМ , будет

$$c_3 = \frac{(\lambda + \mu)}{\mathcal{T} \cdot \lambda \cdot \mu} v_3 .$$

Величина

$$c_4 = \frac{1}{\mathcal{T}} (v_1 + v_4 + v_5 + v_6)$$

характеризует постоянные издержки, возникающие при эксплуатации ЭМ в единицу времени. (Независимо от того, исправна ЭМ или нет и каковы показатели ВУ, за единицу времени издержки составят c_4 денежных единиц).

Для малых отечественных машин [7] установлено, что $(v_2 + v_6) = 0,7\ V_1$, c_1 = 12–26 руб/час, c_2 = 10–12 руб/час, c_3 = 65–75 руб, c_4 = 3–7 руб/час при λ = 0,01–0,024 1/час, μ = 0,5–1 1/час.

Стоимостью эксплуатации однородной УВС назовем

$$c = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{\ell} A_i \cdot v_i ,$$

где $A_i = a_i \cdot N, \quad a_i \leq 1, \quad i \neq 2, \quad A_2 = m$.

Анализ надежности однородных УВС показал, что оптимальное значение $m < 0,1 \cdot N$. Поэтому стоимость эксплуатации ЭМ системы ниже стоимости эксплуатации отдельной машины и практически

$$c/N \leq 0,7 \cdot c_1 .$$

В качестве **цены эксплуатации** ЭМ УВС, естественно, должна быть взята величина c_1, а не c/N. Следовательно, ВЦ, имеющий УВС, будет получать большую прибыль, приходящуюся на одну ЭМ, чем ВЦ, эксплуатирующий одну ЭМ.

Компоненты $A_i \cdot v_i$, $i = 2,3$, непосредственно зависят от показателей восстанавливающей системы. **Издержки**, связанные с этими компонентами, будем называть **варьируемыми**.

§ 3. Функция стоимости

Функцией стоимости $\Gamma_i(t)$ назовем математическое ожидание потерь к моменту времени $t \geq 0$ за счет простоев отказавших ЭМ и восстанавливающих устройств, если $\mathcal{N}_i(0) = i$, $i \in E$.

$$\frac{d}{dt}\Gamma_i(t) = c_1 \cdot \mathcal{K}_i(t) + c_2[m - m_i(t)], \tag{3.I}$$

$$\Gamma_i(0) = 0, \quad i \in E.$$

Решением системы уравнений (3.I) будет

$$\Gamma_i(t) = -\beta_i + \gamma \cdot t + \beta_i \cdot \delta(t), \tag{3.2}$$

где при $N\lambda \leq m(\lambda + \mu)$:

$$\beta_i = \frac{i\lambda - (N-i)\mu}{(\lambda+\mu)^2}(c_1 - c_2), \tag{3.3}$$

$$\gamma = \frac{N\lambda}{\lambda+\mu}(c_1 - c_2) + mc_2, \tag{3.4}$$

$$\delta(t) = e^{-(\lambda+\mu)t}, \quad i \in E^1, \tag{3.5}$$

а при $N\lambda > m(\lambda+\mu)$:

$$\beta_i = \frac{i\lambda - m\mu}{\lambda^2} c_1, \tag{3.6}$$

$$\gamma = \frac{N\lambda - m\mu}{\lambda} c_1, \tag{3.7}$$

$$\delta(t) = e^{-\lambda t}, \quad i \in E^2. \tag{3.8}$$

Легко заметить, что

$$\lim_{t \to \infty} \delta(t) = 0,$$

а константы $\beta_i << \gamma t$, $i \in E$, для достаточно больших значений $t\ (t \to \infty)$. Поэтому функция стоимости в стационарном режиме определяется формулой

$$\Gamma(t) = \gamma t,$$

которая является известным результатом [3].

Ниже приведем значения технико-экономических показателей для однородных УВС, в которых λ = 0,024 I/час, μ =0,7 I/час, c_1 = 20 руб/час, c_2 = II руб/час, c_3 = 70 руб, c_4 = 5 руб/час.

В табл. 3.I приведены значения, выраженные в рублях, функции стоимости $\Gamma_i(t)$, $i \in E^1$, для УВС, в которой N =I00, m = I0. На рис. 3.I изображена $\Gamma_i(t)$, $i \in E^2$, для системы, в которой N = I00, m = 3. Легко заметить, что восстанавливающая система в первом примере имеет высокую производительность, а во втором - низкую; $E^1 = \{90,9I,\ldots,I00\}$, $E^2 = \{0,I,\ldots,96\}$.

