ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ

МЕТОДИКА

РАСЧЕТА МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПО МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ КОМПОНЕНТОВ

МИ 222—80

Москва
ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ
1981

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАНА:

Всесоюзным научно-исследовательским институтом метрологии измерительных и управляющих систем (ВНИИМИУС) научно-производственного объединения «Система»

Директор **Е. Т. Удовиченко**
Начальник отдела № 10 **Э. С. Браилов**
Руководитель темы **В. Н. Сиверс**
Ответственные исполнители: **Э. С. Браилов, Б. М. Ярошевич**

Всесоюзным научно-исследовательским институтом электроизмерительных приборов (ВНИИЭП)

Директор **В. Н. Иванов**
Зав. отделом № 15 **С. М. Мандельштам**
Руководитель темы **В. Н. Иванов**
Ответственный исполнитель **Н. А. Желудева**

ПОДГОТОВЛЕНА К УТВЕРЖДЕНИЮ отделом № 11 Всесоюзного научно-исследовательского института метрологии измерительных и управляющих систем (ВНИИМИУС)

Начальник отдела № 11 **Л. А. Коломийцев**
Начальник сектора **Б. Д. Колпак**

УТВЕРЖДЕНА Научно-техническим советом Всесоюзного научно-исследовательского института метрологии измерительных и управляющих систем (ВНИИМИУС) 1 марта 1980 г. (протокол № 2/80)

УДК 389.14

МЕТОДИКА

РАСЧЕТА МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПО МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ КОМПОНЕНТОВ

МИ 222–80

Настоящая методика является основанием для составления частных методик расчетного определения метрологических характеристик (МХ) измерительных каналов (ИК) конкретных ИИС по МХ компонентов (см. приложение 1). Методика дает способы расчета значений МХ ИК ИИС из числа регламентированных ГОСТ 8.009—72. Методика распространяется на ИК ИИС, которые составлены из последовательно включенных аналоговых компонентов с линейными функциями преобразования и нормированных МХ (см. приложение 2), а также на ИК, содержащие дискретные компоненты, при условии, что погрешностью дискретности можно пренебречь, и устанавливает способы расчета МХ ИК ИИС для статического, а также для динамического стационарного режимов измерения.

Примечания:

1. Динамическим является режим измерений изменяющейся во времени величины, при котором динамическая составляющая погрешности заметно влияет на общую погрешность измерений.

2. Стационарным является режим, при котором математическое ожидание и дисперсия измеряемого сигнала не зависят от времени, а корреляционная функция зависит от разности времен.

3. Статическим является режим измерений, при котором динамическая составляющая погрешности пренебрежимо мало влияет на общую погрешность измерений, а измеряемую величину можно считать неизменной во времени.

1. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПОДЛЕЖАЩИЕ РАСЧЕТУ

1.1. Для нормальных условий эксплуатации ИИС в статическом режиме в настоящей методике представлены формулы расчета:

номинальной статической характеристики преобразования ИК $f_{н}(x)$:

© Издательство стандартов, 1981

систематической составляющей Δ_c погрешности ИК;

случайной составляющей $\mathring{\Delta}$ погрешности ИК;

погрешности Δ ИК.

1.2. Для рабочих условий эксплуатации ИИС в статическом режиме в настоящей методике представлены формулы расчета:

наибольших допускаемых изменений МХ ИК, вызванных изменениями внешних влияющих величин и неинформативных параметров входного сигнала, $\Delta l(\xi)$,

функции влияния на МХ измерительных каналов $\psi(\xi)$.

1.3. Для нормальных условий эксплуатации в стационарном динамическом режиме в настоящей методике представлены формулы расчета:

амплитудно- и фазочастотных характеристик ИК $A_н(\omega)$ и $\varphi_н(\omega)$;

спектральной плотности случайной составляющей погрешности ИК $S^{\circ}_{\Delta}(\omega)$.

1.4. Для рабочих условий эксплуатации в стационарном динамическом режиме в настоящей методике представлены формулы расчета функции влияния на МХ, перечисленные в п. 1.3.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА МХ ИК

2.1. В качестве исходных данных в настоящей методике используются нормированные в соответствии с ГОСТ 8.009—72 МХ компонентов, составляющих ИК.

2.1.1. В формулах расчета МХ ИК в статическом режиме в нормальных условиях эксплуатации использованы следующие МХ компонентов, составляющих ИК:

$f_{нl}(x)$ — номинальная статическая характеристика преобразования в виде формулы*;

характеристики систематической составляющей Δ_c погрешности:

$M[\Delta_{cl}(x)]$ — математическое ожидание систематической составляющей погрешности компонента в виде линейной функции входного сигнала;

$\sigma[\Delta_{cl}(x)]$ — среднее квадратическое отклонение систематической составляющей погрешности компонентов данного типа в виде функции входного сигнала или $\Delta_{с.д\,i} = \lambda_i$ — предел допускаемого значения систематической составляющей погрешности компонентов данного типа;

характеристика случайной составляющей $\mathring{\Delta}$ погрешности $\sigma_{д\,i}(\mathring{\Delta}) = \varkappa_i$ — предел допускаемого значения среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности компонентов данного типа.

---

* Здесь и далее индекс i — номер компонента.

В расчетных формулах, полученных с учетом взаимного влияния каналов в многоканальных компонентах, входящих в состав ИИС, использованы следующие МХ этих компонентов ИИС:

$f_{н1}(x)$, $f_{н2}(x)$, ... — набор номинальных статических характеристик преобразования для каждого ИК каждого многоканального компонента, входящего в ИИС;

$M(\Delta_{с1})$, $M(\Delta_{с2})$, ... — набор математических ожиданий систематических составляющих погрешности для каждого ИК каждого многоканального компонента, входящего в ИИС;

$\sigma(\Delta_{с1})$, $\sigma(\Delta_{с2})$, ... — набор средних квадратических отклонений систематических составляющих погрешности для каждого ИК каждого многоканального компонента, входящего в ИИС.

