

## ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.396.6.019.3

Л. А. КОРИНЕВСКИЙ  
(Киев)

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОПЕРАТИВНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ \*

Исследуется влияние объема контролируемых параметров и надежности системы контроля на ее эффективность.

На вероятность успеха операции, выполняемой контролируемой системой, влияет то, насколько правильно регистрируется ее состояние и насколько быстро замещается отказавший элемент. Задачей настоящей работы является исследование влияния основных параметров системы контроля, определяющих ее качество: числа и вида контролируемых параметров и надежности аппаратуры контроля — на успех операции. Поскольку влияние контроля на успех операции опосредствовано через надежность объекта контроля, целесообразно оценивать эффективность системы контроля по ее влиянию на этот параметр.

Обозначим вероятность отказа одного блока  $P(\bar{A})$ , а контролируемой системы, состоящей из одного рабочего и  $(n-1)$  резервных блоков,  $P(\bar{n})$ . Тогда коэффициент

$$F_p = \frac{P(\bar{A})}{P(\bar{n})}, \quad (1)$$

показывающий, во сколько раз уменьшается вероятность отказа объекта контроля за счет резервирования и применения системы контроля, будет характеризовать эффективность контроля, реализуемую при данной системе восстановления. Такой критерий обладает низкой чувствительностью к параметрам, определяющим качество системы контроля, поскольку на безотказность контролируемой системы существенно влияет качество системы восстановления, обусловленное числом резервных блоков и временем восстановления отказа.

Чувствительность критерия эффективности к качеству системы контроля можно существенно повысить, если отвлечься от методов и средств восстановления отказов, обнаруженных системой контроля. Такой критерий эффективности является предельным случаем выражения (1):

$$F_{\text{оп}} = \lim_{\substack{n \rightarrow \infty \\ \Delta t_{\text{в}} \rightarrow 0}} \frac{P(\bar{A})}{P(\bar{n})}, \quad (2)$$

где  $\Delta t_{\text{в}}$  — время восстановления отказа.

\* Материал доложен на VII Всесоюзной конференции по автоматическому контролю и методам электрических измерений в сентябре 1965 г. в Новосибирске.

Полученный критерий эффективности показывает, во сколько раз можно уменьшить вероятность отказа контролируемой системы, если все обнаруженные системой контроля отказы немедленно устранять. Поскольку критерий характеризует потенциальные возможности системы контроля, то название «критерий потенциальной эффективности» вполне правомерно. Следует отметить, что потенциальная эффективность характеризует свойство, присущее любой системе контроля независимо от ее функционального назначения.

Ценность критерия потенциальной эффективности будет во многом зависеть от того, насколько удобно удастся выразить его через интересующие нас параметры: объем контролируемых параметров и надежность аппаратуры контроля.

В качестве примера рассмотрим вывод уравнения потенциальной эффективности для оперативной системы контроля. Оперативные системы контроля осуществляют непрерывный контроль за состоянием сложных систем в течение всего времени выполнения операции.

При определении эффективности системы оперативного контроля приходится рассматривать процесс взаимодействия контролирующей и контролируемой систем, где состояния обеих систем в процессе контроля непрерывно изменяются и результат контроля существенно зависит от последовательности этих изменений.

Все резервные блоки находятся в выключенном состоянии, при котором их ресурс не расходуется. Система контроля непрерывно следит за состоянием рабочего блока 1 и в случае регистрации отказа этого блока выключает его и включает блок 2, а сама переключается на контроль блока 2. При регистрации отказа блока 2 система контроля выключает этот блок и включает блок 3, а сама переключается на контроль блока 3 и т. д. Процесс продолжается упорядоченно до полного использования резерва. При получении любого (правильного или неправильного) сигнала о неисправности очередной рабочий блок исключается из системы и в дальнейшем процессе не участвует. Исключение рабочего блока обязательно сопровождается одновременным включением очередного резервного.

Ошибочный сигнал системы контроля может быть вызван как недостаточным объемом контролируемых параметров, так и отказами аппаратуры контроля. Этот ошибочный сигнал в зависимости от его характера может привести к тому, что не будет исключен отказавший блок или будет ошибочно исключен работоспособный.

Каждый контролируемый блок состоит из двух групп элементов, характеризующихся интенсивностями отказов  $\lambda_k$  и  $\lambda_n$ . Контролю подвергаются только элементы первой группы ( $\lambda_k$ ). Суммарная интенсивность отказов блока выражается  $\lambda$ .

Аппаратура контроля может отказывать с интенсивностью  $\lambda_a$ , причем некоторые отказы с интенсивностью  $\lambda_{по}$  приводят аппаратуру контроля в состояние, при котором она ошибочно индицирует отказ блока как его исправность. Другие отказы с интенсивностью  $\lambda_{лт}$  лишают аппаратуру контроля возможности правильно индицировать исправное состояние контролируемого блока. Все отказы как контролируемых блоков, так и аппаратуры контроля являются устойчивыми, и интенсивности отказов от времени не зависят.