В табл. 3.2 приведены значения γ и γ^*, рассчитываемые соответственно по формуле (3.4) и по более точной [3]. Видно, что для УВС высокой производительности ($N >$ I00) значения γ и γ^* достаточно близки, $0{,}02 < \varepsilon < 0{,}I$, где $\varepsilon = |\gamma^* - \gamma| \cdot \frac{1}{\gamma^*}$. Для систем невысокой производительности $\varepsilon <$ 0,36. Таким образом, расчет по формулам (3.2) - (3.8) не трудоемок и обеспечивает удовлетворительную для практики точность.

Значения m, приведенные в табл. 3.2, оптимальны, то есть такие, при которых достигается минимум γ^*. Естественно, что при оптимальном числе восстанавливающих устройств выполняется и условие (I.8), и, следовательно, используется формула (3.4). Из (3.4) видно, что, чем меньше m, тем меньше и потери в единицу времени. Поэтому из формулы (3.4) нельзя увидеть оптималь - ное значение числа восстанавливающих устройств (его мы обозна-

Таблица 3.I

i \ t[час]	I	2	3	4	5	6	7	8
90	I83	343	493	638	780	92I	I06I	I202
9I	I76	334	482	626	768	909	I049	II89
92	I70	324	47I	6I4	756	896	I037	II77
93	I63	3I5	460	603	744	884	I024	II64
94	I57	305	449	59I	732	872	I0I2	II52
95	I5I	296	438	579	720	860	I000	II40
96	I44	286	427	567	707	847	987	II27
97	I38	277	4I6	556	695	835	975	III5
98	I3I	267	405	544	683	823	963	II02
99	I25	258	394	532	67I	8II	950	I090
I00	II9	248	383	520	659	798	938	I078

Таблица 3.2

N	I6	I8	20	50	80	I00	200
m	I	2	2	3	4	5	9
γ [руб/час]	I5,8	27,4	28	48	68	85	I59
γ^*[руб/час]	24,5	28,3	29,3	54,I	80,I	95,6	I74

N	300	400	500	600	800	I000	2000
m	I3	I7	2I	25	32	38	75
γ [руб/час]	233	307	38I	455	592	7I8	I425
γ^*[руб/час]	249	323	396	468	6I2	750	I456

