

С. С. АВЕТИСЯН, Ю. А. КЭТОЯНЦ

О ПОКАЗАТЕЛЯХ НАДЕЖНОСТИ ПРИ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ

Анализ эксплуатации ЭВТ показывает, что в качестве математической модели описания функционирования технических средств (ТС) можно принять следующую: в некоторые моменты времени $\{t_1, t_2, \dots\}$ в ТС появляются неисправности, но ТС продолжает работать, затем в результате развития этих неисправностей происходит отказ [1]. Под неисправностью будем понимать такое изменение характеристик, которое все же позволяет ТС некоторое время работать, а затем приводит к отказу, т. е. нарушению работоспособности устройства. При проведении профилактической работы неисправности обнаруживаются и устраняются.

В настоящей работе предпринята попытка построения математической модели, учитывающей накопление неисправностей и устранение их во время профилактических работ. На основе этой модели рассчитаны основные показатели надежности.

Считаем, что имеются три типа профилактических работ, условно называемых еженедельной (П I), ежемесячной (П II) и полугодовой (П III). Профилактики П I — П III организованы таким образом, что последующий тип включает все работы предыдущего и ряд дополнительных мероприятий по более тщательному исследованию состояния ТС и устранению неисправностей. В соответствии с типами профилактик неисправности подразделяем на четыре типа, отличающиеся интенсивностями появления и временами их развития в отказ. Неисправности I I обнаруживаются и устраняются за время проведения профилактики П I, II I — за П II, III I — за П III, а неисправности IV либо не выявляются при П III, либо имеют малое время развития в отказ.

Известно, что моменты появления неисправностей у электронного оборудования хорошо описываются событиями процесса Пуассона [2], интенсивность которого выбирается постоянной. Считаем процессы Пуассона $\lambda_j^{(0)}(t)$, $t \geq 0$, задающие появления четырех типов неисправностей, независимыми с интенсивностями $\lambda_1^{(0)}, \lambda_2^{(0)}, \lambda_3^{(0)}, \lambda_4^{(0)}$ соответственно. Пусть $t_j^{(0)}$ — момент появления j -ой неисправности типа II после про-

ведения предыдущей профилактики ПІ. Время развития неисправности в отказ также считаем случайной величиной $\xi_j^{(i)}$. Если сумма $\xi_j^{(i)} + \xi_j^{(i-1)}$ меньше времени проведения следующей (после $t_j^{(i)}$) профилактики ПІ, то наступает отказ ТС. Если же она больше, то неисправность будет обнаружена и устранена во время этой ПІ [1]. Аналогично определяется функционирование ТС и в случае возникновения неисправностей ПІІ и ПІІІ. Считаем, что неисправности ПІV мгновенно переходят в отказы.

Нас интересует функционирование ТС ЭВТ в течение длительного времени T . Ниже описывается влияние профилактических работ на основные показатели надежности ТС.

Введем обозначения: T_n — время полезной работы ТС; $T_{пр}$ — время, затраченное на профилактики за период T ; n_y — число устраненных неисправностей; n_0 — общее число отказов; $\tau_j^{(i)}$ — число отказов от неисправностей типа ПІ, появившихся за время между $j-1$ и j -й профилактиками ПІ, $i=1-III$; τ_0 — время восстановления работоспособности ТС после появления отказа; $\tau^{(i)}$ — длительность профилактики ПІ, $i=1-III$; $F^{(i)}(x)$ — функция распределения времени $\tau^{(i)}$ развития неисправности типа ПІ в отказ, $i=1-III$; $N^{(i)}$ — число профилактик типа ПІ за время T ; $\tau^{(i)}$ — время между двумя профилактиками типа ПІ, $i=1-III$.

Приводимый ниже расчет проведен для предложенных в [3] следующих показателей надежности: $T_r = T_n/n_0$ — наработка на отказ; $k_r = T_r/\tau_0$ — коэффициент готовности; $k_{тн} = T_n/T$ — коэффициент технического использования; $k_m = n_y/n_0$ — коэффициент эффективности профилактик; $k_n = T_{пр}/T_n$ — коэффициент профилактик. Из определенных этих показателей видно, что для их вычисления достаточно знать значения T_n , n_0 и n_y .

