

МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТА

С. Г. ЖИЛИКОВ, А. С. КАСАТКИН, Э. И. КОМЕНДА

(Москва)

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ, АППАРАТНЫХ И ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ НА ВЕРНОСТЬ ИНФОРМАЦИИ И ВЕРОЯТНОСТЬ ВЫДАЧИ РЕШЕНИЯ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ (АСУК)

Автоматические системы управления качеством (АСУК) оснащаются мощным арсеналом средств контроля, состоящим из метрологических (МС), аппаратных (АК) и программных (ПК) средств контроля.

Метрологические средства используются для контроля напряжений, токов, частот, временных интервалов в различных точках АСУК.

Аппаратные средства непрерывно проверяют правильность передачи и преобразования кодов в различных устройствах АСУК.

Программные средства периодически включаются для проверки исправности соответствующих узлов АСУК.

На основании информации, получаемой от МС, АК и ПК, принимается решение о исправности и неисправности АСУК и в случае неисправности о направлении поиска причины, приведшей ее к неработоспособности.

Основными показателями, характеризующими эффективность средств контроля, являются верность выходной информации и вероятность выдачи решения. Известные в настоящее время методы расчета этих показателей, например, [1—3], не учитывают комплексного влияния всех средств контроля на верность информации и вероятность выдачи решения.

Ниже рассматривается метод комплексной оценки эффективности всех средств контроля. Под верностью информации понимается вероятность отсутствия обнаруженных ошибок в выходной информации в момент времени t . Она определяется по формуле

$$P_{\text{н}}(t) = P_{\text{ИК}}(t) P_{\text{ИК}}(t), \quad (1)$$

где $P_{\text{ИК}}(t)$ — верность информации по контролируемой непрерывно части АСУК; $P_{\text{ИК}}(t)$ — верность информации по контролируемой периодически части АСУК.

Определение $P_{\text{ИК}}(t)$ целесообразно производить с помощью теории непрерывных марковских процессов. При контроле с восстановлением (устраняется отказ), отсутствии резервирования АК и продолжении работы АСУК при нахождении АК в обслуживании верность информа-

ции по контролируемой непрерывно части АСУК равна [1]

$$P_{\text{ИК}}(t) \approx 1 - \int_{t-\tau_3}^t \alpha_{12}(t) dt, \quad (2)$$

где $\alpha_{12}(t)$ — условная интенсивность появления необнаруженной ошибки в выходной информации контролируемой части АСУК; τ_3 — время выполнения задания.

В свою очередь,

$$d_{12}(t) = \lim_{\tau \rightarrow 0} \frac{P_{12}(t, t+\tau)}{\tau}. \quad (3)$$

Здесь $P_{12}(t, t+\tau)$ — условная вероятность появления необнаруженной ошибки, т. е. вероятность того, что в интервале времени $(t, t+\tau)$ в выходной информации контролируемой части АСУК появится ошибка и она не будет обнаружена; τ — интервал времени между соседними проверками АСУК с помощью АК;

$$P_{12}(t, t+\tau) = P_{\text{н}}(t+\tau) P_{012}(t, t+\tau), \quad (4)$$

где $P_{012}(t, t+\tau)$ — условная вероятность возникновения ошибки в интервале времени $(t, t+\tau)$; $P_{\text{н}}(t+\tau)$ — вероятность пропуска ошибки средствами АК.

При простейшем потоке отказов в средствах аппаратного контроля и его самопроверки перед работой АСУК получаем

$$P_{\text{н}}(t+\tau) = 1 - K_{\text{н}}^{(j)}(1 - \lambda_{\text{А}}^{(j)}t), \quad (5)$$

где $\lambda_{\text{А}}^{(j)}$ — интенсивность отказов АК, приводящих к пропуску ошибок j -й кратности, т. е. ошибок одновременно в j разрядах контролируемого кода; $K_{\text{н}}^{(j)}$ — вероятность обнаружения ошибок j -й кратности АК.