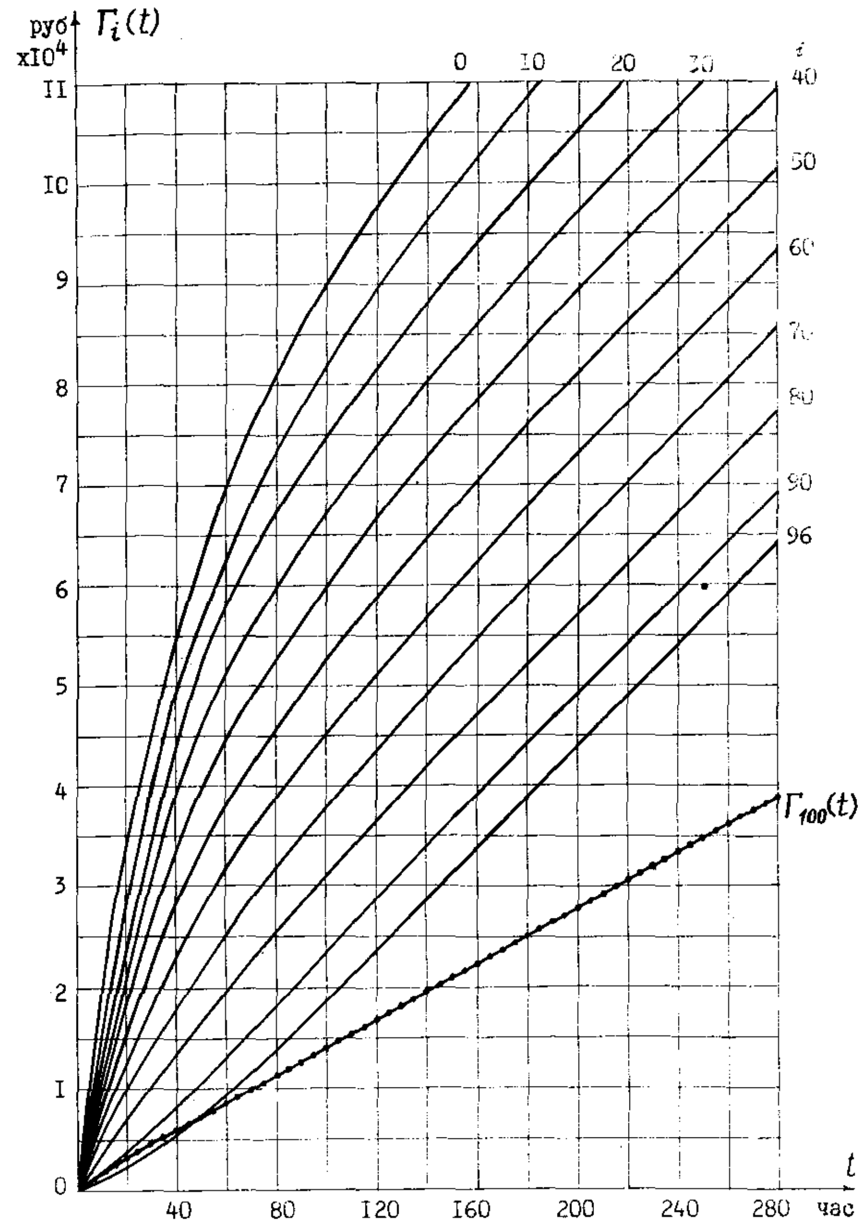


Рис. 3.1. Функция стоимости

чим через m^*). Расчеты показывают, что при $N \to \infty$

$$\frac{N}{m^*} \to \frac{\lambda+\mu}{\lambda},$$

причем

$$\frac{N}{m^*} > \frac{\lambda+\mu}{\lambda}.$$

Поэтому для УВС средней и высокой производительности при расчете значений m', близких к m^*, можно использовать следующую формулу:

$$m' = \left]\frac{N\lambda}{\lambda+\mu}\right[+ \left]0{,}01\cdot N\right[, \tag{3.9}$$

где $]x[$ - ближайшее целое число, причем такое, что $]x[\geq x$. Член $]0{,}01\cdot N[$ обеспечивает неравенство $m' \geq m^*$, выполнения которого требует зависимость γ^* от m [3].

§ 4. Ожидаемый доход

Пусть $\mathcal{D}_i(t)$ - полный ожидаемый доход, который принесет система к моменту времени $t \geq 0$, если $\varkappa_i(0)=i$, $i\in E$. $\mathcal{D}_i(t)$, $i\in E$, удовлетворяют системе уравнений

$$\begin{aligned} &\frac{d}{dt}\mathcal{D}_i(t) = c_1\varkappa_i(t) - c_2' m - c_3\mu\, m_i(t) - c_4 N, \\ &\mathcal{D}_i(0) = 0. \end{aligned} \tag{4.1}$$

Легко установить, что решением для (4.1) будет

$$\mathcal{D}_i(t) = \mathcal{D}_i + g\cdot t - \mathcal{D}_i\cdot\delta(t), \tag{4.2}$$

где при выполнении условия (1.8)

$$\mathcal{D}_i = \frac{i\lambda-(N-i)\mu}{(\lambda+\mu)^2}(c_1+c_3\mu),\ i\in E^1, \tag{4.3}$$

$$g = \frac{N\mu}{\lambda+\mu}(c_1-c_3\lambda)-(c_2' m+c_4 N), \tag{4.4}$$

а при нарушении его:

$$\mathcal{D}_i = \beta_i,\quad i\in E^2, \tag{4.5}$$

$$g = \frac{m\mu}{\lambda}(c_1-c_3\lambda)-(c_2' m+c_4 N). \tag{4.6}$$

Интерес представляет не только полный ожидаемый доход, но и доход, учитывающий варьируемые потери,

$$D_i(t) = D_i + g t - D_i\cdot\delta(t), \tag{4.7}$$

где при $N\lambda \leq m(\lambda+\mu)$:

$$D_i = \frac{i\lambda-(N-i)\mu}{(\lambda+\mu)^2}(c_1-c_2+c_3\mu),\ i\in E^1, \tag{4.8}$$

$$g = \frac{N\mu}{\lambda+\mu}\left(c_1+c_2\frac{\lambda}{\mu}-c_3\lambda\right)-c_2\cdot m, \tag{4.9}$$