2.1.2. В формулах расчета МХ каналов в статическом режиме в рабочих условиях эксплуатации, кроме МХ, указанных в п. 2.1.1, использованы следующие МХ компонентов, составляющих ИК ИИС:

наибольшее допускаемое изменение МХ, перечисленных в п. 2.1.1, вызванное изменением внешних влияющих величин и неинформативных параметров входного сигнала, или функции влияния на МХ компонентов, перечисленные в п. 2.1.1, в виде зависимости от влияющих величин.

2.1.3. В стационарном динамическом режиме измерения в нормальных условиях эксплуатации исходными данными являются:

$A_{нi}(\omega)$ — номинальная амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) компонента, входящего в ИК;

$\varphi_{нi}(\omega)$ — номинальная фазочастотная характеристика (ФЧХ) компонента, входящего в ИК;

$\Delta A_i(\omega)$ — наибольшее допускаемое отклонение АЧХ от номинального значения;

$\Delta\varphi_i(\omega)$ — наибольшее допускаемое отклонение ФЧХ от номинального значения;

$S^{\circ}_{\Delta i}(\omega)$ — спектральная плотность случайной составляющей погрешности компонента данного типа, входящего в ИК.

2.1.4. В стационарном динамическом режиме измерения в рабочих условиях эксплуатации исходными данными наряду с характеристиками, указанными в п. 2.1.3, являются:

$\psi_{\Delta A_i}(\xi_1, \xi_2, \ldots)$ — функция влияния на АЧХ компонента, входящего в ИК;

$\psi_{\Delta\varphi_i}(\xi_1, \xi_2, \ldots)$ — функция влияния на ФЧХ компонента, входящего в ИК;

$\psi_{S^{\circ}_{\Delta i}}(\xi_1, \xi_2, \ldots)$ — функция влияния на спектральную плотность случайной составляющей погрешности компонента, входящего в ИК.

Примечание. Характеристики, указанные в пп. 2.1.3 и 2.1.4, представлены в виде функции частоты (формулы, графика, таблицы).

2.2. Получение исходных данных для расчета.

2.2.1. МХ компонентов, необходимые для расчета, следует брать из нормативно-технической документации.

2.2.2. В тех случаях, когда МХ компонентов не заданы или представлены неполно, они должны быть определены путем экспериментального исследования компонентов с применением частных методик по определению МХ компонентов.

Примечания:

1. Требования к виду задания МХ компонентов, входящих в ИК, согласуются с видом математических моделей, описанных в приложении 3.

2. МХ компонентов полагаются детерминированными величинами.

2.2.3. Форма задания исходных данных — абсолютная.

3. РАСЧЕТ МХ ИК ИИС В СТАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

3.1. Расчет в номинальных условиях эксплуатации.

3.1.1. Номинальная статическая характеристика преобразования измерительного канала $f_{нl}(x)$ может быть рассчитана по формуле приложения 2, п. 1.

Исходными данными для расчета являются:

N — количество компонентов в канале;

$f_{нi}(x)$ — номинальные статические характеристики преобразования каждого компонента $(i=1, 2, \ldots N)$. $f_{нl}(x)$ задается в виде линейных функций входного сигнала:

$$f_{нi}(x) = A_i x + a_i,$$

где A_i и a_i мультипликативная и аддитивная составляющие номинального преобразования компонента соответственно.

3.1.2. Формулы расчета характеристики систематической составляющей погрешности ИК в виде функций входного сигнала приведены в приложении 2, п. 2.

Они дают возможность получить:

$M[\Delta_c(x)]$ — математическое ожидание систематической составляющей погрешности ИК данного типа;

$\sigma[\Delta_s(x)]$ — среднее квадратическое отклонение систематической составляющей погрешности ИК данного типа.

Исходными данными для расчета являются:

N — количество компонентов в канале;

$f_{нi}(x)$ — номинальная статическая характеристика преобразования компонента данного типа в виде линейной зависимости от входного сигнала $(i=1, 2, \ldots N)$:

$$f_{нi}(x) = A_i x + a_i;$$

$M[\Delta_{ci}(x)] = B_i x + b_i$ — математическое ожидание систематической составляющей погрешности компонента данного типа в виде линейной функции входного сигнала;

$\sigma[(\Delta_{ci}(x)]$ — среднее квадратическое отклонение систематической составляющей погрешности компонентов данного типа (для всех компонентов), входящих в ИК, $(i=1, 2, \ldots, N)$. Для расчета $\sigma[\Delta_{ci}(x)]$ задается в виде функции входного сигнала x;

$$\sigma[\Delta_{ci}(x)] = (G_i^2 x^2 + g_i^2)^{1/2},$$

где G_i^2 и g_i^2 — дисперсии мультипликативной и аддитивной составляющих систематической погрешности соответственно.

3.1.3. Предел допускаемого значения систематической составляющей погрешности $\Delta_{с.д}$ ИК данного типа рассчитывается по формулам приложения 2, п. 3.

Результатом расчета является числовое значение $\Delta_{с.д}$.

Взаимное влияние ИК не учитывается.

Исходными данными для расчета являются:

N — количество компонентов, входящих в ИК;

$[0 \ldots q]$ — диапазон изменения входного сигнала;

$f_{нi}(x)$ — номинальная статическая характеристика преобразования каждого компонента, входящего в ИК, $(i=1, 2, \ldots, N)$. $f_{нi}(x)$ задается в виде функции входного сигнала:

$$f_{нi}(x) = A_i x;$$

$\Delta_{с.дi}$ — предел допускаемого значения систематической составляющей погрешности компонента данного типа, входящего в ИК $(i=1, 2, \ldots, N)$.

