

ВЛИЯНИЕ ПОСТЕПЕННЫХ ОТКАЗОВ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННУЮ НАДЕЖНОСТЬ МАШИНЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО КОНТРОЛЯ

М. Г. Грудин

Киев

Машины централизованного контроля по своей структуре являются многоканальными и многофункциональными системами, состоящими из большого количества элементов и деталей.

В настоящее время имеется возможность определить на стадии проектирования расчетные параметры надежности по отношению к внезапным, «катастрофическим» отказам. Однако, принимая во внимание специфику функционирования машин централизованного контроля, необходимо учитывать влияние на надежность и постепенных («параметрических», «деградационных») отказов.

Основными функциями подавляющего большинства машин централизованного контроля являются: выборочное измерение в цифровой или аналоговой форме отклонений параметров от заданных значений, цифровая регистрация (опросная через заданные промежутки времени или по

вызову оператора) результатов измерений, визуальная индикация результатов измерений с сигнализацией аварийных отклонений от нормального хода технологического процесса, а также выдача в цифровой форме обработанных данных во внешние устройства.

Нарушение работоспособности машины является следствием появления двух видов отказов: внезапных отказов элементов или деталей, а также постепенных отказов, т. е. постепенных изменений параметров аппаратуры.

Допуская, что внезапные и постепенные отказы являются событиями независимыми, заметим, что влияние внезапных и постепенных отказов на надежность можно учитывать отдельно, т. е.

$$P(t) = P_v(t) \cdot P_n(t), \quad (1)$$

где $P_v(t)$ — вероятность отсутствия в машине внезапных отказов за время t ;

$P_n(t)$ — вероятность отсутствия в машине постепенных отказов за время t .

В статье рассматривается влияние на надежность только постепенных отказов.

Учитывая, что машины централизованного контроля являются по существу измерительными устройствами, в которых происходит измерение, а затем и сравнение величины измеренного параметра технологического процесса в данной точке и в данный момент времени с заранее установленной величиной (уставкой), необходимо рассмотреть влияние ухода параметров аппаратуры в процессе эксплуатации на точность измерений, определяющую в конечном счете работоспособность машины.

Начальное значение параметра элемента и изменение его в процессе эксплуатации под влиянием большого количества внутренних и внешних факторов определяет появление постепенного отказа, т. е. выхода измерительной аппаратуры за пределы установленного техническими условиями класса точности.

К внутренним факторам, влияющим на надежность элементов, следует отнести прежде всего старение и износ. Старение элементов является постепенным и непрерывным, не зависящим от режима работы процессом, во время которого необратимо изменяются физико-химические свойства элемента. Эти изменения происходят в элементах при их работе под нагрузкой и хранении. Износ определяется только режимом работы и приводит к постепенным изменениям параметров элементов под действием электрических, тепловых, механических и других нагрузок.

К внешним факторам следует отнести влияние окружающей среды (температура, влажность, радиация, примеси в воздухе и т. д.), а также условия эксплуатации (режимы работы, зависящие от величины нагрузки, различные механические воздействия в виде вибраций, ускорений, ударов и т. д.). Перечисленные факторы действуют в реальных условиях в сложных сочетаниях, и результирующее воздействие на надежность машины определяется их совокупностью.

В работе [1] рассмотрены два метода учета влияния различных внешних и внутренних факторов на надежность элемента. Первый из них состоит в том, что значение надежности можно представить как функцию величин, характеризующих внешние и внутренние факторы и воздействующих на элемент:

$$P = f(\theta, \varphi; p_n; a; W; U; \dots), \quad (2)$$

где θ — температура окружающей среды;

φ — влажность, %;

p_n — давление воздуха;
 a — ускорение;
 W — рассеиваемая мощность;
 U, I — напряжение и ток, воздействующие на элемент.

