

**УЧЕТ ВЛИЯНИЯ АППАРАТУРНОГО КОНТРОЛЯ
НА КОЭФФИЦИЕНТ ГОТОВНОСТИ ОДНОГО КЛАССА
ЦИФРОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

В. М. ТАНАСЕИЧУК, В. М. РАЗИН

(Представлена научным семинаром кафедры вычислительной техники)

Основным достоинством аппаратурного контроля (АК) является возможность его использования для непрерывной диагностики объекта в процессе функционирования. Для рассматриваемого класса цифровых информационных систем (ЦИС) аппаратурный контроль является единственным видом контроля, обнаруживающим появление ошибок в процессе преобразования информации.

Однако не всегда имеется возможность охватить АК все устройства ЦИС. Одной из особенностей условий работы рассматриваемых ЦИС в составе комплексной системы управления объектом является то, что факт отказа неконтролируемой части ЦИС с некоторым запаздыванием будет обнаружен оператором, так как в его распоряжении имеются источники информации, позволяющие следить за правильностью процесса управления объектом.

В настоящей статье рассматривается один из возможных подходов к оценке коэффициента готовности K_r ЦИС с учетом глубины охвата контролем, ненадежности схем АК и принятого порядка обслуживания.

Общий подход к определению коэффициента готовности K_r системы может быть найден, если рассматривать смену состояний системы как случайный процесс, непрерывный во времени и дискретный в пространстве. Рассмотрим устройство (блок, систему), которое состоит из рабочего оборудования (РО), выполняющего основные функции, и блока контроля (БК). Под БК понимается оборудование схем аппаратурного контроля.

Предполагаем, что рабочее оборудование и блок контроля состоят из большого количества элементов, отказы элементов независимы и отказ любого элемента рабочей части и блока контроля приводят к отказу устройства. Потоки отказов элементов будем считать стационарными. В общем случае поток отказов блока контроля и рабочего оборудования можно представить как сумму числа независимых стационарных потоков отказов, так что каждый слагаемый поток составляет очень малую долю суммы. Тогда на основании предельной теоремы [1] потоки отказов РО и БК можно считать простейшими с интенсивностями λ и λ_k и распределение времени появления отказов оборудования можно описать экспоненциальным законом распределения.

Сделаем подобное предположение и относительно процесса восстановления. Будем считать, что основную долю неисправностей можно устранить за короткое время, а часть узлов, отказывающих весьма редко, требует длительного ремонта. Поэтому предположим, что время

восстановления РО и БК распределено по экспоненциальному закону. Следует отметить, что гипотеза экспоненциальности хорошо подтверждается на практике [2].

Интенсивности восстановления БК и рабочей части, охваченной контролем, полагаем равными вследствие того, что:

- схемы БК построены на тех же элементах, что и РО;
- узел РО и БК имеют одинаковую конструкцию;
- способы поиска и замены отказавших узлов с последующей проверкой работоспособности совпадают для РО и БК.

Интенсивность восстановления РО, охваченного схемой контроля, обозначим μ_1 , а интенсивность установления оператором факта отказа в неконтролируемой части РО — γ . Предположим также, что во время восстановления устройство не отказывает. Так как время установления факта отказа контролируемой части РО и БК, построенного на схемах аппаратного контроля, пренебрежимо мало, поэтому берем его равным нулю.

Установим следующий порядок обслуживания системы. После обнаружения факта отказа блоком контроля устройство немедленно переходит в состояние восстановления работоспособности. При установлении факта отказа неконтролируемой части РО осуществляется проверка работоспособности устройства в целом и ликвидация отказа в неконтролируемой части РО (НРО) с интенсивностью μ_2 .

Диаграмма состояний РО и БК с учетом принятых допущений и принятого порядка обслуживания представлена на рис. 1.

Рассматривая смену состояний РО и БК как случайный процесс, $X(t)$ непрерывный во времени, но дискретный в пространстве, можно доказать, что в силу принятых предположений он является марковским [3].