Условную вероятность возникновения ошибки определим по формуле полной вероятности с учетом влияния метрологических средств. Влияние метрологических средств учитывается через повышение интенсивности ошибок в той части АСУК, контролируемые параметры которой вышли за пределы поля допуска:

$$P_{012}(t, t+\tau) = P^{(M)}(t) P_{012}^{(M)}(t, t+\tau) + P^{(\bar{M})}(t) P_{012}^{(\bar{M})}(t, t+\tau), \quad (6)$$

где $P^{(M)}(t)$ — вероятность нахождения параметров в пределах допуска; $P^{(\bar{M})}(t)$ — вероятность нахождения параметров за пределами поля допуска; $P_{012}^{(M)}(t, t+\tau)$ — вероятность возникновения ошибки при условии, что параметры в допуске; $P_{012}^{(\bar{M})}(t, t+\tau)$ — вероятность возникновения ошибки при условии, что параметры не в допуске.

Если принять, что в объекте возникают только однократные ошибки, а метрологические средства осуществляют контроль с отбраковкой, то

$$P_{012}^{(M)}(t, t+\tau) \approx \sum_{i=1}^{M_{\text{К}}} (\lambda_i + \lambda_{C_i}) \tau;$$

$$P_{012}^{(\bar{M})}(t, t+\tau) \approx \sum_{i=1}^{M_{\text{К}}} (\lambda_{B_i} + \lambda_{B_{C_i}}) \tau;$$

$$P^{(M)}(t) \approx \exp(-\lambda_{\text{КР}} t_{\text{КР}} - \lambda_{\text{КХ}} t_{\text{КХ}}) \prod_{i=1}^n \frac{P_{0i} - P_{\text{л}i}}{P_{0i} - P_{\text{л}i} + P_{\text{н}i}};$$

$$P^{(\bar{M})}(t) = 1 - P^{(M)}(t).$$

Здесь λ_i и λ_{C_i} — соответственно интенсивности отказов и сбоев по i -му блоку АСУК, контролируемому АК; λ_{B_i} и λ_{BC_i} соответственно интенсивности отказов и сбоев по i -му блоку АСУК, контролируемому АК, при условии, что параметры, контролируемые МС, не в допуске; M_K — число контролируемых АК блоков АСУК; $\lambda_{\bar{K}P}$ и $\lambda_{\bar{K}X}$ — интенсивности отказов части АСУК, неохваченной МС, соответственно в рабочем и нерабочем состоянии; $t_{\bar{K}P}$ и $t_{\bar{K}X}$ — соответственно рабочее и нерабочее время неконтролируемой МС части АСУК к моменту контроля; P_{o_i} — априорная вероятность исправности по i -му параметру, контролируемому МС; $P_{л_i}$ — вероятность ложных отказов по i -му параметру, контролируемому МС; $P_{н_i}$ — вероятность необнаруженных отказов по i -му параметру, контролируемому МС; n — число параметров, контролируемых МС, в части АСУК, охваченной АК.

Подставляя все данные в формулу (2) и проведя необходимые преобразования, получаем

$$P_{ИК}(t) \approx 1 - \left[P^{(M)}(t) \sum_{i=1}^{M_K} (\lambda_i + \lambda_{C_i}) \tau_3 + P^{(\bar{M})}(t) \sum_{i=1}^{M_K} \times \right. \\ \left. \times (\lambda_{B_i} + \lambda_{BC_i}) \tau_3 \right] \left[1 - K_{\Pi}^{(j)} \left(1 - \lambda_A^{(j)} \frac{2t - \tau_3}{2} \right) \right]. \quad (7)$$

Во время контроля с отбраковкой при отрицательном исходе контроля АСУК не допускается к работе, а верность информации по контролируемой АК части АСУК определяется по формуле Байеса. После соответствующих преобразований получим

$$P_{ИК}(t) \approx \frac{1 - \sum_{i=1}^{M_K} (\lambda_i + \lambda_{C_i}) \tau_3 - \sum_{i=1}^{M_K} \lambda_{A_i} t + \sum_{i=1}^{M_K} (\lambda_i + \lambda_{C_i}) \tau_3 \lambda_{A_i} t}{1 - \sum_{i=1}^{M_K} (\lambda_i + \lambda_{C_i}) \tau_3 - \sum_{i=1}^{M_K} \lambda_{A_i} t + \sum_{i=1}^{M_K} (\lambda_i + \lambda_{C_i}) \tau_3 \lambda_{A_i} t - \lambda_A^{(j)} t + \frac{1}{P^{(M)}(t)} \lambda_A^{(j)} t} \rightarrow \quad (8)$$

где λ_{A_i} — интенсивность отказов средств АК в каждом i -м блоке АСУК.