Пусть при заданных номинальных значениях перечисленных выше факторов значение надежности

$$P_0 = f(\theta_0; \varphi_0; p_{n0}; a_0; W_0; U_0; I_0 \dots).$$

При изменении каждого из факторов на некоторую величину

$$\Delta\alpha (\Delta\alpha_1 = \Delta\theta; \Delta\alpha_2 = \Delta\varphi; \Delta\alpha_3 = \Delta p_n \dots)$$

можно в первом приближении считать, что

$$P = P_0 + \Delta P = P_0 + \frac{\partial P}{\partial \theta} \cdot \Delta\theta + \frac{\partial P}{\partial \varphi} \cdot \Delta\varphi + \frac{\partial P}{\partial p_n} \cdot \Delta p_n + \\ + \frac{\partial P}{\partial a} \cdot \Delta a + \frac{\partial P}{\partial W} \cdot \Delta W + \frac{\partial P}{\partial U} \cdot \Delta U + \frac{\partial P}{\partial I} \cdot \Delta I + \dots = P_0 + \sum_{i=1}^n \Delta P_i. \quad (3)$$

Для определения надежности при изменении величины воздействующих факторов необходимо расчетным или экспериментальным путем найти значения $\frac{\partial P}{\partial \theta}$; $\frac{\partial P}{\partial \varphi}$; $\frac{\partial P}{\partial p_n}$; $\frac{\partial P}{\partial a}$; $\frac{\partial P}{\partial W}$; $\frac{\partial P}{\partial U}$; $\frac{\partial P}{\partial I} \dots$, что представляет собой в ряде случаев сложную и трудоемкую задачу.

Второй метод позволяет понять физическую сторону влияния каждого из воздействующих факторов на изменение надежности элемента.

Для этой цели необходимо составить физико-математическое описание процессов работы элемента и на основе анализа этого описания определить зависимость значения надежности элемента от определяющих его действие физических величин. По этому методу значение надежности элемента определяется как $P = f(x, y, z \dots)$, где $x, y, z \dots$ — физические величины, например, для элементов релейного (импульсного) действия — параметры, определяющие значения вероятности перехода в рабочее состояние. В свою очередь,

$$\begin{aligned} x &= f_1(\theta, \varphi, p_n, a, W, U, I \dots), \\ y &= f_2(\theta, \varphi, p_n, a, W, U, I \dots), \\ z &= f_3(\theta, \varphi, p_n, a, W, U, I \dots). \end{aligned} \quad (4)$$

Изучение физических и физико-химических процессов, определяющих отказы элементов, позволяет одновременно учитывать влияние на надежность различных внутренних и внешних факторов.

Для анализа влияния постепенных отказов на работоспособность машины централизованного контроля необходимо предварительно установить количественные соотношения, определяющие надежность машины в отношении отсутствия постепенных отказов, т. е. сохранение ею класса точности при заданных режимах и условиях работы в течение времени t .

Анализируя различные структуры современных машин централизованного контроля, можно сделать вывод о том, что измерительную часть подавляющего большинства машин можно представить в виде следующей обобщенной блок-схемы (рис. 1).

Контролируемые величины $X^{(1)}, X^{(2)}, X^{(3)}, \dots, X^{(n)}$ через входной коммутатор BxK поступают в преобразователь $ЦП$ и преобразуются в цифровые значения $Y^{(1)}, Y^{(2)}, Y^{(3)}, \dots, Y^{(n)}$, которые сравниваются в устройстве $ОО$ с уровнями Z_1 и Z_2 .

Предположим, что входная величина $X = \text{const}$. Тогда при повторных воздействиях этой постоянной величины на преобразующий (метро-

логический) элемент машины выходная величина будет иметь значения, лежащие около некоторого среднего значения $\bar{Y}$.

В предположении, что зависимость выходных характеристик преобразователя от параметров входящих в него элементов может быть линеаризована, а закон распределения величин рабочих параметров элементов можно считать нормальным (по некоторым данным, усеченным нормальным или логарифмически нормальным), получим, что распределение отклонений величины $\bar{Y}$ подчиняется нормальному закону (рис. 2).