Для расчета используется числовое значение $\Delta_{с.дi}$.

3.1.4. Расчет характеристики систематической и случайной составляющих погрешности с учетом связи между ИК распространяется на ИИС, составленные из многоканальных компонентов.

Рассчитываются следующие МХ ИК ИИС:

$M[\Delta_{ci}(x)]$ — математическое ожидание систематической составляющей погрешности ИК данного типа (для всех ИК ИИС $i=1, 2, \ldots, m$);

$\sigma[\Delta_{ci}(x)]$ — среднее квадратическое отклонение систематической составляющей погрешности ИК данного типа (для всех ИК ИИС $i=1, 2, \ldots, m$).

Исходными данными для расчета являются:

m — количество ИК в многоканальных компонентах, входящих в ИИС;

N — количество компонентов, входящих в ИК;

$f_{нji}(x)$ — номинальная характеристика преобразования по одному каналу j-го компонента, входящего в ИК ИИС $(j=1, 2, \ldots, N)$. $f_{нji}(x)$ является линейной функцией входного сигнала i-го канала компонента, входящего в ИИС:

$$f_{нij}(x) = A_j x_i + a_j \text{ при } i=1,2,\ldots,m;\ j=1,2,\ldots,N;$$

$M[\Delta_{cij}(x)]$ — математическое ожидание систематической составляющей погрешности одного канала каждого компонента, входящего в ИК ИИС $(j=1, 2, \ldots, N)$;

$M[\Delta_{cij}(x)]$ является линейной комбинацией всех входных сигналов компонента:

$$M[\Delta_{cij}(x)] = \sum_{k=1}^{m} B_{kij} x_k + b_{ij},$$

где i — номер какого-либо выделенного канала;

$\sigma[\Delta_{cij}(x)]$ — среднее квадратическое отклонение систематической составляющей погрешности по одному каналу каждого компонента ($j=1, 2, \ldots N$). $\sigma[\Delta_{cij}(x)]$ является функцией всех входных сигналов компонентов $x_к$ ($к=1, 2, \ldots, m$):

$$\sigma[\Delta_{cij}(x)]=\left(\sum_{к=1}^{m} G_{кij}^2 x_к^2+g_{кj}^2\right)^{1/2},$$

где i — номер какого-нибудь выделяемого канала.

Расчетные формулы приведены в приложении 2, п. 4.

Результатами расчета являются $M(\Delta_{ci})$, $\sigma(\Delta_{ci})$, выраженные функциями от всех входных сигналов многоканальной ИИС.

3.1.5. Предел допускаемого значения среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности в ИК данного типа $\sigma_д(\overset{\circ}{\Delta})$ рассчитывается по формулам приложения 2, п. 5.

Результатом расчета является числовое значение $\sigma_д(\overset{\circ}{\Delta})$.

Взаимное влияние ИК не учитывается.

Исходными данными для расчета являются:

N — количество компонентов, входящих в ИК;

$[0 \ldots q]$ — диапазон изменения входного сигнала;

$f_{нi}(x)$ — номинальная статическая характеристика преобразования каждого компонента, входящего в ИК ($i=1, 2, \ldots N$). $f_{нi}(x)$ задается в виде функции входного сигнала:

$$f_{нi}(x)=A_i x;$$

$\Delta_{с.дi}$ — предел допускаемого значения систематической составляющей погрешности компонента данного типа, входящего в ИК ($i=1, 2, \ldots N$). Для расчета используют числовое значение $\Delta_{с.дi}$;

$\sigma_{дi}(\overset{\circ}{\Delta})$ — предел допускаемого значения среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности компонента данного типа, входящего в ИК ($i=1, 2, \ldots N$).

3.1.6. Для расчета предела допускаемого значения погрешности $\Delta_д$ ИК в качестве исходных данных используют следующие характеристики:

N — количество компонентов в ИК;

$[0 \ldots q]$ — диапазон изменения входного сигнала;

$f_{нi}(x)$ — номинальную статическую характеристику преобразования (для всех компонентов, входящих в ИК):

$$f_{нi}(x)=A_i x;$$

$\Delta_{дi}$ — предел допускаемого значения погрешности компонентов данного типа (для всех компонентов, входящих в ИК).

Примечание. Под пределом допускаемой погрешности измерительного преобразователя понимается наибольшее значение величины $[|\Delta_c| + \gamma\sigma(\overset{\circ}{\Delta})]$ в диапазоне изменения входного сигнала (γ — постоянная величина, зависящая от закона распределения вероятностей погрешности).

Вычисления проводятся по формулам, приведенным в приложении 2, п. 6.

Результатом расчета является числовое значение $\Delta_д$.

3.2. Расчет МХ ИК в статическом режиме в рабочих условиях эксплуатации.

3.2.1. Формулы расчета функций влияния на характеристики систематической составляющей погрешности ИК дают возможность получить:

$\psi_{M(\Delta_c)}(\xi_1, \xi_2, \ldots)$ — функцию влияния на $M(\Delta_c)$ ИК при совместном изменении влияющих величин;

$\psi_{\sigma(\Delta_c)}(\xi_1, \xi_2, \ldots)$ — функцию влияния на $\sigma(\Delta_c)$ ИК при совместном изменении влияющих величин.

В набор влияющих величин $(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_p)$ входят влияющие величины для каждого компонента, составляющего ИК. Взаимное влияние ИК не учитывается.