Формула (8) получена в предположении, что при выходе параметра, контролируемого МС, за пределы поля допуска вероятность возникновения ошибки в части АСУК, контролируемой этим параметром, равна 1, т. е.

$$\sum_{i=1}^{M_K} (\lambda_{B_i} + \lambda_{BC_i}) = \frac{1}{\tau_3}.$$

Верность информации по контролируемой периодически части АСУК равна

$$P_{И\bar{K}}(t) \approx 1 - \left\{ \exp(-\lambda_{\bar{K}P} t_{\bar{K}P} - \lambda_{\bar{K}X} t_{\bar{K}X}) \times \right. \\ \left. \times \prod_{i=1}^m \frac{P_{o_i} - P_{л_i}}{P_{o_i} - P_{л_i} + P_{н_i}} \sum_{j=1}^{M_{\bar{K}}} (\lambda_j + \lambda_{C_j}) T_{п_j} + \right. \\ \left. + \left[1 - \exp(-\lambda_{\bar{K}P} t_{\bar{K}} - \lambda_{\bar{K}X} t_{\bar{K}X}) \prod_{i=1}^m \frac{P_{o_i} - P_{л_i}}{P_{o_i} - P_{л_i} + P_{н_i}} \right] \times \right. \\ \left. \sum_{j=1}^{M_{\bar{K}}} (\lambda_{B_j} + \lambda_{BC_j}) T_{п_j} \right\}, \quad (9)$$

где λ_j и λ_{C_j} — соответственно интенсивность отказов и сбоев части АСУК, не охваченной АК; λ_{B_j} и λ_{BC_j} — соответственно интенсивность отказов и сбоев не охваченной АК части АСУК при условии, что параметры, контролируемые МС, не в допуске; $T_{пj}$ — периодичность программного контроля j -го блока; $M_{\bar{k}}$ — число блоков, охваченных программным контролем; m — число контролируемых МС параметров в части АСУК, контролируемой периодически.

На рис. 1 построены графики, показывающие зависимость верности информации от полноты охвата контролем АСУК: кривая 1 — 100%-ный охват АК; 2 — 95%-ный охват АК; 3 — 50%-ный охват АК.

Полнота охвата МС АСУК определяется отношением $\frac{n+m}{N}$ 100%, где N — общее число параметров, обуславливающих работоспособность АСУК.

Графики построены по формулам (1), (7) и (9) при следующих данных:

$$\begin{aligned}
 P_{oi} &= 0,997; & P_{ni} &= 0,00035; & P_{pi} &= 0,0015; \\
 \lambda_i &= 2 \cdot 10^{-4} \text{ 1/ч}; & \lambda_{C_i} &= 2 \cdot 10^{-3} \text{ 1/ч}; & \lambda_j &= 2 \cdot 10^{-5} \text{ 1/ч}; \\
 \lambda_{C_j} &= 20 \cdot 10^{-5} \text{ 1/ч}; & M_k &= 10; & M_{\bar{k}} &= 5; & n &= 10; \\
 m &= 2; & \lambda_A^{(j)} &= 1 \cdot 10^{-5} \text{ 1/ч}; & T_{пj} &= 10 \text{ ч}; & t &= 20 \text{ ч}; \\
 \lambda_{\bar{K}P} &= 4,4 \cdot 10^{-4} \text{ 1/ч}; & t_{\bar{K}P} &= 20 \text{ ч}; & \lambda_{\bar{K}X} &= 0; & t_{\bar{K}X} &= 0; \\
 \sum_{i=1}^{M_k} (\lambda_{B_i} + \lambda_{BC_i}) &= \frac{1}{\tau_3}.
 \end{aligned}$$

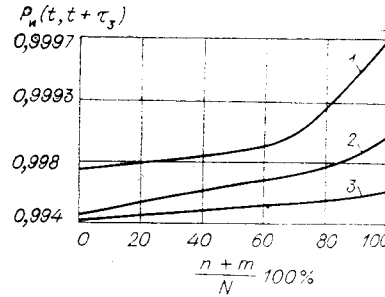


Рис. 1.