Надежность машины централизованного контроля в отношении постепенных отказов есть вероятность того, что величина измеренного и

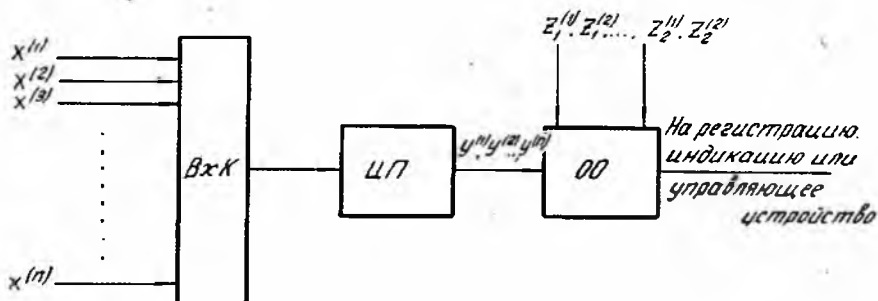


Рис. 1. Структурная схема измерительной части машины централизованного контроля: ВхК — входной коммутатор; ЦП — цифровой преобразователь; ОО — устройство обнаружения отклонений.

преобразованного выходного сигнала Y при постоянстве входного сигнала X в течение времени t не выйдет за установленные техническими условиями пределы точности.

Вероятность того, что значение Y будет лежать в пределах $\bar{y} + \Delta y_{1 \text{ доп}} > Y > \bar{y} - \Delta y_{2 \text{ доп}}$, где $\Delta y_{1 \text{ доп}}$ и $\Delta y_{2 \text{ доп}}$ — заданные допустимые значения ошибки ($\Delta y_{1 \text{ доп}} = k_1 \delta_0$ и $\Delta y_{2 \text{ доп}} = k_2 \cdot \delta_0$, где δ_0 — основная относительная приведенная погрешность), определится следующим образом:

$$P_n = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \Delta} \int_{\bar{y} - \Delta y_{2 \text{ доп}}}^{\bar{y} + \Delta y_{1 \text{ доп}}} e^{-\frac{(y - \bar{y})^2}{2\Delta^2}} dy, \quad (5)$$

где $\bar{y}$ и Δ — соответственно среднее значение и дисперсия выходного параметра Y , или

$$P_n = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \Delta} \int_0^{\bar{y} + \Delta y_{1 \text{ доп}}} e^{-\frac{(y - \bar{y})^2}{2\Delta^2}} dy - \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \Delta} \int_0^{\bar{y} - \Delta y_{2 \text{ доп}}} e^{-\frac{(y - \bar{y})^2}{2\Delta^2}} dy.$$

Переходя к центрированной и нормированной случайной величине $U = \frac{y - \bar{y}}{\Delta}$, имеем

$$P_n = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{U_1} e^{-\frac{U^2}{2}} dU - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{U_2} e^{-\frac{U^2}{2}} dU = \Phi(U_1) - \Phi(U_2), \quad (6)$$

где $\Phi(U)$ — табулированный интеграл вероятностей (интеграл Гаусса).

Если согласно техническим условиям для машины централизованного контроля величина допустимого отклонения в меньшую сторону $\Delta y_{2 \text{ доп}}$ от математического ожидания выходной величины $\bar{y}$ (нижний допуск) равна по абсолютной величине допустимому отклонению в большую сторону $\Delta y_{1 \text{ доп}}$ (верхний допуск), т. е. $|\Delta y_{1 \text{ доп}}| = |\Delta y_{2 \text{ доп}}| = \Delta y_{\text{доп}}$, и заданное номинальное значение выходного параметра равно его среднему значению, то

$$P_n = P \{ |y - \bar{y}| \leq \Delta y_{\text{доп}} \} = P \{ \bar{y} - \Delta y_{\text{доп}} \leq y \leq \bar{y} + \Delta y_{\text{доп}} \} = \\ = \Phi \left(\frac{\Delta y_{\text{доп}}}{\Delta} \right) - \Phi \left(\frac{-\Delta y_{\text{доп}}}{\Delta} \right) = 2\Phi \left(\frac{\Delta y_{\text{доп}}}{\Delta} \right). \quad (7)$$

