

## К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ УСКОРИТЕЛЕЙ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

В. А. КОЧЕГУРОВ, Н. И. САБЛИН

Надежная работа ускорителей является важным условием их эффективного использования. Ускоритель можно отнести к классу сложных систем. Для сложных систем такие критерии надежности, как наработка на отказ, вероятность безотказной работы, интенсивность отказов и др., „малоприспособлены“, явно не выражают используемость системы.

Поэтому в настоящее время под надежностью системы [1] следует понимать стабильность эффективности с учетом надежности частей, составляющих систему. Надежность является одним из свойств, позволяющим успешно эксплуатировать технические системы. Под эксплуатацией [2] будем понимать всю совокупность работ, позволяющих использовать систему по назначению:

1. Профилактические работы.
2. Восстановительные работы.
3. Обучение операторов.
4. Разработка методов и аппаратуры контроля.
5. Разработка методов и аппаратуры прогнозирования и т. д.

К используемым в настоящее время эксплуатационным характеристикам следует отнести [2]:

1. Коэффициент готовности

$$K_r = \frac{T}{T + T_B}, \quad (1)$$

где  $T$  — среднее время наработки,  
 $T_B$  — среднее время восстановления.

2. Коэффициент использования

$$K_u = \frac{t_{сн}}{t_{сн} - t_{спр}}, \quad (2)$$

где  $t_{сн}$  — суммарное время исправной работы,  
 $t_{спр}$  — суммарное время вынужденных простоев.

Под вынужденными простоями в данном случае понимаются простои, вызванные отказами и техническим обслуживанием.

3. Коэффициент простоя

$$K_{пр} = \frac{t_{спд}}{t_{сн} + t_{спр}}. \quad (3)$$

4. Экономическая оценка эксплуатационных свойств производится с помощью коэффициента стоимости эксплуатации

$$K_x = \frac{C_1}{C_0}, \quad (4)$$

где  $C_1$  — стоимость эксплуатации в течение года,  
 $C_0$  — стоимость аппаратуры.

Во всех 3-х первых случаях оценка коэффициентов производится за один и тот же календарный период.

Основными недостатками вышеприведенных эксплуатационных характеристик являются:

1. Слабая экономическая оценка эксплуатационных свойств.

2. Отсутствие критериев оценки модернизации систем, так как в процессе эксплуатации подавляющая часть систем совершенствуется. Под модернизацией будем понимать комплекс мероприятий, направленных на усовершенствование и усиление надежности систем.

Для более сильной экономической оценки и учета эффекта модернизации предлагается обобщенная эксплуатационная характеристика (ОЭХ):

$$Y(T) = F(t_{\text{пр}}, \Theta, C_1, C_2, T), \quad (5)$$

где  $T$  — заданный календарный период,

$t_{\text{пр}}$  — длительность профилактики,

$\Theta$  — интервал времени от начала работы до начала профилактики,

$C_1$  — цена модернизации,

$C_2$  — цена отказа,

$Y(T)$  — выходной продукт.

Под выходным продуктом системы следует понимать интегральное значение выходного параметра системы за заданный календарный период.

Например, для ускорителей в качестве выходного продукта можно принять

$$Y(T) = \sum_{i=1}^n \int_{t_{i-1}}^{t_i} y dt, \quad (6)$$

где  $y$  — интенсивность, изменяющаяся по какому-либо закону;

$t_i$  — время исправной работы ускорителя;

$n$  — количество  $t_i$  за заданный календарный период.

Цена модернизации — это средства, с помощью которых осуществляется комплекс мероприятий, направленных на модернизацию системы:

$$C_1 = \sum_{i=1}^n C_{1i}, \quad (7)$$

где  $C_{1i}$  — затраты, связанные с модернизацией отдельных устройств системы (дифференциальный параметр).