При полном охвате аппаратным контролем АСУК на верность информации оказывает значительное влияние полнота охвата АСУК метрологическими средствами (кривая 1). При 100%-ном контроле параметров значение верности информации почти на порядок выше по сравнению со случаем, когда не контролируется ни один параметр.

Если аппаратным контролем охвачены не все устройства, то влияние МС на верность информации несколько меньше (кривые 2 и 3). Это объясняется тем, что в этом случае значительное влияние оказывает неконтролируемая АК часть АСУК. Как видно из рисунка, с уменьшением неконтролируемой АК части верность информации увеличивается.

При расчетах могут возникнуть затруднения в определении величин λ_{C_i} ; λ_{BC_i} ; $\lambda_A^{(j)}$; $\lambda_{\bar{K}X}$. Тогда для приближенных оценок можно принять $\lambda_{C_i} = 10\lambda_i$, $\lambda_{BC_i} = 10\lambda_{B_i}$, $\lambda_A^{(j)} = \lambda_{A_i}$, $\lambda_{\bar{K}X} = 0,01\lambda_{\bar{K}P}$. Кроме того, можно использовать соотношение

$$\sum_{i=1}^{M_k} (\lambda_{B_i} + \lambda_{BC_i}) = \frac{1}{\tau}.$$

Теперь рассмотрим влияние средств контроля на вероятность выдачи решения. Решение считается выданным, если средства контроля указывают на отсутствие ошибок в информации в процессе решения задачи. В случае обнаружения ошибки подается сигнал «Ошибка», решение задачи прекращается и начинается процедура анализа ошибочной ситуации.

В общем виде вероятность выдачи решения определяется следующей формулой:

$$P_{\text{ВР}}(t) = P_1^{(M)}(t) P_1^{(A)}(t) P_{\text{ВР}}^{(M)}(t + \tau_3) P_{\text{ВР}}^{(A)}(t + \tau_3), \quad (10)$$

где $P_1^{(M)}(t)$ — вероятность нахождения МС в работе, а не в обслуживании; $P_1^{(A)}(t)$ — вероятность нахождения АК в работе, а не в обслуживании; $P_{\text{ВР}}^{(M)}(t + \tau_3)$ — вероятность указания МС на исправность АСУК, когда МС находятся в работе; $P_{\text{ВР}}^{(A)}(t + \tau_3)$ — вероятность указания АК на отсутствие ошибок в АСУК, когда АК находится в работе.

Для упрощенных расчетов можно принять

$$P_1^{(M)}(t) \simeq K_{\Gamma}^{(M)} \text{ и } P_1^{(A)}(t) \simeq K_{\Gamma}^{(A)},$$

где $K_{\Gamma}^{(M)}$ — коэффициент готовности МС, $K_{\Gamma}^{(A)}$ — коэффициент готовности АК.

В свою очередь,

$$P_{\text{ВР}}^{(M)}(t + \tau_3) = \prod_{i=1}^n (P_{o_i} - P_{л_i} + P_{н_i}). \quad (11)$$

Вероятность указания АК на отсутствие ошибок в АСУК определяется по формуле

$$P_{\text{ВР}}^{(A)}(t + \tau_3) \prod_{\gamma=1}^{\tau_3/\tau} P_{\text{ВР}}^{(A)}(t_{\gamma} + \tau). \quad (12)$$

Здесь

$$P_{\text{ВР}}^{(A)}(t_{\gamma} + \tau) \simeq P_{\text{Ои}}(\tau) - P_{\text{Ло}}(t_{\gamma} + \tau);$$

$$t_{\gamma} = t + \gamma\tau \left(\gamma = 0, 1, 2, 3, \dots, \frac{\tau_3 - \tau}{\tau} \right),$$

$P_{\text{Ои}}(\tau)$ — априорная вероятность отсутствия ошибок за время τ ; $P_{\text{Ло}}(t_{\gamma} + \tau)$ — вероятность возникновения ложного отказа за время $(t_{\gamma} + \tau)$, т. е. вероятность того, что отказа не будет, а средства контроля ложно укажут на его наличие.