Примем еще обозначение $\tau^{(0)} = 0$, тогда можно записать:

$$n_0 = \sum_{i=1}^III \sum_{j=1}^{N^{(i)}} \tau_j^{(i)} + \sum_{j=1}^{N^{(IV)}} \tau_j^{(IV)}; \quad (1)$$

$$T_n = T - n\tau_0 - \sum_{i=1}^III N^{(i)} (\tau_n^{(i)} - \tau_n^{(i-1)}). \quad (2)$$

Для оценки этих величин рассмотрим подробнее работу ТС за время $[0, \tau^{(0)}]$, т. е. с момента первого включения до первой профилактики ПІ, и неисправности только типа ПІ. Индекс i у всех величин будем опускать. За время $[0, \tau]$ появились $\pi(\tau) = p$ неисправностей.

Введем событие B_k , заключающееся в том, что имеет место k неравенств $t_j + \xi_j \geq \tau$ для некоторого набора j из $1, \dots, p$ и $p-k$ противоположных неравенств $t_j + \xi_j < \tau$. Так как:

$$P\left\{\sum_{r=0}^{\infty} (p=r)\right\} = \sum_{r=0}^{\infty} P(p=r) = 1$$

и

$$P\{(p=r) \cap B_k\} = 0$$

при $r < k$, то по формуле полной вероятности имеем:

$$P\{q=k\} = \sum_{r=k}^{\infty} P\{(p=r) \cap B_k\}, \quad (3)$$

где q — число устраненных во время П I неисправностей. Согласно определению условных вероятностей:

$$P\{(p=r) \cap B_k\} = P\{p=r\} \cdot P\{B_k | (p=r)\}.$$

В силу того, что $\pi(t)$ — процесс Пуассона, имеем:

$$P\{p=r\} = \frac{(t\lambda)^r}{r!} e^{-t\lambda}.$$

Условное распределение моментов $(t_1, \dots, t_p)$ при условии, что их число фиксировано, является p -мерным равномерным на интервале $[0, \tau]$ [4]. Число возможных наборов из r по k равно:

$$C_r^k = \frac{r!}{k!(r-k)!},$$

следовательно, для события B_k имеем:

$$P\{B_k | p=r\} = C_r^k \Lambda^{r-k} (1-\Lambda)^k,$$

где

$$r = k, k+1, \dots; \quad \Lambda = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} F(\tau-x) dx.$$

Последнее вытекает из независимости t_j и ξ_j и равномерности распределения t_j , точнее:

$$P(t_j + \xi_j \leq \tau | p=r) = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} F(\tau-x) dx.$$

Подстановка полученных соотношений в (3) приводит к доказательству, что a имеет пуассоновское распределение с параметром

$$\lambda \int_0^{\tau} [1 - F_{\tau}(x)] dx.$$

Аналогично доказывается принадлежность к распределению Пуассона величины η — числа отказов на $[0, \tau]$ с параметром $\lambda \int_0^{\tau} F_{\tau}(x) dx$.

Введем числа $a_i = N^{(i)}/T$, $i = I, II, III$ и запишем число отказов в единицу времени согласно (1):

$$\frac{n_0}{T} = \sum_{i=1}^{III} \frac{N^{(i)}}{T} \cdot \frac{1}{N^{(i)}} \cdot \sum_{j=1}^{N^{(i)}} \tau_j^{(i)} + \frac{N^{(IV)}}{T} \cdot \frac{1}{N^{(IV)}} \cdot \sum_{j=1}^{N^{(IV)}} \tau_j^{(IV)}.$$

При $T \rightarrow \infty$ имеем $N^{(i)} \rightarrow \infty$, а тогда по закону больших чисел с вероятностью 1

$$\lim_{N^{(i)} \rightarrow \infty} \frac{1}{N^{(i)}} \sum_{j=1}^{N^{(i)}} \tau_j^{(i)} = E\tau_i^{(i)} = \tau_i^{(i)} \int_0^{\tau_i^{(i)}} F^{(i)}(x) dx,$$