Исходными данными для расчета являются:

N — количество компонентов ИК, далее для каждого компонента, входящего в ИК, задаются: $f_{нi}(x)$, $M[\Delta_{ci}(x)]$, $\sigma[\Delta_{ci}(x)]$ в соответствии с п. 3.1.2.

Примечание. При расчете предполагается, что для каждого компонента, входящего в ИК, набор влияющих величин один и тот же.

$\psi_{M(\Delta_{ci})}(\xi_1, \xi_2, \ldots)$ — функция влияния на $M(\Delta_{ci})$ при совместном изменении влияющих величин. Для расчета $\psi_{M(\Delta_{ci})}$ задается в виде функции $(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_p)$:

$$\psi_{M(\Delta_{ci})} = \alpha_{1i}(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_p) + \alpha_{2i}(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_p)x,$$

где x — информативный параметр входного сигнала;

$\alpha_{1i}(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_p)$, $\alpha_{2i}(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_p)$ — функции влияющих величин;

$\psi_{\sigma(\Delta_{ci})}(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_p)$ — функция влияния на $\sigma(\Delta_{ci})$ при совместном изменении влияющих величин.

Для расчета $\psi_{\sigma(\Delta_{ci})}(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_p)$ задается в виде функции влияющих величин:

$$\psi_{\sigma(\Delta_{ci})}(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_p) = [\beta_{1i}^2(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_p) + \beta_{2i}^2(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_p)x^2]^{1/2},$$

где $\beta_{1i}(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_p)$, $\beta_{2i}(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_p)$ — функции влияющих величин.

Вычисления проводят по формулам, приведенным в приложении 2, п. 7.

3.2.2. Наибольшее допускаемое изменение $\Delta_{с.д}$ ИК рассчитывается по формулам приложения 2, п. 8.

Результатом расчета является $\Delta\Delta_{с.д}$, выраженная в единицах $\Delta_{с.д}$.

Взаимное влияние ИК не учитывается.

Исходными данными для расчета являются:

N — количество компонентов в ИК;

$[0 \ldots q]$ — диапазон изменения информативного параметра входного сигнала.

Далее для каждого компонента, входящего в ИК, задаются:

$$f_{нl}(x) = A_l x;$$

p — количество влияющих величин;

$\Delta\Delta_{с.дi}$ — наибольшее допускаемое изменение $\Delta_{с.дi}$. $\Delta\Delta_{с.дi}$ выражается в единицах $\Delta_{с.дi}$:

$$\Delta\Delta_{с.дi}=K_i\Delta_{с.дi};\ K_i>0.$$

3.2.3. Наибольшее допускаемое изменение $\sigma_д(\mathring{\Delta})$ ИК рассчитывается по формулам приложения 2, п. 9.

Результатом расчета является $\Delta\sigma_д(\mathring{\Delta})\ (\xi_1, \ldots, \xi_p)$, выраженное в единицах $\sigma_д(\mathring{\Delta})$.

Взаимное влияние ИК не учитывается.

Исходными данными для расчета являются:

N — количество компонентов в ИК;

$[0 \ldots q]$ — диапазон изменения информативного параметра входного сигнала.

Далее для каждого компонента, входящего в ИК, задаются:

$$f_{нi}(x)=A_i x;$$
$$\Delta_{с.дi}=\lambda_i;$$
$$\sigma_{дi}(\mathring{\Delta})=\varkappa_i;$$
$$\Delta\Delta_{с.дi}(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_p)=K_i\lambda_i;$$

$\Delta\sigma_{дi}(\mathring{\Delta})(\xi_1, \xi_2, \ldots)$ — наибольшее допускаемое изменение $\sigma_{дi}(\mathring{\Delta})$ при совместном изменении влияющих величин. $\Delta\sigma_{дi}(\mathring{\Delta})$ выражается в единицах $\sigma_{дi}(\mathring{\Delta})$:

$$\Delta\sigma_{дi}(\mathring{\Delta})(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_p)=l_i\varkappa_i;\ l_i>0.$$

3.2.4. Наибольшее допускаемое изменение $\Delta_д$ ИК при совместном изменении влияющих величин $\Delta\Delta_д(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_p)$ рассчитывается по формулам приложения 2, п. 10.

Результатом расчета является $\Delta\Delta_д$, выраженное в единицах $\Delta_д$.

Взаимное влияние ИК не учитывается.

Исходными данными для расчета являются:

N — количество компонентов в ИК;

$[0 \ldots q]$ — диапазон изменения информативного параметра входного сигнала.

Далее для каждого компонента, входящего в ИК, задаются:

$$f_{нi}(x)=A_i x;$$
$$\Delta_{дi}=\delta_i.$$

4. РАСЧЕТ МХ ИК ИИС В СТАЦИОНАРНОМ ДИНАМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

4.1. Расчет МХ измерительных каналов в стационарном динамическом режиме в нормальных условиях эксплуатации.

По формулам приложения 2, п. 11 можно рассчитать следующие МХ ИК ИИС:

$A_н(\omega)$ — номинальную АЧХ ИК данного типа;

$\varphi_н(\omega)$ — номинальную ФЧХ ИК данного типа;

$\Delta A(\omega)$ — наибольшее допускаемое отклонение АЧХ от номинальной АЧХ ИК данного типа;

$\Delta\varphi(\omega)$ — наибольшее допускаемое отклонение ФЧХ от номинальной ФЧХ ИК данного типа;

$S^{\circ}_{\Delta}(\omega)$ — спектральную плотность случайной составляющей погрешности ИК данного типа.

Результатом расчета являются перечисленные МХ, выраженные в виде функций частоты.