Поясним смысл состояний графа:

- P_0 — состояние работоспособности РО и БК;
- P_1 — состояние локализации и устранения обнаруженного отказа в контролируемой части рабочего оборудования (КРО) или БК;
- P_2 — состояние необнаруженного отказа в неконтролируемой части РО;
- P_3 — состояние локализации и устранения отказа в КРО или БК, в НРО имеется отказ;
- P_4 — состояние локализации и устранения отказа в НРО и общей проверки работоспособности.

Интенсивность отказов РО равна

$$\lambda = \lambda_0 + \lambda_n,$$

где λ_0 и λ_n — соответственно интенсивности отказов КРО и НРО. Введем следующие вероятности:

$$P_i(t) = \{X(t) = P_i\}, \quad i = [\overline{0,4}]. \quad (1)$$

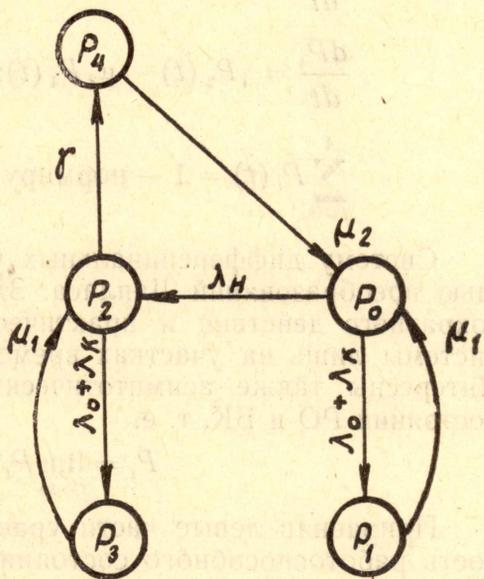


Рис. 1. Диаграмма состояний рабочего оборудования и блока контроля при установленном порядке обслуживания

В соответствии с графом переходов составим следующую систему дифференциальных уравнений Колмогорова для введенных вероятностей:

$$\frac{dP_0}{dt} = \mu_1 P_1(t) + \mu_2 P_4(t) - (\lambda_0 + \lambda_k + \lambda_n) P_0(t);$$

$$\frac{dP_1}{dt} = (\lambda_0 + \lambda_k) \cdot P_0(t) - \mu_1 P_1(t);$$

$$\frac{dP_2}{dt} = \lambda_n P_0(t) + \mu_1 P_3(t) - (\lambda_0 + \lambda_k + \gamma) P_2(t);$$

$$\frac{dP_3}{dt} = (\lambda_0 + \lambda_k) P_2(t) - \mu_1 P_3(t);$$

$$\frac{dP_4}{dt} = \gamma P_2(t) - \mu_2 P_4(t);$$

$$\sum_{i=0}^4 P_i(t) = 1 - \text{нормирующее условие.}$$

Систему дифференциальных уравнений (2) можно решить с помощью преобразований Лапласа. Здесь рассматривается устройство многократного действия и практический интерес представляет поведение системы лишь на участках времени, которые далеки от начального. Интересны также асимптотические значения вероятностей различных состояний РО и БК, т. е.

$$P_i = \lim_{t \rightarrow \infty} P_i(t), \quad i = \overline{0,4}. \quad (3)$$

Приравняв левые части уравнения (2) нулю, найдем P_0 — вероятность работоспособного состояния системы.

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_n}{\gamma} + \frac{\lambda_n}{\gamma \mu_1} (\lambda_0 + \lambda_k) + \frac{\lambda_n}{\mu_2} + \frac{1}{\mu_1} (\lambda_0 - \lambda_k)}. \quad (4)$$

Введем $\alpha = \frac{V_0}{V_0 + V_n} = \frac{V_0}{V}$ — коэффициент, характеризующий глубину контроля и равный отношению объема КРО ко всему объему РО,

$$\beta = \frac{V_k}{V_0} - \text{коэффициент избыточности контроля,}$$

равный отношению объема блока контроля к объему контролируемой части РО. Так как РО и БК выполнены на одинаковых элементах, нетрудно убедиться, что

$$\alpha = \frac{\lambda_0}{\lambda}, \quad \beta = \frac{\lambda_k}{\lambda_0}.$$