а при $N\lambda > m(\lambda+\mu)$:

$$D_i = \beta_i,\quad i\in E^2, \tag{4.10}$$

$$g = \frac{m\mu}{\lambda}(c_1-c_3\cdot\lambda). \tag{4.11}$$

Связь $D_i(t)$ с $\mathcal{D}_i(t)$, $i\in E$, видна из следующего:

$$\frac{d}{dt}D_i(t) = \frac{d}{dt}\mathcal{D}_i(t)+c_2 m_i(t)+c_4\cdot N-(c_2-c_2')\cdot m. \tag{4.12}$$

Поскольку надежность современных вычислительных машин достаточно высока, то разность (c_2-c_2') оказывается близкой к нулю, поэтому членом $(c_2-c_2')m$ в (4.12) можно пренебречь, а в (4.1) вместо c_2' можно взять c_2.

Для достаточно больших значений t

$$D_i(t) = D_i + gt,\quad i\in E,$$

где D_i – веса, а g – прибыль, то есть доход, приносимый системой в единицу времени в стационарном режиме [3,8] . По – скольку при $t \to \infty$ $D_i \ll gt$, то доход не зависит от начального состояния и определяется формулой

$$D(t) = gt \quad .$$

Приведем числовые значения показателей, рассмотренных в данном параграфе, для нескольких вариантов вычислительных систем.

В табл. 4.I и на рис. 4.I приведены значения, выраженные в рублях, полного ожидаемого дохода (4.2) соответственно для УВС, имеющих N = I00, m = I0 и N = I00, m = 3. Расчет производится по формулам (4.2) – (4.6). В первом случае g = = II6I,5 руб/час, а во втором g = I070 руб/час.

Таблица 4.I

i \ t[час]	1	3	5	7	9	II	I3
90	833	29I9	5I86	7496	98I5	I2I37	I4459
9I	882	3004	5279	7590	99I0	I2232	I4555
92	93I	3088	5372	7685	I0006	I2328	I4650
93	980	3I73	5465	7780	I0I0I	I2423	I4745
94	I029	3257	5557	7875	I0I96	I25I8	I484I
95	I078	3342	5650	7969	I029I	I26I3	I4936
96	II28	3426	5743	8064	I0386	I2709	I503I
97	II77	35I0	5836	8I59	I048I	I2804	I5I26
98	I226	3595	5928	8253	I0577	I2899	I5222
99	I275	3679	602I	8348	I067I	I2994	I53I7
I00	I324	3764	6II4	8442	I0767	I3090	I54I2

В целях сравнения $\mathcal{D}_i(t)$ с $D_i(t)$, $i \in E$, приведены табл. 4.2, рис. 4.2 и рис. 4.3. Табл. 4.2 содержит числовые значения, выраженные в рублях, для $D_i(t)$, $i \in E'$, $E' = \{90, 9I, \ldots, I00\}$. Эти значения мало отличаются друг от друга, так как в данном примере ВС имеет достаточно высокую производительность.