Исходными данными для расчета являются:

N — количество компонентов, входящих в ИК;

$A_{н\,i}(\omega)$ — номинальная АЧХ каждого компонента, входящего в ИК;

$\varphi_{нi}(\omega)$ — номинальная ФЧХ каждого компонента, входящего в ИК;

$\Delta A_i(\omega)$ — наибольшее допускаемое отклонение АЧХ от номинальной АЧХ компонента данного типа, входящего в ИК;

$\Delta\varphi_i(\omega)$ — наибольшее допускаемое отклонение ФЧХ от номинальной ФЧХ компонента данного типа, входящего в ИК;

$S^{\circ}_{\Delta i}(\omega)$ — спектральная плотность случайной составляющей погрешности компонента данного типа, входящего в ИК.

4.2. Расчет МХ измерительных каналов в стационарном динамическом режиме в рабочих условиях эксплуатации.

По формулам приложения 2, п. 12 можно рассчитать следующие МХ измерительных каналов ИИС:

$\Psi_{\Delta A}(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_p)$ — функцию влияния на $\Delta A(\omega)$ при совместном изменении влияющих величин;

$\Psi_{\Delta\varphi}(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_p)$ — функцию влияния на $\Delta\varphi(\omega)$ при совместном изменении влияющих величин;

$\Psi_{S^{\circ}_{\Delta}}(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_p)$ — функцию влияния на $S^{\circ}_{\Delta}(\omega)$ при совместном изменении влияющих величин.

Исходными данными для расчета являются:

исходные данные, указанные в п. 4.1, а также p — количество влияющих величин;

$\Psi_{\Delta A_i}(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_p)$ — функция влияния на $\Delta A_i(\omega)$ компонента, входящего в ИК;

$\Psi_{\Delta\varphi_i}(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_p)$ — функция влияния на $\Delta\varphi_i(\omega)$ компонента, входящего в ИК;

$\Psi_{S^{\circ}_{\Delta_i}}(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_p)$ — функция влияния на $S^{\circ}_{\Delta i}(\omega)$ компонента, входящего в ИК.

Примечание. Предполагается, что количество влияющих величин для каждого компонента, входящего в ИК, одинаково.

Результатом расчета являются перечисленные функции влияния, выраженные функциями влияющих величин.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Справочное

Информационно-измерительная система (ИИС) — совокупность первичных устройств, комплексов агрегатных средств измерений и вспомогательных технических устройств, функционально объединенных в измерительный канал постоянной или переменной структуры, поставляющая потребителю информацию в соответствии с ее назначением.

Примечание. Любая ИИС, вне зависимости от конкретного назначения, состоит из трех основных частей: первичного устройства, предназначенного для восприятия, сбора, подготовки и передачи измерительной информации; линий связи — проводных и беспроводных; комплекса агрегатных средств.

Измерительный канал (ИК) — функционально объединенная совокупность средств измерений, по которому проходит один последовательно преобразуемый сигнал.

Примечание. В состав измерительного канала могут входить измерительные преобразователи, мера, измерительный прибор, а также объединяющие их элементы, в частности, линии связи. Измерительные каналы могут использоваться как по отдельности, так и входить в состав измерительных систем.

Измерительный канал измерительного компонента — часть измерительного компонента ИИС, имеющего несколько входов, выполняющая законченное измерительное преобразование, составляющее функцию этого компонента от одного из его входов до его выхода.

Измерительный компонент, входящий в ИИС — измерительный прибор или измерительный преобразователь (в том числе устройство согласования сигналов), мера, измерительный коммутатор, линия связи или их конструктивно объединенная или территориально локализованная совокупность, составляющая часть ИИС.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ФОРМУЛЫ РАСЧЕТА МХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ИИС

1. Расчет $f_{\text{н}}(x)$.

Исходные данные из п. 3.1 подставляем в следующие формулы:

$$A^i = \prod_{j=i+1}^{N} A_j \text{ при } i=1,2,...,N-1;$$

$$A^N = 1;$$

$$a = \sum_{i=1}^{N} A^i a_i.$$

Затем вычисляем

$$f_{\text{н}}(x) = A^{\circ} x + a.$$

2. Расчет $M[\Delta_{\text{с}}(x)]$, $\sigma[\Delta_{\text{с}}(x)]$.

На основании исходных данных из п. 3.1.2 вычисляем вспомогательные величины:

$$B^i = \prod_{\text{к}=i+1}^{N} (B_{\text{к}} + A_{\text{к}}) \text{ при } i=0,1,...,N-1;$$

$$Q_i^2 = \prod_{к=i+1}^{N} [(B_к + A_к)^2 + G_к^2] \text{ при } i=0,1,\ldots,N-1;$$

$$B^N = A^N = Q_N^2 = 1;$$

$$A^i = \prod_{к=i+1}^{N} A_к \text{ при } i=0,1,\ldots,N-1;$$

$$b = \sum_{i=1}^{N} B^i(b_i + a_i) - \sum_{i=1}^{N} A^i a_i;$$

$$B = B^0 - A^0.$$

Подставляем их в следующие формулы:

$$M[\Delta_c(x)] = Bx + b;$$

$$\sigma[\Delta_c(x)] = \langle x^2[Q_0^2 - (B^0)^2] + \sum_{i=1}^{N} \{b_i^2 [Q_i^2 - (B^i)^2] + g_i^2 Q_i^2\} \rangle^{1/2}.$$

3. Расчет $\Delta_{с.д}$.

Используем исходные данные п. 3.1.3 для вычисления вспомогательных величин; обозначим $\lambda_i = \Delta_{с.д\,i}$, $q_1 = q$, тогда:

$$q_i = q_{i-1} A_{i-1} \text{ при } i=2,3,\ldots,N;$$

$$B^N = 1;\ B^{i-1} = B^i(A_i + 2\lambda_i/q_i) \text{ при } i=2,3,\ldots,N-1.$$

Затем вычисляем

$$\Delta_{с.д} = \sum_{i=1}^{N} B^i \lambda_i.$$

4. Для вычисления $M(\Delta_{ci})$ и $\sigma(\Delta_{ci})$ используем исходные данные п. 3.1.4.