Выразим λ_n , λ_0 , λ_k через λ , тогда

$$\lambda_n = (1 - \alpha) \cdot \lambda; \quad \lambda_0 = \alpha \cdot \lambda; \quad \lambda_k = \alpha \cdot \beta \cdot \lambda;$$

$$0 \leq \alpha \leq 1; \quad \beta \geq 0. \quad (5)$$

Подставив (5) в (4), получим

$$P_0 = \frac{1}{1 + (1 - \alpha) \cdot \lambda \left(\frac{1}{\gamma} + \frac{1}{\mu_2} \right) + \frac{\alpha (1 + \beta) \lambda}{\mu_1} + \frac{\alpha (1 - \alpha) (1 + \beta) \lambda^2}{\gamma \mu_1}}. \quad (6)$$

Учитывая, что значение члена $\frac{\alpha(1-\alpha)(1+\beta)\lambda^2}{\gamma\mu_1}$ пренебрежимо мало, получим

$$P_0 = \frac{1}{1 + (1-\alpha)\lambda \left(\frac{1}{\gamma} + \frac{1}{\mu_2} \right) + \frac{\alpha(1+\beta)\lambda}{\mu_1}} \quad (7)$$

Заменяя в выражении (7) интенсивности переходов на средние времена, можно записать

$$P_0 = \frac{1}{1 + \lambda(1-\alpha)(T_{00} + T_{вн}) + \lambda\alpha(1+\beta)T_{вк}} = \frac{1}{1 + \lambda_n(T_{00} + T_{вн}) + (\lambda_0 + \lambda_k)T_{вк}}, \quad (8)$$

где T_{00} — среднее время обнаружения оператором факта отказа в НРО;

$T_{вн}$ — среднее время локализации и замены проверки работоспособности;

$T_{вк}$ — среднее время восстановления КРО и БК.

Как видно из графа переходов (рис. 2, 1), состояниями отказа устройства, состоящего из рабочего оборудования и блока контроля. Поэтому K_r равен вероятности пребывания устройства в состоянии P_0 , т. е.

$$K_r = P_0 = \frac{1}{1 + \lambda \cdot (1-\alpha) \cdot \left(\frac{1}{\gamma} + \frac{1}{\mu_2} \right) + \frac{\lambda \cdot \alpha (1+\beta)}{\mu_1}} = \frac{1}{1 + \lambda_n(T_{00} + T_{вн}) + (\lambda_0 + \lambda_k)T_{вк}} \quad (9)$$

Как следует из полученного нами выражения (9), недостаточно оценивать готовность систем только временем локализации и замены отказавшего элемента $T_{вн}$, как это обычно делается при анализе K_r различного рода аппаратуры многократного действия. Здесь необходимо учитывать время T_{00} необнаруженного отказа в неконтролируемой части рабочего оборудования, так как эта величина может оказывать существенное влияние на значение K_r . Кроме того, выражение (9) учитывает глубину контроля и влияния отказов схем АК на коэффициент готовности.

Формула (9) проста и удобна для расчетов. Из нее видно, что при отсутствии контроля (0) коэффициент готовности определяется выражением

$$K_r = \frac{1}{1 + \lambda \left(\frac{1}{\gamma} + \frac{1}{\mu_2} \right)} = \frac{1}{1 + \lambda(T_{00} + T_{вн})}, \quad (10)$$

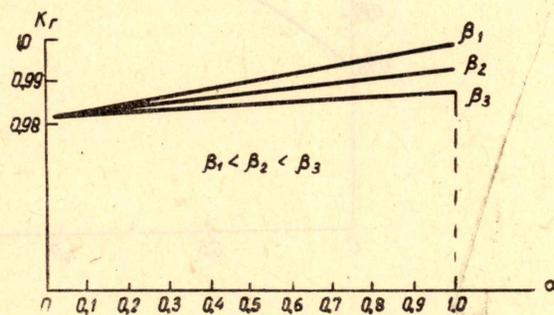


Рис. 2. Зависимость K_r от α при $\gamma = \mu_2 = 1 \frac{1}{\text{час}}$; $\mu_1 = 10 \frac{1}{\text{час}}$ для разных β