Если принять, что возникают только однократные ошибки, то

$$P_{\text{Ои}}(\tau) \simeq 1 - \left[\sum_{i=1}^{M_{\text{К}}} (\lambda_i + \lambda_{C_i}) \right] \tau;$$

$$P_{\text{Ло}}(t_{\gamma} + \tau) \simeq \left[1 - \sum_{i=1}^{M_{\text{К}}} (\lambda_i + \lambda_{C_i}) \tau \right] \sum_{i=1}^{M_{\text{К}}} \lambda_{A_i}(t_{\gamma} + \tau).$$

Анализ формулы (10) показывает, что на вероятность выдачи решения большое влияние оказывает погрешность измерения МС.

На рис. 2 приведена зависимость вероятности выдачи решения от отношения допуска на контролируемый МС параметр к погрешности измерения этого параметра.

График построен при тех же исходных данных, что и для рис. 1, и принято, что $K_{\Gamma}^{(M)} = 0,9999$, а $K_{\Gamma}^{(A)} = 0,99975$.

Как видно, при соотношении более 3:1 влияние точности измерительных средств на вероятность выдачи решения незначительно. Однако при соотношении, меньшем, чем 3:1, вероятность выдачи решения резко уменьшается. Это необходимо учитывать при выборе погрешности измерения МС.

Одним из средств, позволяющих повысить вероятность выдачи решения, является применение АК, использующего корректирующие коды и другие методы, позволяющие исправлять ошибки. Применение корректирующих кодов существенно сокращает время исправления случайной ошибки по сравнению с обычными методами, требующими анализа ошибки после ее обнаружения АК. Считаем, что обнаружение и исправление ошибки аппаратными средствами контроля, использующими корректирующие коды, происходит очень быстро и не влияет на ход основного вычислительного процесса. Тогда

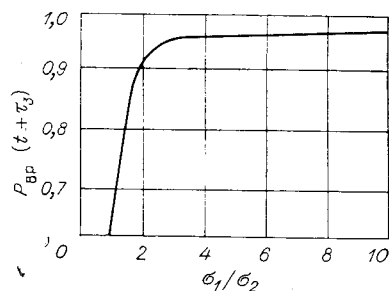


Рис. 2.

$$P_{ои}(\tau) \approx 1 - \sum_{i=1}^{M_k} [\lambda_i + \lambda_{c_i}(1 - K_k)] \tau,$$

где K_k — вероятность исправления однократных ошибок данным методом контроля.

Применение корректирующих кодов связано с введением дополнительного контрольного оборудования, вследствие чего возрастает интенсивность отказов средств контроля.

Следовательно,

$$P_{ло}(t_\gamma + \tau) \approx \left\{ 1 - \sum_{i=1}^{M_k} [\lambda_i + \lambda_{c_i}(1 - K_k)] \tau \right\} \sum_{i=1}^{M_k} (\lambda_{A_i} + \lambda_{K_k i})(t_\gamma + \tau),$$

где $\lambda_{K_k i}$ — интенсивность отказов схем коррекции i -го блока.

На рис. 3 приведены графики, показывающие зависимость вероятности выдачи решения от полноты охвата АСУК контролем с исправлением ошибок и от периодичности самоконтроля средств аппаратного контроля: кривая 1 — контроль с обнаружением и исправлением 100% ошибок; 2 — контроль с обнаружением и исправлением 50% ошибок; 3 — контроль только с обнаружением ошибок.

Графики рассчитаны по формуле (10) при $\lambda_{K_k i} = 1 \cdot 10^{-5}$ 1/ч и $K_k = 1$.