Обозначим:

$y_{0i} = x_i$ — входной сигнал i-го канала компонента.

Вычислим вспомогательные величины:

$$y_{si} = \sum_{к=1}^{m} y_{s-1,к} B_{кis} + y_{s-1,i} A_{is} + b_s + a_s \text{ при } s=1,2,\ldots,N;$$

$$\sigma_{si}(\Delta_c) = \{ \sum_{к=1}^{m} [\sigma_{s-1,к}(\Delta_c)(B_{кis} + A_{кis})^2 + \sigma_{s-1,к}^2(\Delta_c) G_{кis}^2] + g_{is}^2 + \sum_{к=1}^{m} (G_{кis}^2 y_{s-1,к}^2) \}^{1/2} \text{ при } s=2,3,\ldots,N,$$

где $A_{iis} = A_{is}$; $A_{кis} = 0$ при $к \neq i$

y_{si} имеет смысл математического ожидания выходного сигнала i-го канала s-го блока.

Дальнейшие вычисления проводят по формулам:

$$M(\Delta_{ci}) = y_{Ni} - \left(\sum_{к=1}^{N} A_{iк} x_i + \sum_{к=1}^{N-1} \prod_{l=к+1}^{N} A_l a_к + a_N \right);$$

$$\sigma(\Delta_{ci}) = \sigma_{Ni}(\Delta_c).$$

5. Расчет $\sigma_д(\overset{\circ}{\Delta})$.

Для вычисления $\sigma_д(\overset{\circ}{\Delta})$ ИК используем исходные данные п. 3.1.4.

Обозначим

$$q_1 = q;$$

$$\lambda_i \quad \Delta_{\quad i};$$

$$\varkappa_i^2 \equiv \sigma_{дi}^2(\overset{\circ}{\Delta}) \text{ при } i=1,2,\ldots,N.$$

Вычислим вспомогательные величины:

$$q_i=q_{i-1}A_{i-1} \text{ при } i=2,3,\ldots,N;$$

$$B^N=S_N=1;$$

$$B^{i-1}=B^i\left(A_i+\frac{2\lambda_i}{q_i}\right)\text{при } i=1,2,\ldots,N;$$

$$S_{i-1}^2=S_i^2\left[\left(A_i+\frac{2\lambda_i}{q_i}\right)^2+\frac{2\lambda_i^2}{q_i}+\frac{4\varkappa_i^2}{q_i^2}\right]\text{при } i=1,2,\ldots,N;$$

$$C_{i,i+1}=1;$$

$$C_{ij}=\prod_{\kappa=i+1}^{j-1}\left(A_\kappa+\frac{2\lambda_\kappa}{q_\kappa}\right)\text{при } j>i+1.$$

Затем вычислим

$$\sigma_д(\mathring{\Delta})=<\sum_{i=1}^{N}\{\varkappa_i^2S_i^2+\lambda_i^2[S_i^2-(B^i)^2]\}+2\sum_{i=1}^{N-1}\lambda_i\sum_{j=i+1}^{N}S_j^2\lambda_jC_{ij}\frac{\varkappa_j^2}{q_j^2}>^{1/2}.$$

6. Расчет $\Delta_д$.

Для вычисления $\Delta_д$ используем исходные данные п. 3.1.6.

Введем обозначения:

$$\lambda_i=\alpha_i\delta_i;$$

$$\varkappa_i^2=(1-\alpha_i)^2\frac{\delta_i^2}{\gamma^2}\text{при } i=1,2,\ldots,N.$$

Здесь α_i — параметр перебора, который при каждом $i=1, 2, \ldots, N$ принимает значения 0 или 1.

Вычислим по формулам приложения 3, п. 3 вспомогательные величины B_i, B^i, S_i^2, C_{ij}, q_i.

Введем функцию $V(\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_N)$ от величины α_i:

$$V(\alpha_1,\alpha_2,\ldots,\alpha_N)=\sum_{i=1}^{N}B^i\lambda_i+\gamma<\sum_{i=1}^{N}\{\varkappa_i^2S_i^2+\lambda_i^2[S_i^2-(B^i)^2]\}+$$

$$+2\sum_{i=1}^{N}\lambda_i\sum_{j=i+1}^{N}S_j^2\lambda_jC_{ij}\frac{\varkappa_j^2}{q_j^2}>^{1/2}.$$

Расчет $\Delta_д$ соответствует задаче поиска $\max V(\alpha_1, \ldots, \alpha_N)$ при условии, что α_i может принимать одно из двух значений $\alpha_i=0$ или $\alpha_i=1$.

Например, при $N=3$ необходимо вычислить восемь значений $V(0, 0, 0)$, $V(0, 0, 1)$, $V(0, 1, 0)$, $V(1, 0, 0)$, $V(1, 0, 1)$, $V(0, 1, 1)$, $V(1, 1, 0)$, $V(1, 1, 1)$ и выбрать наибольшее из них.

7. Расчет $\psi_{M(\Delta_c)}(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_p)$; $\psi_{\sigma(\Delta_c)}(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_p)$.

Для вычисления функций влияния используем исходные данные п. 3.2.1.

Вычислим вспомогательные величины:

$$B_{i\xi}=B_i+\alpha_{2i}(\xi_1,\ldots,\xi_p);\quad b_{i\xi}=b_i+\alpha_{1i}(\xi_1,\ldots,\xi_p);\quad G_{i\xi}^2=G_i^2+\frac{1}{2}\beta_{2i}^2(\xi_1,\ldots,\xi_p);$$

$$g_{i\xi}^2=g_i^2+\frac{1}{2}\beta_{1i}^2(\xi_1,\ldots,\xi_p).$$

Подставив их в формулы приложения 2, п. 2, вычислим B_ξ^i, $Q_{i\xi}^2$ при $i=1, 2, \ldots, N$.