Цена отказа — это общие потери, связанные с возникновением отказа:

$$C_2 = \sum_{i=1}^n C_{2i}, \quad (8)$$

Цена отказа состоит, в основном, из 4-х компонент:

$C_{21}$  — стоимость эксперимента,

$C_{22}$  — заработная плата обслуживающего персонала и экспериментаторов,

$C_{23}$  — потери выходного продукта,

$Ц_{24}$  — ремонт системы (стоимость материалов, заработная плата и др.).

Следовательно,

$$Ц_2 = Ц_{21} + Ц_{22} + Ц_{23} + Ц_{24}. \quad (9)$$

На практике же обычно цена отказа усредняется и принимается постоянной, что является не вполне правильным решением.

Выражение ОЭХ является функционалом, аналитическое выражение которого зависит от конкретного вида системы. Естественно потребовать оптимума от ОЭХ. Оптимум ОЭХ дает нам оптимальное значение использования системы

$$Y(T) = F(t_{пр}, \theta, Ц_1, Ц_2, T) = \max. \quad (10)$$

С помощью эвристических рассуждений можно показать, что  $Y(T)$  зависит от своих компонент в соответствии с зависимостями, приведенными на рис. 1.

Как видно из рис. 1, кривые  $Y(T) = f_1(t_{пр})$  и  $Y(T) = f_2(\theta)$  имеют экстремумы в точках А и В, кривая  $Y(T) = f_4(Ц_2)$  монотонно убывает, а кривая  $Y(T) = f_3(Ц_1)$  монотонно возрастает, но имеет точку перегиба в точке С. Перегиб можно объяснить приработкой модернизированных устройств с системой.

Из вышеприведенного следует, что оптимизировать ОЭХ необходимо лишь в трехмерном пространстве с последующим учетом  $Ц_1$  и  $Ц_2$ , т. е.:

$$Y(T) = F[Y_1(T), Ц_1, Ц_2, T], \quad (11)$$

где

$$Y_1(T) = F_1(t_{пр}, \theta, T) = \max. \quad (12)$$

Задача выбора оптимальных  $t_{пр}$  и  $\theta$  рассматривалась в работах [3, 4, 5 и др.). Следует указать, что такие задачи могут быть решены методами математического программирования (например, стохастического программирования), основным достоинством которых является широкое использование ЦВМ.

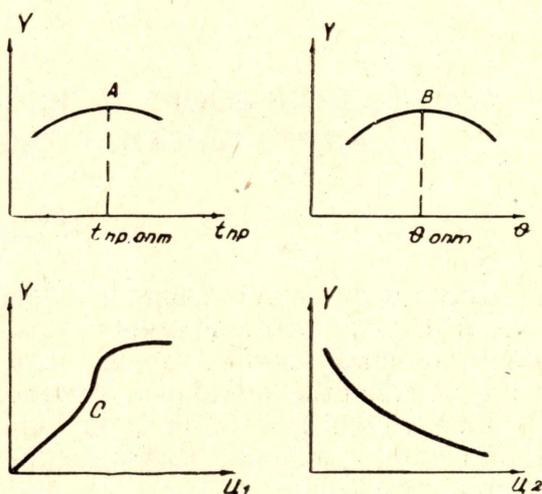


Рис. 1. Зависимость  $Y(T)$  от  
а)  $Y(T) = f_1(t_{пр})$ , б)  $Y(T) = f_2(\theta)$ ,  
в)  $Y(T) = f_3(Ц_1)$ , г)  $Y(T) = f_4(Ц_2)$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. Математические методы в теории надежности, 1964.
2. А. М. Широков. Основы теории надежности и эксплуатации электронной аппаратуры, 1965.
3. Основы теории надежности. Под редакцией Н. А. Шишонка.
4. Труды ЦНИИКА. В. 12, 1965.
5. Проблемы надежности радиоэлектронной аппаратуры. Сб. докладов V-го национального симпозиума США под ред. Б. Е. Бердичевского, 1960.
6. Д. Б. Юдин, Е. Г. Гольштейн. Линейное программирование, 1965.