

## О МЕТОДИКЕ СБОРА И ОБРАБОТКИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О РАБОТЕ УСКОРИТЕЛЕЙ

Н. И. САБЛИН

Систематический сбор и обработка статистической информации о работе ускорителей имеет важнейшее значение для получения апостериорных данных по их надежности, которые затем используются в качестве исходных данных многих задач эксплуатации.

Для сбора статистической информации в НИИ ЯФ ЭА на всех ускорителях введены журналы регистрации отказов, форма которых и пример заполнения представлены в табл. 1.

Таблица 1

| Дата      | Время<br>включ. | Время<br>выключ. | Время<br>отказа | Отказавший эле-<br>мент и его место<br>в схеме | Время<br>поиска<br>неисправн. | Время<br>восстанов. | Причи-<br>на от-<br>каза           | Коррек-<br>тир.<br>воз-<br>действ.               | Вид<br>отказа                   |
|-----------|-----------------|------------------|-----------------|------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------|
|           | (в часах)       |                  |                 |                                                | (в часах)                     |                     |                                    |                                                  |                                 |
| 29/III-66 | 9<br>15         | 14<br>15,5       | —<br>15,5       | —<br>Л <sub>5</sub><br>Схема 2                 | —<br>0,5                      | —<br>1              | —<br>Краткое<br>замыкан.<br>эл-дов | —<br>Л <sub>5</sub> заме-<br>нена но-<br>вой л-й | —<br>Катаст-<br>рофиче-<br>ский |

Форма журнала составлена таким образом, чтобы получить максимальную информацию, которая позволила бы определить все основные количественные характеристики надежности, качественно проанализировать и систематизировать процессы, происходящие при отказах, а также систематизировать отказы. Графы 2, 3 и 4 табл. 1 служат для определения критериев безотказности, графа 5—для дифференциации отказавших элементов, графы 6 и 7—для определения критериев восстанавливаемости, графы 8 и 9—для качественного анализа и систематизации процессов, происходящих при отказе, графа 10 служит для систематизации отказов.

Под временем поиска неисправности следует понимать промежуток времени от момента фиксации отказа до локализации неисправного элемента.

Под временем восстановления следует понимать промежуток времени, затраченный на замену или ремонт отказавшего элемента.

Следует различать 2 вида отказов: катастрофический отказ и некатастрофический отказ. Отказ называется катастрофическим, если его возникновение приводит к срыву эксперимента, в противном случае — некатастрофическим. Такая систематизация отказов необходима для выявления наиболее „узких“ мест ускорителей и в дальнейшем для обоснования модернизации „слабых“ по надежности узлов.

Обработка накопленной информации производится методами математической статистики и подробно освещена во многих работах [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Ниже кратко приводится порядок вычисления основных критериев.

1. Определение наработки на отказ производится по формуле [1]

$$T_0^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i, \quad (1)$$

где  $T_0^*$  — наработка на отказ;

$t_i$  — время работы аппаратуры между восстановлением аппаратуры после  $(i-1)$ -го отказа и  $i$ -м отказом;

$n$  — количество отказов, возникших в системе за заданный календарный период.

Аналогично определяется среднестатистическое время на поиск неисправности:

$$T_n^* = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \theta_j, \quad (2)$$

где  $\theta_j$  — время, затраченное на поиск  $j$ -го отказавшего элемента;

$m$  — количество отказавших элементов; и среднестатистическое время восстановления

$$T_b^* = \frac{1}{l} \sum_{k=1}^l \tau_k, \quad (3)$$

где  $\tau_k$  — время восстановления  $k$ -го отказавшего элемента,

$l$  — количество отказавших элементов.