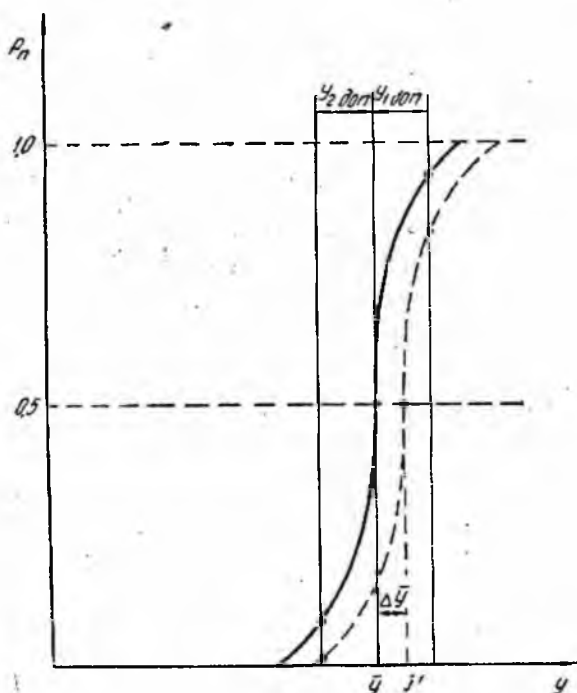


Рис. 2. Распределение значений $y = f(x)$ при постоянном значении входного сигнала x .

Например, если $\Delta y_{\text{доп}} = 2\Delta$, $P_n = 2\Phi(2) = 2 \cdot 0,4772 = 0,9545$, т. е. вероятность того, что случайная величина Y , подчиненная нормальному закону, заключается в пределах $\bar{y} - 2\Delta \leq y \leq \bar{y} + 2\Delta$, составляет $P_n = 0,9545$. Как указывалось выше (см. формулу (3)), под влиянием внешних и внутренних воздействий изменяется значение надежности. В рассмотренной схеме машины централизованного контроля (рис. 1) это изменение сводится к изменению среднего значения $\bar{y}$ и дисперсии Δ выходного сигнала. Значение $\bar{y}$ изменится на величину $\Delta \bar{y}$, в результате чего новое среднее значение выходного параметра будет $y' = \bar{y} + \Delta \bar{y}$ (рис. 2), где

$$\Delta \bar{y} = \frac{\partial \bar{y}}{\partial \theta} \cdot \Delta \theta + \frac{\partial \bar{y}}{\partial \phi} \cdot \Delta \phi + \frac{\partial \bar{y}}{\partial \alpha} \cdot \Delta \alpha + \dots \quad (8)$$

Определяя расчетным или экспериментальным путем значения $\frac{\partial \bar{y}}{\partial \theta}$,

$\frac{\partial y}{\partial \varphi} \dots$ и зная величины изменения внешних воздействий $\Delta \theta = \theta_x - \theta_0$, $\Delta \varphi = \varphi_x - \varphi_0$, можно найти Δy и затем по формуле (6) для $U_1 = \Delta y_{1 \text{ доп}} \pm \Delta y$ и $U_2 = \Delta y_{2 \text{ доп}} \pm \Delta y$ измененную величину P_n . Одновременно изменяется и дисперсия Δ выходного сигнала. Измененное значение дисперсии

$$\Delta' = \sqrt{\Delta^2 + \Delta_{\Delta y}^2} = \sqrt{\Delta^2 + \left(\frac{\partial \Delta}{\partial \theta}\right)^2 \cdot (\Delta \theta)^2 + \left(\frac{\partial \Delta}{\partial \varphi}\right)^2 \cdot (\Delta \varphi)^2 + \left(\frac{\partial \Delta}{\partial a}\right)^2 \cdot (\Delta a)^2 + \dots} \quad (9)$$

Необходимым условием для выполнения указанных выше расчетных операций является наличие, помимо математического описания (уравнения работы исследуемого элемента, узла или блока), зависимости статистических параметров надежности, характеризующих старение и износ элемента, узла или блока в целом, от статистических параметров входящих в него деталей.

Таковыми параметрами надежности в последнем случае могут являться среднее время безотказной работы элемента (узла, блока) $T_{\text{ср}}$ и среднеквадратическое отклонение времени безотказной работы элемента от его среднего значения σ . Зная $T_{\text{ср}}$ и σ элемента, можно вычислить вероятность безотказной работы машины по отношению к постепенным отказам за время t следующим образом.