Из рисунка видно, что применение корректирующих кодов повышает вероятность выдачи решения. Значительное повышение получается при 100%-ном исправлении ошибок и проведении самоконтроля АК после каждого цикла решения задачи. Увеличение периодичности самоконтроля приводит к уменьшению вероятности выдачи решения.

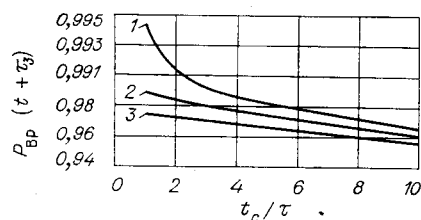


Рис. 3.

Таким образом, расчетные формулы для комплексной оценки влияния метрологических, аппаратных и программных схем контроля можно выполнить на основе использования неоднородных по времени марковских процессов для описания искажений в информации и учета изменения интенсивности сбоя из-за неустойчивости метрологических средств.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. С. Касаткин, А. В. Хрулева, С. Г. Жиликов. Метод расчета влияния автоматизированной системы контроля (АСК) на вероятность работоспособности и верность информации цифровой автоматизированной системы управления качеством

- (АСУК) изделий электронной техники.— «Электронная техника». Сер. 8, 1972, вып. 5.
2. И. В. Кузьмин. Оценка эффективности и оптимизации автоматических систем контроля и управления. М., «Советское радио», 1971.
 3. А. С. Касаткин, С. Г. Жиликов. Применение математических моделей для выбора характеристик автоматизированных систем управления качеством изделий электронной техники в эксплуатации.— «Электронная техника», Сер. 8, 1974, вып. 2 (20).

Поступила в редакцию 26 сентября 1974 г.;
окончательный вариант — 22 января 1975 г.

УДК 621.3.087

А. Ю. ГУСЕВ, В. Н. ДЬЯКОНОВ, А. С. ЗЕНЗИН,
И. В. МЕРКУЛОВ, В. Н. ОКУНИШНИКОВ, Г. М. СОБСТЕЛЬ,
А. А. ФРАНЧУК, В. П. ШЕВЧЕНКО

(Новосибирск)

ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМЫЕ МОДУЛИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ АНАЛИЗАТОРА ЧАСТОТНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ГЕНЕРАТОРОВ

Настоящая работа посвящена рассмотрению принципов построения программно-управляемых модулей, используемых для создания системы [1, 2]; приводятся их технические характеристики и функциональные схемы.

Основные особенности модулей состоят в следующем:

- 1) модули разрабатывались по принципам стандарта САМАС [3];
- 2) в магистрали данных кресты шины чтения R и записи W объединены;
- 3) модули построены из унифицированных узлов, выполненных в виде отдельных печатных плат;
- 4) цифровая часть выполнена на базе интегральных схем серии 155;
- 5) конструктивно модули выполнены в виде блоков стойки «Вишня».

Команды управления модулями приведены в таблице.

Модуль таймера (рис. 1) предназначен для генерации образцовых интервалов времени (ОИВ) в двух режимах:

- а) генерация ОИВ, длительность которого выбирается оператором;

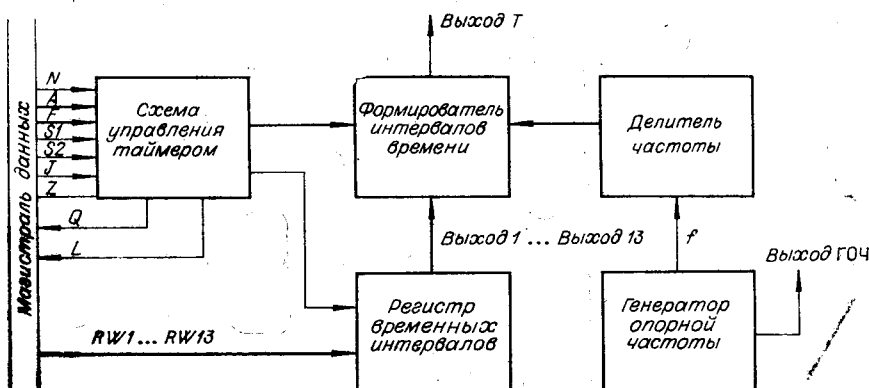


Рис. 1.