При принятых условиях процесс является марковским и может быть описан системой дифференциальных уравнений (схема «гибели») [1, 2], позволяющих определить вероятности как благоприятных, так и неблагоприятных состояний. Для простоты рассматриваем случай однотипных блоков. Переход контролируемой системы в состояние отказа может

произоити в случае отказа элементов неконтролируемой группы или в случае, если отказу элемента контролируемой группы предшествует отказ аппаратуры контроля, приводящий к неправильной индикации состояния неисправности блока. Кроме того, отказ наступает, если резерв исчерпан полностью, что может иметь место как из-за отказа контролируемых групп всех блоков при исправной аппаратуре контроля, так и из-за отказа аппаратуры контроля, приводящего к неправильной индикации исправного состояния блока, при всех исправных резервных блоках.

С учетом сказанного выше система дифференциальных уравнений, описывающих рассматриваемый процесс, может быть представлена в виде:

$$\begin{aligned}(P_{i0})' &= -(\lambda_a + \lambda) P_{i0} + \lambda_k P_{(i-1)0}; \\ (P_{i1})' &= -(\lambda_{лт} + \lambda) P_{i1} + \lambda_{по} P_{i0},\end{aligned}\quad (3)$$

где  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ;  
 $P_{i0}$  и  $P_{i1}$  — вероятность нахождения объекта контроля в благоприятных состояниях  $X_{i0}$  и  $X_{i1}$  (пребывание в состоянии  $X_{i0}$  является невозможным событием).

Поскольку предполагается, что в момент начала контроля ( $t=0$ ) вся аппаратура объекта контроля исправна, начальные условия определяются следующим образом:

$$P_{10} = 1; P_{i0} = 0 \text{ для } i \neq 1; P_{i1} = 0 \text{ для } i = 1, 2, 3, \dots, n.$$

Решением первой группы  $(P_{i0})'$  является соотношение

$$P_{i0} = \frac{\lambda_k^{i-1} t^{i-1}}{(i-1)!} e^{-(\lambda + \lambda_a)t}, \quad (4)$$

а решением второй группы  $(P_{i1})'$

$$P_{i1} = \left[ \left( \frac{\lambda_k}{\lambda_{по}} \right)^{i-1} - e^{-\lambda_{по}t} \sum_{j=0}^{i-1} \frac{(\lambda_k t)^j}{j!} \left( \frac{\lambda_k}{\lambda_{по}} \right)^{i-j-1} \right] e^{-(\lambda_{лт} + \lambda)t}. \quad (5)$$

Вероятность того, что объект контроля находится в исправном состоянии, определяется уравнением

$$P(n) = \sum_{i=1}^n P_{i0} + \sum_{i=1}^n P_{i1}. \quad (6)$$

Развернутое выражение для (6) имеет вид

$$\begin{aligned}P_n &= e^{-(\lambda + \lambda_a)t} \sum_{i=1}^n \frac{(\lambda_k t)^{i-1}}{(i-1)!} + \frac{\lambda_k^n}{\lambda_{по}^{n-1}(\lambda_k - \lambda_{по})} \times \\ &\times \left[ e^{-(\lambda_{лт} + \lambda)t} - e^{-(\lambda_a + \lambda)t} \sum_{j=0}^{n-2} \frac{(\lambda_{по} t)^j}{j!} \right] - \\ &- \frac{\lambda_{по}}{\lambda_k - \lambda_{по}} \left[ e^{-(\lambda_{лт} + \lambda)t} - e^{-(\lambda_a + \lambda)t} \sum_{j=0}^{n-2} \frac{(\lambda_k t)^j}{j!} \right].\end{aligned}\quad (7)$$

Подставляя в (2)  $P(\bar{n}) = 1 - P(n)$  из (7), значения вероятностей безотказной работы контролируемого блока  $P(A)$  и составляющих безотказной работы аппаратуры контроля, обеспечивающих правильную индикацию состояния исправности  $P_{ан}$  и отказа  $P_{зо}$  контролируемого блока, и вводя обозначения

$$\Omega_k = \frac{\lambda_k}{\lambda} \text{ и } \Omega_{н} = \frac{\lambda_{н}}{\lambda} \quad (8)$$

для объема контролируемых и неконтролируемых параметров, получим уравнение потенциальной эффективности для рассматриваемой системы оперативного контроля

$$F_{оп} = \frac{\Omega_k - \frac{\ln P_{зо}}{\ln P(A)}}{\frac{1 - P_{ан} P_{зо} P(A)^{\Omega_{н}}}{P(\bar{A})} \Omega_k - \frac{\ln P_{зо} [1 - P_{ан} P(A)]}{\ln P(A) P(\bar{A})}} \quad (9)$$

Это уравнение однозначно определяет граничные значения основных параметров системы контроля как функции потенциальной эффективно-

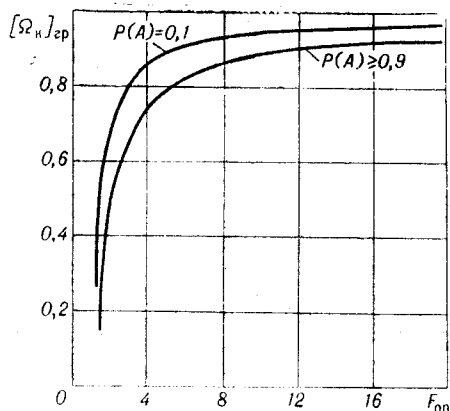


Рис. 1.

