

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

В. М. ТАНАСЕЙЧУК, 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:

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

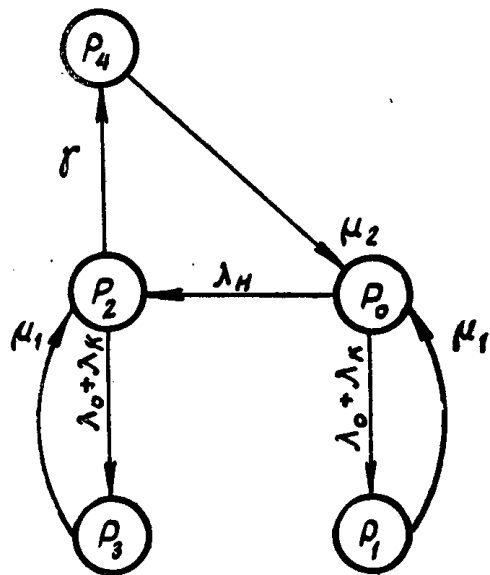


Рис. 1. Диаграмма состояний рабочего оборудования и блока контроля при установленном порядке обслуживания

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

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

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), состояния P_1, P_2, P_3 и P_4 являются 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

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

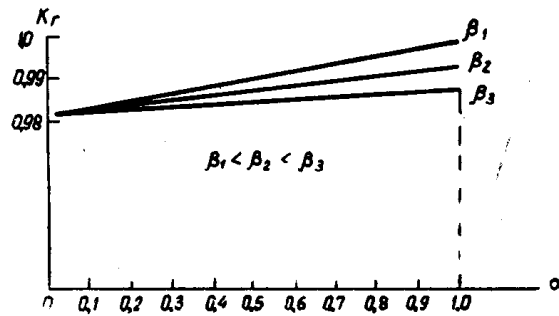


Рис. 2. Зависимость K_r от α при $\gamma = \mu_2 = 1 \frac{1}{\text{час}}$; $\mu_1 = 10 \frac{1}{\text{час}}$ для разных β

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).

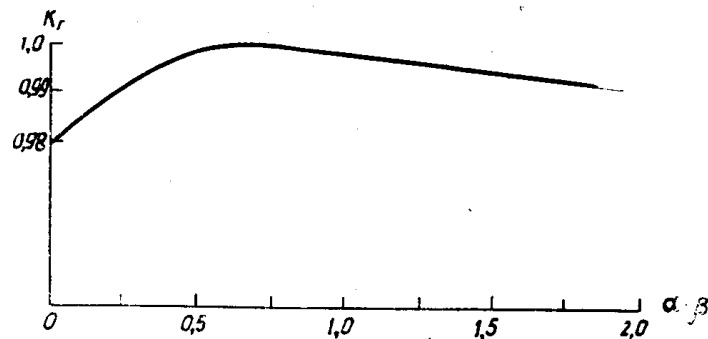


Рис. 3. Зависимость K_r от $\alpha \beta$ при $\gamma = \mu_2 = 1 \frac{1}{\text{час}}$:

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

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).

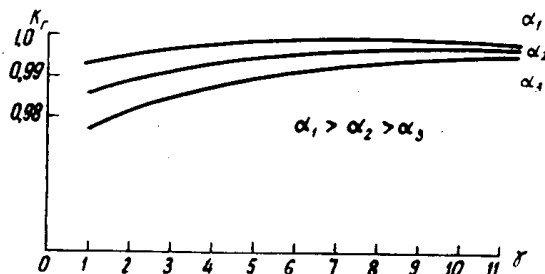


Рис. 4. Зависимость K_r от γ при $\mu_2 = \beta = 1 \frac{1}{\text{час}}$; $\mu_1 = 10 \frac{1}{\text{час}}$; $\lambda = 10^{-2} \frac{1}{\text{час}}$ для разных α

значению объема контрольного оборудования (т. е. определенному варианту системы контроля). 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_r , 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.
-