На рис. 4.2 и 4.3 для N = I00, m = 3 изображены $D_i(t)$,

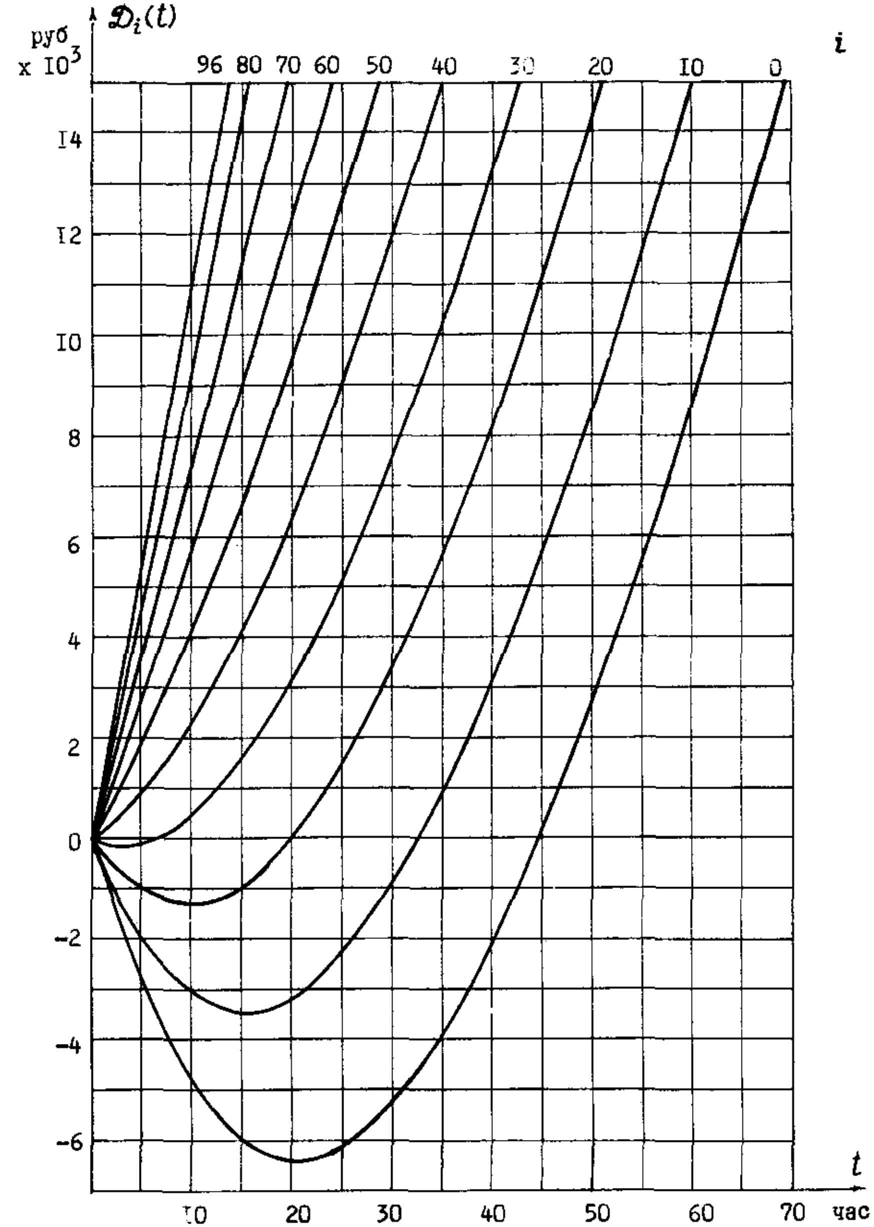


Рис. 4.I. Полный ожидаемый доход УВС

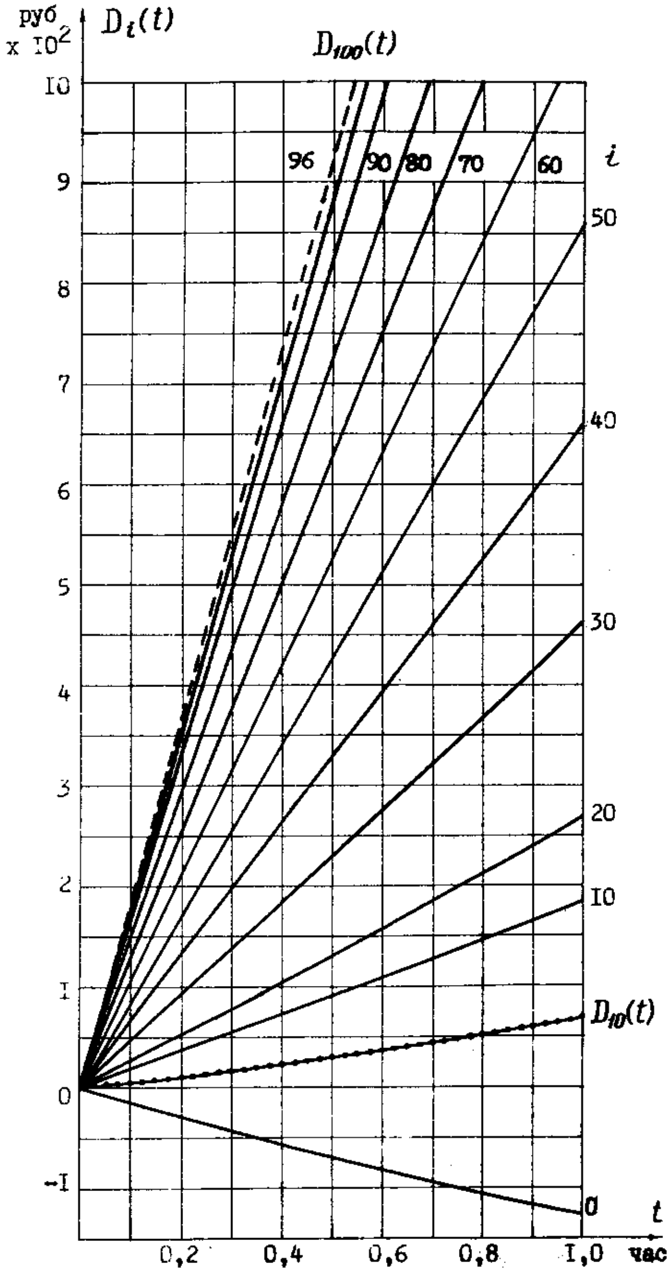


Рис. 4.2. Доход УВС

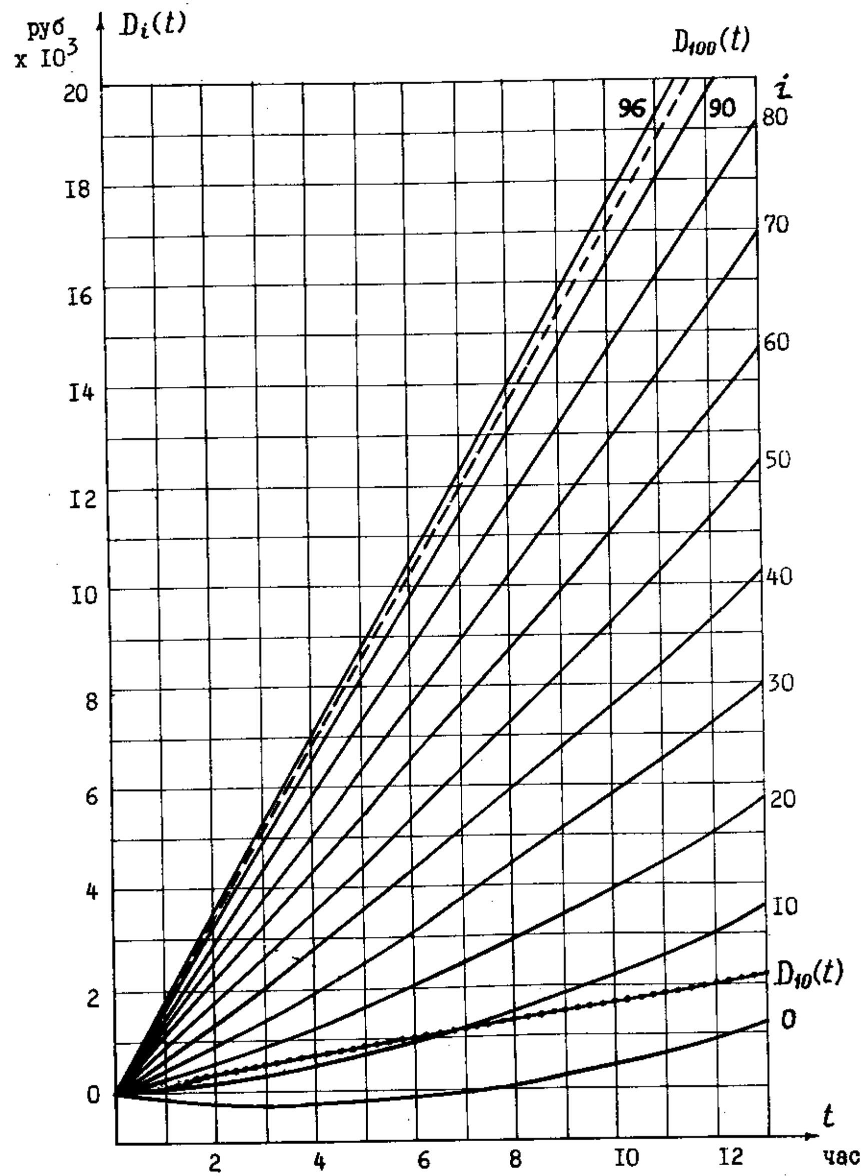


Рис. 4.3. Доход УВС

Таблица 4.2

t[час] / i	I	2	3	4	5	6	7	8
90	I422	2986	46I9	6285	7967	9658	II352	I3048
9I	I463	3047	4690	636I	8045	9737	II432	I3I28
92	I504	3I08	476I	6436	8I23	98I6	II5II	I3208
93	I546	3I70	4832	65I2	820I	9895	II59I	I3288
94	I587	323I	4903	6588	8279	9974	II670	I3367
95	I628	3292	4974	6663	8357	I0053	II750	I3447
96	I669	3353	5045	6739	8435	I0I32	II830	I3527
97	I7II	34I5	5II6	68I5	85I3	I02II	II909	I3607
98	I752	3476	5I86	6890	859I	I0290	II989	I3687
99	I793	3537	5258	6966	8669	I0369	I2068	I3767
I00	I834	3599	5328	7042	8747	I0448	I2I48	I3847