а при полностью контролируемом РО ($\alpha = 1$)

$$K_r = \frac{1}{1 + \frac{\lambda(1+\beta)}{\mu_1}} = \frac{1}{1 + (\lambda + \lambda_K) T_{BK}} = \frac{1}{1 + \lambda T_{BK} + \lambda T_{BK}} \quad (11)$$

Из рис. 2, 3, 4 можно сделать следующие выводы:

1. K_r растет при увеличении глубины контроля. Надежность схем контроля снижает скорость роста K_r (рис. 2).

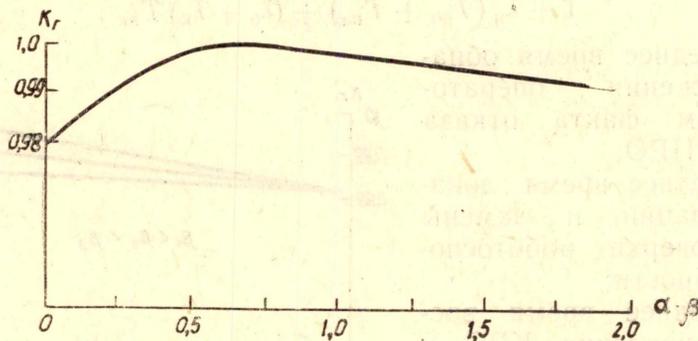


Рис. 3. Зависимость K_r от $\alpha \beta$ при $\gamma = \mu_2 = 1 \frac{1}{\text{час}}$;

$$\mu_1 = 10 \frac{1}{\text{час}}; \quad \lambda = 10^{-2} \frac{1}{\text{час}}.$$

2. С увеличением объема контрольного оборудования K_r сначала растет, а затем падает (рис. 2, 3), т. е. существует оптимум коэффициента готовности, соответствующий в каждом случае определенному значению объема контрольного оборудования (т. е. определенному варианту системы контроля).

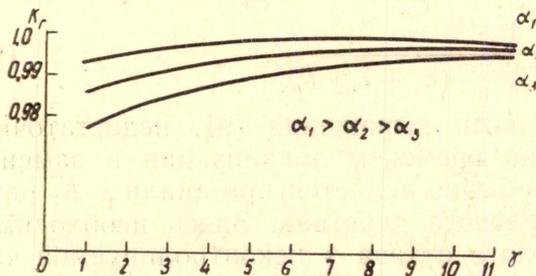


Рис. 4. Зависимость K_r от γ при $\mu_2 = \beta = 1 \frac{1}{\text{час}}$; $\mu_1 = 10 \frac{1}{\text{час}}$; $\lambda = 10^{-2} \frac{1}{\text{час}}$ для разных α

Значение K_r монотонно увеличивается с уменьшением времени T_{00} обнаружения отказа в неконтролируемой части РО (рис. 4).

Из приведенного анализа следует, что глубина контроля, надежность схем АК и время пребывания РО в состоянии необнаруженного отказа оказывают существенное влияние на готовность аппаратуры к работе и должны учитываться при сравнении различных вариантов построения системы

аппаратурного контроля. Так как среднее время T_{00} обнаружения оператором отказа в неконтролируемой части рабочего оборудования не зависит от принципа построения схем АК, а определяется условиями применения системы, и среднее время наработки на отказ РО на

этапе проектирования является заданным, для получения K_T , близкого к единице, необходимо стремиться максимально охватить РО аппаратным контролем с минимальными затратами на его реализацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. К. Григелионис. Предельные теоремы для сумм процессов восстановления. В сб.: Кибернетику на службу коммунизму. Т. 2, М., «Энергия», 1964.
2. О. В. Щербаков. Математические вопросы оценки надежности цифровых вычислительных машин. В сб.: Кибернетику на службу коммунизму. Т. 2, М., «Энергия», 1964.
3. Б. В. Гнеденко, И. Н. Коваленко. Введение в теорию массового обслуживания. М., «Наука», 1966.