Вероятность безотказной работы в этом случае [3]

$$P_n(t) = \prod_{i=1}^k [0,5 - \Phi(Z)]_i^{N_i}, \quad (10)$$

где $\Phi(Z)$ — интеграл вероятности (см. формулу (6));

N_i — количество однотипных равнонадежных элементов в i -й группе;

k — количество групп элементов.

По известным $T_{\text{ср}}$, σ и t определяем параметр $Z = \frac{t - T_{\text{ср}}}{\sigma}$, по таблице находим значение $\Phi(Z)$ и по формуле (10) — $P_n(t)$.

Для получения достоверных результатов при проведении расчета МЦК по отношению к постепенным отказам после анализа принципиальной схемы машины и выделения из нее измерительной (метрологической) части следует учитывать только те детали, которые оказывают существенное влияние на изменение точности работы схемы во времени. Остальные блоки и элементы машины централизованного контроля подлежат, по нашему мнению, расчету надежности только по отношению к внезапным отказам.

Ниже приводится пример учета влияния постепенных отказов на надежность одной из машин централизованного контроля. В рассматриваемом примере основное внимание уделено методике выбора блоков, узлов и деталей, влияющих на точность машины централизованного контроля.

На рис. 3 представлена функциональная схема машины централизованного контроля с цифровым преобразованием на каждом шаге равномерного обегания. Связь датчиков с машиной осуществляется через магистральный проводной канал связи, трасса которого проходит через пункты подключения датчиков (схема с рассредоточенным распределителем).

Последовательность технологических операций по управлению отдельными функциональными блоками машины указана порядковыми номерами.

Из приведенной функциональной схемы машины следует, что в операциях, непосредственно связанных с измерением показаний датчиков, преобразованием измеренного сигнала, сравнением его с заранее установленным для данной точки эталонным значением и выдачей результатов в блок цифровой регистрации, принимают участие: собственно датчик, коммутирующие элементы рассредоточенного распределителя, канал связи, блок цифрового автоматического компенсатора, блок программного задатчика уставок и блок питания (в части, имеющей отно-