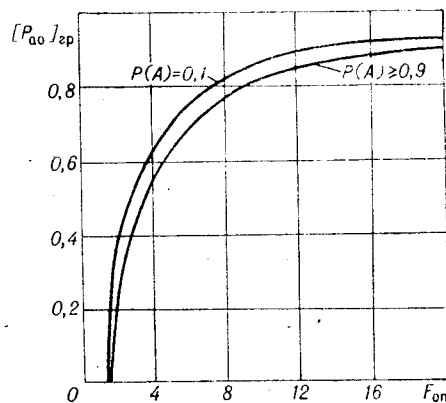


Рис. 2.

сти. Граничные значения параметров можно получить из (9), если полагать, что все параметры системы контроля, кроме исследуемого, идеальны.

При реализации системы контроля, значения параметров которой ниже граничных, достичь заданной потенциальной эффективности не удастся ни при каких условиях.

Выражение

$$[\Omega_k]_{гр} = 1 - \frac{\ln \left[ 1 - \frac{P(\bar{A})}{F_{оп}} \right]}{\ln P(A)}, \quad (10)$$

определяющее зависимость  $[\Omega_k]_{гр}$  от потенциальной эффективности для разных значений надежности контролируемого блока, иллюстрируется графиком рис. 1.

При контроле сравнительно надежных блоков ( $P(A) \geq 0,8$ )  $[\Omega_k]_{гр}$  с достаточной для практики точностью аппроксимируется выражением

$$[\Omega_k]_{гр} \approx 1 - \frac{1}{F_{оп}}. \quad (11)$$

Граничное значение составляющей надежности аппаратуры контроля, определяющей вероятность правильной регистрации состояния неисправности в контролируемом блоке, характеризуется трансцендентным уравнением

$$F_{оп} \left\{ \frac{1 - [P_{ao}]_{гр}}{1 - P(A)} - \frac{\ln[P_{ao}]_{гр}}{\ln P(A)} \right\} - \left\{ 1 - \frac{\ln[P_{ao}]_{гр}}{\ln P(A)} \right\} = 0. \quad (12)$$

Численное решение (12) иллюстрируется графиком рис. 2.

При эффективном контроле сравнительно надежных блоков ( $P(A) \geq 0,8$ )  $[P_{ao}]_{гр}$  можно аппроксимировать выражением

$$[P_{ao}]_{гр} \approx 1 - \frac{2}{F_{оп}}. \quad (13)$$

Граничное значение второй составляющей надежности аппаратуры контроля  $P_{ан}$  определяется соотношением

$$[P_{ан}]_{гр} = 1 - \frac{P(\bar{A})}{F_{оп}}. \quad (14)$$

Знание допустимых значений различных составляющих отказов позволяет реализовать заданную потенциальную эффективность с помощью аппаратуры контроля с минимальной надежностью.

Для ориентировочной оценки системы контроля при меньшем числе исходных данных можно пользоваться уравнением

$$F_{оп} = \frac{P(\bar{A})}{1 - P_a P(A)^{оп}}, \quad (15)$$

полученным из (9) в предположении, что любые отказы аппаратуры приводят к неправильной регистрации исправного состояния контролируемого объекта. Расчетное значение эффективности, полученное из (15), во всех случаях будет не ниже реализуемого. Полученные зависимости справедливы для оперативной системы контроля определенного вида. Однако несложно получить аналогичные уравнения и для систем контроля других классов.

### Выводы

Для определения влияния надежности системы контроля и числа контролируемых параметров на надежность контролируемой системы введен критерий «потенциальная эффективность контроля». Этот критерий обладает высокой чувствительностью к интересующим нас параметрам систем контроля и удовлетворяет всем основным требованиям, предъявляемым к коэффициентам эффективности.

Потенциальную эффективность удалось сравнительно несложно выразить через число и вид контролируемых параметров и надежность системы контроля.

Полученные зависимости позволяют определить пути синтеза систем контроля с заданной эффективностью.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А. Д. Соловьев. О резервировании без восстановления.— Кибернетику на службу коммунизму, т. 2. М.—Л., изд-во «Энергия», 1964.
2. Б. В. Васильев и др. Надежность и эффективность радиоэлектронных устройств. М., изд-во «Советское радио», 1964.

*Поступила в редакцию  
16 сентября 1965 г.*