2. Среднеквадратическое отклонение для наработки на отказ вычисляется по формуле [1]

$$s_0 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - T_0^*)^2}, \quad (4)$$

где  $s_0$  — среднеквадратическое отклонение для наработки на отказ

Аналогично вычисляются среднеквадратические отклонения для  $T_n^*$  и  $T_b^*$ :

$$s_n = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (\theta_j - T_n^*)^2}, \quad (5)$$

$$s_b = \sqrt{\frac{1}{l-1} \sum_{k=1}^l (\tau_k - T_b^*)^2}. \quad (6)$$

3 Экспериментальное определение неизвестных законов распределения времени между отказами и времени восстановления следует производить в следующей последовательности [2]:

а) Перейти к новой статистической совокупности реализации величин

$$x_{i0} = \frac{t_i}{T_0^*} \quad \text{или} \quad x_{ib} = \frac{\tau_k}{T_b^*}; \quad (7)$$

б) определить величину интервала группирования  $\Delta x$  и общего числа этих интервалов  $\kappa$  по формулам

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= \frac{x_{\max} - x_{\min}}{1 + 3,3 \lg n} \\ \kappa &= \frac{x_{\max} - x_{\min}}{\Delta x} \end{aligned} \right\}; \quad (8)$$

в) построить полигон случайных чисел  $\Delta n_i^*$  (число отказов попавших в  $i$ -й интервал) и выбрать аппроксимирующую функцию для выравнивания статистического распределения;

г) проверить согласие выбранной аппроксимирующей функции с данными эксперимента; при этом проверку согласия следует проводить 2—3-мя критериями соответствия (например, при помощи критериев  $\chi^2$  и  $\omega^2$ ) [3, 4, 5, 6].

4. Коэффициент готовности вычисляется по формуле

$$K_2 = \frac{T_0^*}{T_0^* + T_{\Pi}^* + T_{\text{в}}^*}. \quad (9)$$

5. Коэффициент использования вычисляется по формуле

$$K_{\text{и}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{j=1}^m \Theta_j + \sum_{\kappa=1}^l \tau_{\kappa} + \sum_{i=1}^n t_i}. \quad (10)$$

6. Коэффициент простоя вычисляется по формуле

$$K_{\text{п}} = \frac{\sum_{\kappa=1}^l \tau_{\kappa} + \sum_{j=1}^m \Theta_j}{\sum_{j=1}^m \Theta_j + \sum_{\kappa=1}^l \tau_{\kappa} + \sum_{i=1}^n t_i}. \quad (11)$$

Коэффициент простоя и коэффициент использования связаны между собой простым соотношением [1]:

$$K_{\text{п}} = 1 - K_{\text{и}}. \quad (12)$$

7. Экономическая оценка производится с помощью коэффициента стоимости эксплуатации [1]:

$$K_x = \frac{C_1}{C_0}, \quad (13)$$

где  $C_1$  — стоимость эксплуатации одного года,

$C_0$  — стоимость аппаратуры.

Обычная величина этого коэффициента  $0,1 \div 0,2$ .

8. Вычисление доверительных интервалов и вероятностей производится по-разному в зависимости от закона распределения.

Например, для нормального распределения вычисление доверительной вероятности сводится к вычислению интегрального распределения Стьюдента [1]:

$$P = \int_{-t_P}^{t_P} \varphi(t) dt, \quad (14)$$

где

$$\varphi(t) = \frac{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}{\sqrt{(n-1)\pi} \Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)} \left(1 + \frac{t^2}{n-1}\right)^{-\frac{n}{2}}$$

$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt$  — гамма-функция,

$t_p$  — функция выбранной вероятности.

Значения интеграла (14) обычно табулированы, в таблицах указывается значение  $t_p$  для заданной доверительной вероятности  $P$  и для заданного числа испытаний  $n$ . Пользуясь такими таблицами, можно решать как прямую, так и обратные задачи, т. е. как задачу вычисления доверительного интервала, так и задачу определения доверительной вероятности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Широков. Основы надежности и эксплуатации электронной аппаратуры, 1965.
  2. Основы теории надежности. Под редакцией Н. А. Шишонка, 1964.
  3. Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. Математические методы в теории надежности, 1964.
  4. Н. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. Курс теории вероятностей и математической статистики, 1965.
  5. Е. С. Вентцель. Теория вероятностей. 1964.
  6. Э. Леман. Проверка статистических гипотез. 1964.
-