

# СРЕДНЕЕ ВРЕМЯ НАРАБОТКИ ДО ПЕРВОГО ОТКАЗА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ НЕПОЛНОТЫ КОНТРОЛЯ В ЭЛЕМЕНТАРНЫХ МАШИНАХ

Г.Г. Кудрявцев, А.А. Соколов  
(Москва)

Выводу рабочей формулы для определения среднего времени безотказной работы вычислительной системы (ВС)  $T$  и изучению влияния неполноты контроля в элементарных машинах (ЭМ), составляющих вычислительную систему, посвящена эта статья.

В работе рассматривается только случай вычислительной системы, состоящей из  $K$  основных ЭМ и одной резервной, находящейся в состоянии нагруженного резерва.

Из теории надежности известно [1], что среднее время до первого отказа такой системы с восстановлением при наличии 100% контроля работоспособности отдельных ЭМ может быть определено по следующей формуле:

$$T = \frac{1 + (2k + 1)\gamma}{k\lambda (k + 1)\gamma}, \quad (I)$$

где

$$\gamma = \frac{\lambda}{\mu},$$

$\lambda$  - интенсивность отказов ЭМ;

$\mu$  - интенсивность восстановления отказавшей ЭМ.

Из практики разработки и эксплуатации электронных вычислительных машин (ЭВМ) универсального назначения известно, что осуществление 100% контроля является практически неосуществимой задачей. Это объясняется тем, что при том большом количестве разнообразного оборудования и при тех весьма сложных логических связях между ними, которые имеют современные ЭВМ, очень трудно выполнить 100% аппаратный контроль их работы.

Процент контролируемости ЭВМ при слабом аппаратном контроле обычно повышают за счет введения тестового контроля, но такой метод повышения контролируемости, как известно, дает сигнал о неисправности ЭВМ с запаздыванием, определяемым частотой циркуляции этих тестов, а это значит, что в некоторых случаях применения ВС, не допускающих перерыва в ее работе, нельзя ориентироваться на этот метод повышения контролируемости ЭВМ.

Кроме того, для полной программной проверки требуется значительное снижение производительности каждой ЭМ, а следовательно и самих вычислительных систем.

Вследствие нереальности допущения о полном контроле работоспособности и появляется необходимость в формулах, учитывающих неполноту контроля в ЭМ.

Выведем формулу для определения  $t$  на примере описанной выше вычислительной системы (рис. I)

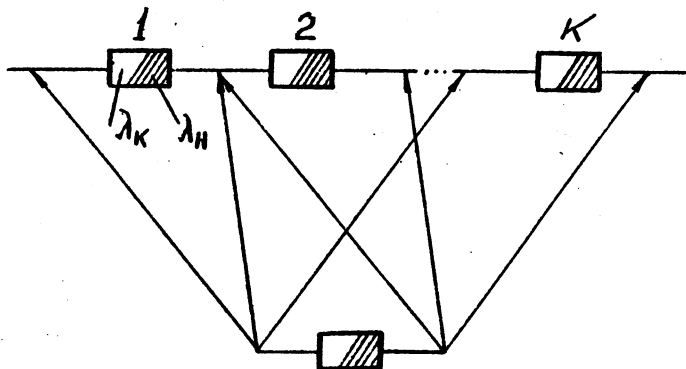


Рис. I. Вычислительная система из  $k$  основных ЭМ и одной резервной, работающей в нагруженном режиме.

В рассматриваемой модели, принято, что  $k$  основных ЭМ соединены последовательно, при отказе любых двух ЭМ производи-

тельность ВС падает ниже заданного уровня и вычислительная система считается отказавшей. Отказ неконтролируемой части в одной из основных машин, приводящий к неверному решению задачи, так же считается отказом ВС, т.к. предполагается, что в системе отсутствует дублирование решений задач несколькими основными ЭМ.

На рис. I приняты следующие обозначения:

$\lambda_k$  - интенсивность отказов контролируемых частей ЭМ;

$\lambda_n$  - интенсивность отказов неконтролируемых частей ЭМ;

$\lambda_k$  и  $\lambda_n$  определяются из детального рассмотрения структурных схем ЭМ.

Предположим, что отказы контролируемых и неконтролируемых частей ЭМ считаются независимыми, а также предположим, что на рассматриваемом отрезке времени  $T$  не производится восстановление неконтролируемого оборудования ЭМ. Следует отметить, что в рассматриваемом случае величина  $T$ , очевидно, не зависит от числа ремонтируемых органов.

При принятых предположениях возможные состояния ВС и их взаимный переход можно представить в виде следующего графа переходов или марковской модели состояний ВС (рис. 2).

Состояние  $A_1$ : Все ЭМ находятся в работоспособном состоянии.

Состояние  $A_2$ : Одна из основных ЭМ отказала вследствие отказа контролируемой части, остальные ( $K-I$ ) и резервная, заменившая отказавшую ЭМ, находятся в рабочем состоянии.

Состояние  $A_3$ : Резервная ЭМ отказала вследствие отказа контролируемой части,  $k$  основных ЭМ находятся в работе.

Состояние  $A_4$ : Резервная ЭМ отказала вследствие отказа неконтролируемой части,  $k$  основных ЭМ находятся в работе.

Состояние  $A_5$ : Обобщенное состояние отказа резервной ЭМ вследствие отказа контролируемой и неконтролируемой частей ее оборудования.

Состояние  $W$ : Обобщенное состояние отказа вычислительной системы.

Линии, замыкающиеся в одном состоянии, указывают на возможность сохранения в течение некоторого промежутка времени данного состояния.