Эти величины используем для вычисления $M[\Delta_c(x)]$ и подставим их в формулы приложения 3, п. 2, вместо R, Q_i^2, b.

Затем по формулам приложения 2, п. 2 вычислим $\sigma[\Delta_c(x)]$ и $M[\Delta_c(x)]$. Затем вычислим искомые функции влияния:

$$\psi_{M(\Delta_c)}(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_p) = M[\Delta_c(x)]_\xi - M[\Delta_c(x)];$$

$$\psi_{\sigma(\Delta_c)}(\xi_1, \ldots, \xi_p) = \sigma[\Delta_c(x)]_\xi - \sigma[\Delta_c(x)]$$

8. Расчет $\Delta\Delta_{c.}$.

Для расчета используют исходные данные п. 3.2.2.

Вычислим вспомогательные величины $\lambda_{i\xi}$ при $i=1, 2, \ldots, N$:

$$\lambda_{i\xi} = (1+K_i)\lambda_i.$$

По формулам приложения 2, п. 3 вычислим $\Delta_{с.д}$. Используя $\lambda_{i\xi}$ вместо λ_i по формулам приложения 2, п. 3 вычислим $\Delta_{с.д}(\xi_1, \ldots, \xi_p)$.

Требуемую характеристику находят по формуле

$$\Delta\Delta_{с.д}(\xi_1, \ldots, \xi_p) = K\Delta_{с.д},$$

где $K = (\Delta_{с.д}(\xi_1, \ldots, \xi_p))/\Delta_{с.д}$.

9. Расчет $\Delta_д(\mathring{\Delta})(\xi_1, \ldots, \xi_p)$.

Для расчета используют исходные данные п. 3.2.3.

Вычислим вспомогательные величины $\lambda_{i\xi}$, $\varkappa_{i\xi}$:

$$\lambda_{i\xi} = (1+K_i)\lambda_i;$$
$$\varkappa_{i\xi} = (1+l_i)\varkappa_i.$$

По формулам п. 3.1.5 вычислим $\sigma_д(\mathring{\Delta})$. Используя $\lambda_{i\xi}$, $\varkappa_{i\xi}$, вместо λ_i и $\varkappa_i$, по формулам приложения 3 п. 5, вычислим $\sigma_{д\xi}(\mathring{\Delta})$.

Искомую характеристику находят по формуле

$$\Delta\sigma_д(\mathring{\Delta})(\xi_1, \ldots, \xi_p) = l\sigma_д(\mathring{\Delta}),$$
$$\text{где } l = [\sigma_{д\xi}(\mathring{\Delta}) - \sigma_д(\mathring{\Delta})]/\sigma_д(\mathring{\Delta}).$$

10. Расчет $\Delta\Delta_д(\xi_1, \ldots, \xi_p)$.

Для расчета используют исходные данные п. 3.2.4.

Вычислим вспомогательные величины $\delta_{i\xi}$

$$\delta_{i\xi} = (1+r_i)\delta_i.$$

По формулам приложения 2 п. 6 вычислим $\Delta_д$. Используя $\delta_{i\xi}$ вместо δ_i, вычислим $\Delta_{д\xi}$ по формулам приложения 2 п. 6.

Искомую характеристику находим по формуле

$$\Delta\Delta_д = r\Delta_д,$$

где $r = (\Delta_{д\xi} - \Delta_д)/\Delta_д$.

11. Расчет МХ ИК в стационарном динамическом режиме в нормальных условиях.

Для расчета используют исходные данные п. 4.1. Номинальную АЧХ ИК и наибольшее допустимое отклонение от нее рассчитывают по формулам

$$A_н(\omega) = \prod_{i=1}^{N} A_{нi}(\omega);$$

$$\Delta A(\omega) = \sum_{i=1}^{N} \Delta A_i(\omega) \prod_{l=1}^{i-1} A_{нl}(\omega) \prod_{l=i+1}^{N} A_{нl}(\omega).$$

Номинальную ФЧХ ИК и наибольшее допустимое отклонение от нее рассчитывают по формулам

$$\varphi_{н}(\omega)=\sum_{i=1}^{N}\varphi_{нi}(\omega);$$

$$\Delta\varphi(\omega)=\sum_{i=1}^{N}\Delta\varphi_{i}(\omega).$$

Спектральную плотность случайной составляющей ИК рассчитывают по формуле

$$S^{\circ}_{\Delta}(\omega)=\sum_{i=1}^{N-1}\prod_{l=i+1}^{N}A^{2}_{нl}(\omega)S^{\circ}_{\Delta i}(\omega)+S^{\circ}_{\Delta N}(\omega).$$

12. Расчет МХ ИК в стационарном динамическом режиме в рабочих условиях эксплуатации.

Для расчета используют исходные данные пп. 4.1 и 4.2.