откуда для n_0/T получаем соотношение

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{n_0}{T} = \sum_{i=1}^{III} a_i \tau_i^{(i)} \int_0^{\tau_i^{(i)}} F^{(i)}(x) dx + a_{IV} \tau^{(IV)}. \quad (4)$$

Обозначим правую часть этого выражения λ . Тогда можно получить предельное выражение и для (2):

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{\bar{T}_n}{T} = 1 - \tau_a \tau - \sum_{i=1}^{III} a_i (\tau_n^{(i)} - \tau_n^{(i-1)}) = K_{in}. \quad (5)$$

Из (4) и (5) выводим выражения для показателей надежности:

$$T_\lambda = \tau^{-1} \left[1 - \tau_a \tau - \sum_{i=1}^{III} a_i (\tau_n^{(i)} - \tau_n^{(i-1)}) \right]; \quad (6)$$

$$K_T = \frac{T_\lambda}{T_\lambda + \tau_a}; \quad (7)$$

$$K_{in} = \left(\sum_{i=1}^{III} \tau_i^{(i)} \right)^{-1} \left[\sum_{i=1}^{III} a_i (\tau_i^{(i)}) \tau_i^{(i)} - \Lambda_{\tau_i^{(i)}} \right]; \quad (8)$$

$$K_n = \frac{\sum_{i=1}^{III} a_i (\tau_n^{(i)} - \tau_n^{(i-1)})}{K_{in}}. \quad (9)$$

Выводы

Полученные соотношения (5)–(9) позволяют по известным $\tau^{(i)}$, $F^{(i)}(x)$, $\tau_n^{(i)}$ ($i = I-III$), τ_a , τ , $\tau^{(IV)}$ вычислить значения показателей надежности при заданной периодичности a_i профилактических работ. Представляют интерес решения задач определения $\tau^{(i)}$ и $F^{(i)}(x)$ по

наблюдениям отказов ТС и регистрации неисправностей во время профилактики, а также оптимальный выбор периодичности профилактических работ ($a_{(1)}$, $a_{(10)}$, $a_{(100)}$).

Арм. фил. ВГИИТН
ЦСУ СССР

Поступила 8. IX. 1980

И. И. ԱՂԵՏԻՎՅԱՆ, Յու. Ա. ԿՈՒՏՈՏՈՒՆՑ

ՊՐՈՅԵԿԼԱՅԻԿ ՍԳԱՍԱՐԿՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ ՀՈՒՍԱԿՐՈՒԹՅԱՆ ՑՈՒՑԱՆԵՇՆԵՐԻ ԿԱՍՈՆ

Ա. Ա Վ Ի Ն Վ Ի Ն Ա Մ

Կատուցված է մաթեմատիկական մոդել, որը նկարագրում է էլեկտրոնային հաշվիչ մեքենաների տեխնիկական միջոցների անսարքությունների կուտակումը շահագործման ընթացքում և նրանց վերացումը պրոֆիլակտիկ աշխատանքների ժամանակ:

Այդ մոդելի հիման վրա, օգտվելով անսարքությունների ինտենսիվությունից, մինչ խափանումը անսարքության զարգացման մասնակի բաշխման ֆունկցիայից, պրոֆիլակտիկ աշխատանքների առողջությունից և խափանումից հետո տեխնիկական միջոցների աշխատունակության վերականգնման ժամանակից, հաշվարկված է տեխնիկական միջոցների հուսալիության ցուցանիշները պրոֆիլակտիկ աշխատանքների արված պարբերականության համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Складчиков А. Н. Линейные системы с возможными нарушениями. М., «Наука», 1975.
2. Под ред. Г. В. Дружинина. Теория надежности радиоэлектронных систем и приложения. М., «Энергия», 1976.
3. Под ред. А. М. Тарнохова. Системы документации единой системы ЭВМ. М., «Статистика», 1976.
4. Коке Л., Яков П. Статистический анализ последовательностей событий. М., «Мир», 1969.