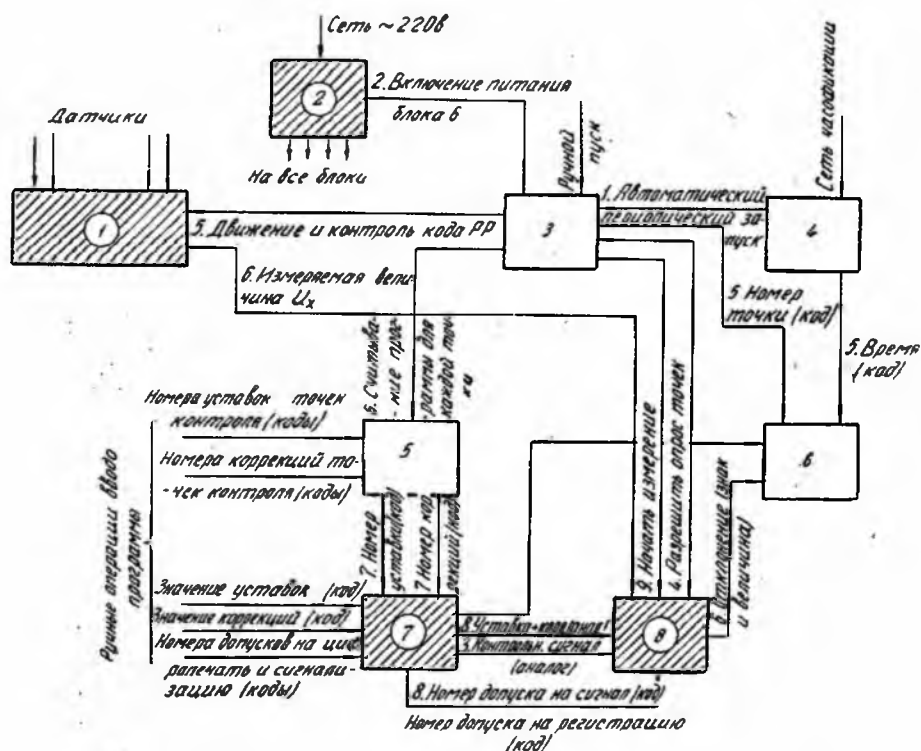


Рис. 3. Функциональная схема машины централизованного контроля:
1 — рассредоточенный распределитель; 2 — блок питания; 3 — блок управления и синхронизации; 4 — блок кодирования времени и автоматического запуска; 5 — блок программного задатчика; 6 — блок печатания информации; 7 — блок программного задатчика уставок; 8 — блок цифрового автоматического компенсатора.

шение к перечисленным блокам). Блок-схема расчета надежности машины централизованного контроля по отношению к постепенным отказам представлена на рис. 4. Все элементы блок-схемы необходимо исследовать на надежность по отношению к постепенным отказам в соответствии с указанными выше расчетными соотношениями.

Рассмотрим в качестве примера блок цифрового автоматического компенсатора 8, функциональная схема которого представлена на рис. 5.

Входной сигнал $\pm \Delta U_x$ усиливается во входном нормирующем преобразователе 1 до уровня $\pm k \cdot \Delta U_x$. Далее напряжение $\pm k \cdot \Delta U_x$ суммируется со стабилизированным опорным напряжением $-U_0$, а результирующее напряжение $-U_x$ сравнивается с величиной ступенчато-растающего напряжения, число ступеней которого, отсчитанное счетчиком 8 до момента срабатывания нуля-органа 4, определяет цифровой эквивалент $\pm \Delta U_x$.

водом «Вибратор» (см. принципиальную электрическую схему, рис. 6). Проанализируем его работу.

В качестве датчика в машине применен термометр сопротивления $ТС$. Стабилизированный ток $I_{ТС}$, протекая по сопротивлению $R_{ТС}$, создает падение напряжения $U_x = I_{ТС} \cdot R_{ТС}$. Сигнал U_x алгебраически суммируется с сигналом $U_{уст} = I_{уст} \cdot R_{уст}$, величина которого заранее определена для каждой точки контроля. Результирующее напряжение $\Delta U_x = U_x - U_{уст}$ подается на вход нормирующего преобразователя (усилителя постоянного тока) $ВхНП$. Не вдаваясь в подробности процесса усиления сигнала ΔU_x , отметим, что на сопротивлении нагрузки R_n выделяется напряжение $k \cdot \Delta U_x$ [4].

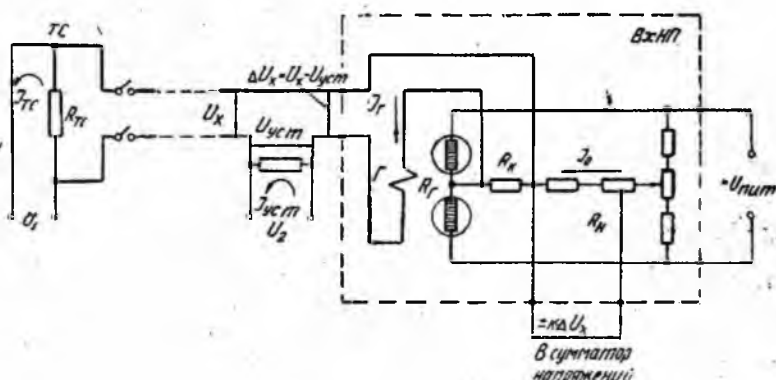


Рис. 6. Принципиальная электрическая схема входного нормирующего преобразователя: $ТС$ — термометр сопротивления; $ВхНП$ — входной нормирующий преобразователь (усилитель постоянного тока).

Уравнение равновесия э. д. с. для входного контура схемы имеет вид

$$\Delta U_x = (I_0 + I_r) \cdot R_k + I_r \cdot (R_{вх} + R_r), \quad (11)$$

где $R_{вх}$ — сопротивление источника измеряемой э. д. с.;

R_r — сопротивление рамки гальванометра.