i = 0,I0,20,30,40,50,60,70,80,90,96, рассчитываемые по формулам (4.7), (4.I0), (4.II). Кроме того, на этих же рисунках нанесены $D_{100}(t)$, N = I00, m = I0 и $D_{10}(t)$, N = I0, m = I, рассчитываемые по формулам (4.7) – (4.9).

В табл. 4.3 приведены числовые значения для g и g^*, вычисляемые соответственно по формуле (4.9) и по формулам, приведенным в [3,4], а также оптимальные значения для m. Значе -

Таблица 4.3

N	I6	I8	20	50	80	I00	200
m	I	I	2	3	4	5	9
g [руб/час]	278	3I4	340	87I	I402	I753	3507
g^* [руб/час]	270	303	338	865	I390	I742	350I

N	300	400	500	600	800	I000	2000
m	I3	I7	2I	24	32	39	75
g [руб/час]	528I	7045	8809	I0584	I4II2	I765I	35335
g^* [руб/час]	5262	7025	8788	I0553	I4083	I76I5	35290

ния g и g^* отличаются друг от друга несущественно, причем при $N \geq$ I00 $0{,}002 < \varepsilon < 0{,}0I$, где $\varepsilon = |g - g^*| \cdot \frac{1}{g^*}$, а при $N <$ I00 $\varepsilon < 0{,}036$. Таким образом, точность расчета прибыли g на порядок выше, чем при вычислении γ.

Для определения числа восстанавливающих устройств m', близкого к оптимальному m^*, здесь также можно использовать формулу (3.9).

Выводы

I. Построенные стохастические модели однородных УВС достаточно адекватны и приводят к простым расчетным формулам для технико-экономических показателей. Числовые значения, получаемые по этим формулам, с достаточной для практики точностью совпадают с результатами более точных и трудоемких расчетов (как для стационарного, так и переходного режимов). Окончательные формулы могут быть использованы для УВС любой производительности.

2. Учет времени переключения восстановленных ЭМ не приводит к существенному изменению числовых результатов.

3. Оптимальные значения технико-экономических показателей сосредоточенных УВС достигаются при числе восстанавливающих устройств, много меньшем числа ЭМ (см. формулу 3.9).

4. Эксплуатировать вычислительную машину, входящую в состав однородной УВС, выгоднее, чем отдельно взятую.

5. Однородные универсальные вычислительные системы могут приносить значительную прибыль.

ЛИТЕРАТУРА

I. Э.В. ЕВРЕИНОВ, Ю.Г. КОСАРЕВ. Однородные универсальные вычислительные системы высокой производительности. Новосибирск, "Наука", СО, I966.

2. Ю.С. ГОЛУБЕВ-НОВОЖИЛОВ. Многомашинные комплексы вычислительных средств. М., "Сов.радио", I967.

3. В.Г. ХОРОШЕВСКИЙ. Некоторые вопросы стоимости однородных универсальных вычислительных систем. – Вычислительные

системы, Новосибирск, "Наука", СО, 1968, вып. 31, стр. 41-54.

4. Э.Г. ХОРОШЕВСКАЯ. Влияние показателей вычислительной системы на ожидаемый доход при её эксплуатации. Данный сборник, стр. 29 – 37.

5. Е.С. ВЕНТЦЕЛЬ. Введение в исследование операций. М., "Сов. радио", 1964.

6. В.Г. ХОРОШЕВСКИЙ. Живучие однородные универсальные вычислительные системы. - Вычислительные системы, Новосибирск, "Наука", СО, 1969, вып. 34, стр. 71-89.

7. В.В. ПРЖИЯЛКОВСКИЙ. "Минск-2/22" - базовая машина для однородных универсальных вычислительных систем. - Вычислительные системы, Новосибирск, "Наука", СО, 1966, вып. 23, стр. 21-34.

8. Р.А. ХОВАРД. Динамическое программирование и марковские процессы. М., "Сов. радио", 1964.

Поступила в редакцию
20.Ш.1969 г.