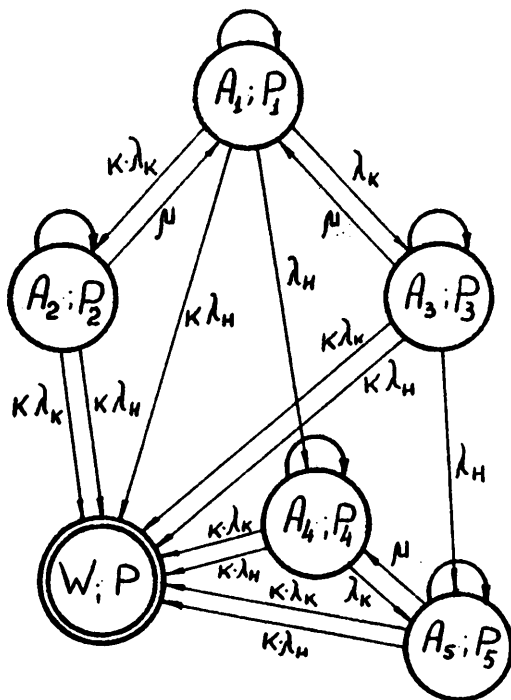


Рис. 2. Граф состояний вычислительной системы из  $K$  основных ЭМ и одной резервной, работающей в нагруженном режиме.

По правилам описания подобных моделей, заимствованным из теории массового обслуживания [2-4], представим нахождение ВС в неотказовых состояниях  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4, \Delta_5$  в виде следующей системы дифференциальных уравнений:

$$P'_1(t) = -[(k+1)(\lambda_k + \lambda_n)]P_1(t) + \mu P_2(t) + \mu P_3(t),$$

$$P'_2(t) = k\lambda_k P_1(t) - [k(\lambda_k + \lambda_n) + \mu]P_2(t),$$

$$P'_3(t) = \lambda_k P_1(t) - [k(\lambda_k + \lambda_n) + \mu + \lambda_n]P_3(t),$$

$$P_4'(t) = \lambda_n P_1(t) - [k(\lambda_k + \lambda_n) + \lambda_k] P_4(t) + \mu P_5(t),$$

$$P_5'(t) = \lambda_n P_3(t) + \lambda_k P_4(t) - k(\lambda_k + \lambda_n) P_5(t) - \mu P_5(t),$$

где  $P_i(t)$ ,  $i = 1, 2, 3, 4, 5$ , вероятность нахождения ВС в состоянии  $i$  в момент времени  $t \leq T$ .

Применив к этой системе уравнений метод определения  $T$ , изложенный в [5], и проделав некоторые преобразования и упрощения, получаем искомую рабочую формулу для определения среднего времени наработки до первого отказа вычислительной системы с учетом неполноты контроля в элементарных машинах

$$T_{\text{ср.вс}} = \frac{cd[ab + \frac{\alpha_k}{T_0}(kb + a) + a(\frac{1-\alpha_k}{T_0})bd + \frac{\alpha_k}{T_0}(c + b)]}{cd[abe - \frac{\mu\alpha_k}{T_0}(kb + a)]}, \quad (2)$$

где

$$a = \frac{k}{T_0} + \mu;$$

$$\alpha_k = \frac{\lambda_k}{\lambda_k + \lambda_n} = \lambda_k T_0$$

- коэффициент пол-

ноты контроля элементарных машин, ( $0 \leq \alpha_k \leq 1$ );

$$b = \frac{k + 1 - \alpha_k}{T_0} + \mu; \quad c = \frac{k + \alpha_k}{T_0};$$

$$d = \frac{k}{T_0}; \quad e = \frac{k + 1}{T_0};$$

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_k + \lambda_n}.$$

Если в полученной формуле положить  $\lambda_n = 0$ , т.е. исключить неконтролируемое оборудование в элементарных машинах, то формула (2) превращается в формулу (1), соответствующую полному контролю в элементарных машинах.

Полагая  $\lambda_k = 0$ , получаем при принятом критерии отказа  
BC

$$T^* = \frac{T_0}{k}.$$

Для оценки влияния неполноты контроля в ЭМ сравним результаты расчетов по формулам (1) и (2).

Для удобства сравнения результаты расчетов сведены в таблицу.

Т а б л и ц а

№	$T_0 = 100[\text{час}]; \quad \mu = 2 [\text{час}]$			
	k	$\alpha_k$	$T^*[\text{час}]$	$T[\text{час}]$
1	1	0,9	531	10150
		0,7	210	
2	2	0,9	328	3416
		0,7	123	
3	3	0,9	230	1725
		0,7	88	

Из этой таблицы видно, какое сильное влияние оказывает наличие неконтролируемого оборудования отдельных ЭМ на величину среднего времени наработки до первого отказа всей вычислительной системы.

#### Л и т е р а т у р а

1. Б.А. Козлов, И.А. Ушаков. Краткий справочник по расчету надежности радиоэлектронной аппаратуры. М., Изд-во "Сов.радио", 1966.
2. А. Я. Хинчин. Работы по математической теории массового обслуживания. М., Изд-во "Физматгиз", 1963.
3. А. Кофман, Р. Крюон. Массовое обслуживание. Теория и приложения. М., Изд-во "Мир", 1965.
4. Дж. Сандлер. Техника надежности систем. М., Изд-во "Наука", 1966.
5. Б.В. Васильев, Б.А. Козлов, Л.Г. Ткаченко. Надежность и эффективность радиоэлектронных устройств. М., Изд-во "Сов. радио", 1964.