Отсюда находим

$$I_0 = \frac{\Delta U_x}{R_k} \left[1 - \frac{I_r (R_k + R_{вх} + R_r)}{\Delta U_x} \right]. \quad (12)$$

Напряжение выхода преобразователя в нашем случае

$$U_{вых} = k \cdot \Delta U_x = I_0 \cdot R_n,$$

следовательно,

$$\begin{aligned} U_{вых} &= \Delta U_x \cdot \frac{R_n}{R_k} \left[1 - \frac{I_r (R_k + R_{вх} + R_r)}{\Delta U_x} \right] = \\ &= \Delta U_x \cdot \frac{R_n}{R_k} - \frac{I_r (R_k + R_{вх} + R_r)}{R_k}. \end{aligned} \quad (13)$$

В свою очередь,

$$\Delta U_x = U_x - U_{уст}, \quad (14)$$

где $U_x = I_{ТС} \cdot R_{ТС}$; $U_{уст} = I_{уст} \cdot R_{уст}$.

Учитывая (14), имеем

$$U_{вых} = (I_{ТС} \cdot R_{ТС} - I_{уст} \cdot R_{уст}) \frac{R_n}{R_k} - \frac{I_r (R_k + R_{вх} + R_r)}{R_k}, \quad (15)$$

т. е. получим уравнение, описывающее работу схемы и связывающее выходной параметр схемы с параметрами входящих в нее деталей.

Как указывалось выше, изменение надежности машины централизованного контроля по отношению к постепенным отказам сводится к изменению среднего значения $U_{\text{вых}}$ и дисперсии Δ выходного сигнала во время эксплуатации под действием различных внутренних и внешних факторов. Зная конкретно вероятностные характеристики параметров входящих в схему деталей и степень влияния на эти параметры различных внешних и внутренних факторов (т. е. значения $\frac{\partial U_{\text{вых}}}{\partial \theta}$, $\frac{\partial U_{\text{вых}}}{\partial \varphi}$... —

см. формулу (8)), а также в соответствии с техническими условиями величины изменения внешних воздействий $\Delta \theta$, $\Delta \varphi$, ..., можно по формуле (6) или (10) определить P_n . В зависимости от требуемой точности расчета может возникнуть необходимость в дальнейшей расшифровке отдельных членов уравнения (15) — выяснить, например, зависимость тока $I_{\text{ТС}}$ от колебаний напряжения источника питания, изменения сопротивления линии и т. д. Так можно расчетным путем определить на стадии проектирования изменение точности измерительной схемы машины централизованного контроля в течение периода эксплуатации, т. е. ее надежность в отношении постепенных отказов.

Определив значение надежности в отношении постепенных отказов для различных моментов времени, можно найти по формуле (1) суммарную эксплуатационную надежность машины централизованного контроля и, следовательно, установить периодичность профилактических работ, а также необходимость замены и регулирования (наладки) элементов во время эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. С. Сотсков. Основы расчета и проектирования электромеханических элементов автоматических и телемеханических устройств. Изд-во «Энергия», 1965.
2. Ф. Е. Темников, И. М. Шенброт. Машины и системы централизованного контроля. ГОСИНТИ, 1964.
3. Н. А. Шишенок, В. Ф. Репкин, Л. Л. Барвинский. Основы теории надежности и эксплуатации радиоэлектронной техники. Изд-во «Советское радио», 1964.
4. С. К. Андриевский, М. Г. Грудин и др. Применение фотоэлектрических усилителей в системах централизованного контроля. «Механизация и автоматизация управления», 1967, № 1.
5. С. Г. Рабинович. Фотогальванометрические компенсационные приборы. Изд-во «Энергия», 1964.

ПРОСТЕЙШИЕ КОДЫ

В. А. Стулов

Киев

При телемеханизации промышленных объектов емкости систем часто бывают небольшими, а отношение сигнал — помеха велико. Поэтому в таких системах рационально применять простейшие коды.

В простейших кодах кодовые комбинации состоят из одноэлементной посылки. Характерной особенностью этих кодов является то, что для их передачи не используются составляющие канала связи, т. е. каналы связи просты. В них, как и в любых других кодах, для передачи кодовой комбинации требуется только один канал связи.