Рассчитывают вспомогательные величины $\Delta A_{\xi}(\omega)$, $\Delta\varphi_{\xi}(\omega)$, $S^{\circ}_{\Delta\xi}(\omega)$:

$$\Delta A_{\xi}(\omega)=\sum_{i=1}^{N}[\Delta A_{i}(\omega)+\psi_{\Delta A_{i}}(\vec{\xi})]\prod_{l=1}^{i-1}A_{нl}(\omega)\prod_{l=i+1}^{N}A_{нl}(\omega);$$

$$\Delta\varphi_{\xi}(\omega)=\sum_{i=1}^{N}[\Delta\varphi_{i}(\omega)+\psi_{\Delta\varphi_{i}}(\vec{\xi})];$$

$$S^{\circ}_{\Delta\xi}(\omega)=\sum_{i=1}^{N-1}\prod_{l=i+1}^{N}A^{2}_{нl}(\omega)[S^{\circ}_{\Delta l}(\omega)+\psi_{S^{\circ}_{\Delta l}}(\vec{\xi})]+S^{\circ}_{\Delta N}(\omega)+\psi_{S^{\circ}_{\Delta N}}(\vec{\xi}).$$

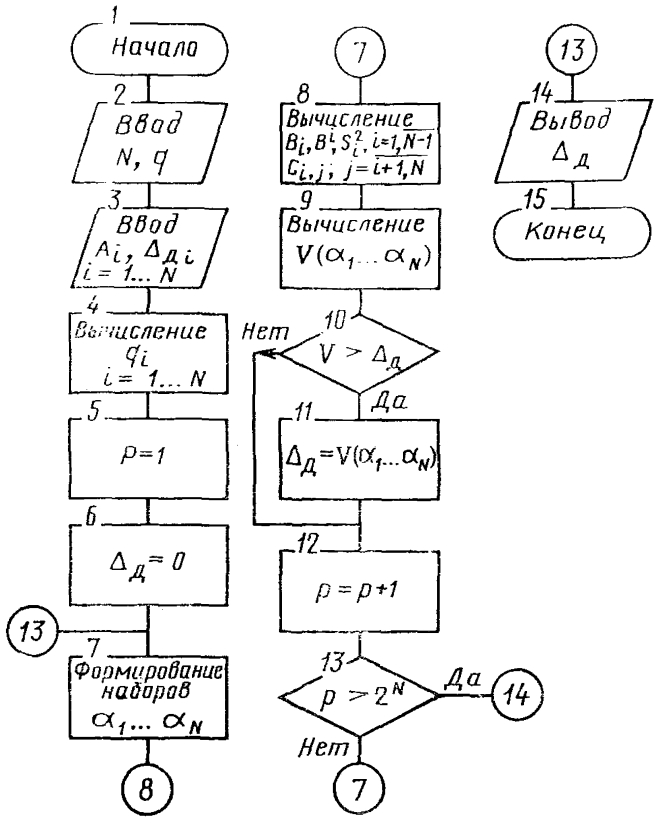
Используя данные приложения 2, п. 11, находят функции влияния $\psi_{\Delta A}(\vec{\xi})$, $\psi_{\Delta\varphi}(\vec{\xi})$, $\psi_{S^{\circ}_{\Delta}}(\vec{\xi})$:

$$\psi_{\Delta A}(\vec{\xi})=\Delta A_{\xi}(\omega)-\Delta A(\omega);$$

$$\psi_{\Delta\varphi}(\vec{\xi})=\Delta\varphi_{\xi}(\omega)-\Delta\varphi(\omega);$$

$$\psi_{S^{\circ}_{\Delta}}(\vec{\xi})=S^{\circ}_{\Delta\xi}(\omega)-S^{\circ}_{\Delta}(\omega).$$

Примечание к п. 7. Для наиболее сложного алгоритма расчета $\Delta_{д}$ приведена блок-схема. Программа составляется в зависимости от типа используемой ЭВМ.



ПРИЛОЖЕНИЕ 3

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СИ, СОСТАВЛЯЮЩИХ ИИС, И ИХ МХ

1. Идеальное требуемое преобразование входного сигнала по различным каналам компонентов происходит независимо.

Модель канала идеального СИ описывается линейным стационарным оператором:

$$y_и(t)=\int_0^t h_и(t-\tau)x(\tau)d\tau + a(t),$$

где $y_и(t)$ — идеальный выходной сигнал; $h_и(t-\tau)$ — идеальная весовая функция блока; $x(\tau)$ — входной сигнал.

Реальное преобразование (без учета взаимного влияния каналов) также описывается линейным стационарным оператором:

$$y_р(t)=\int_0^t h_р(t-\tau)x(\tau)d\tau + a_р(t),$$

где $y_р(t)$ — реальный сигнал на выходе блока; $h_р(t-\tau)$ — реальная весовая функция; $a_р(t)$ — стационарный случайный эргодический процесс, описывающий аддитивную составляющую выходного сигнала.

Погрешность преобразования $\varepsilon(t)=y_р(t)-y_и(t)$ является стационарным случайным эргодическим процессом.

В статическом режиме работы СИ модель канала упрощается:

$$y_и=Ax+a,$$
$$y_р=A_р x+a_р,$$

$A_p x$, x — постоянные числа, мультипликативная и аддитивная составляющие идеального преобразования соответственно. A_p, a_p — случайные величины, мультипликативная и аддитивная составляющие реального преобразования соответственно.

Погрешность преобразования $\varepsilon = y_p - y_и$ является случайной величиной.

В статическом режиме с учетом взаимного влияния каналов в блоке выходной сигнал блока

$$\vec{y_p} = A_p \vec{x} + \vec{a_p},$$

где $\vec{y_p}$ и $\vec{x}$ — векторы выходных и входных сигналов соответственно (размеры векторов $\vec{x}$ и $\vec{y_p}$ равны количеству каналов блока m); A_p — случайная матрица, элемент $A_{p,ij}$ соответствует преобразованию сигнала x_i на i-м входе в сигнал $y_{p,j}$ на j-м выходе; $\vec{a_p}$ — вектор аддитивных составляющих на выходе блока.

При использовании такой модели сигнал на j-м выходе блока

$$y_{p,j} = \sum_{i=1}^{m} A_{p,ij} x_i + a_{p,j}.$$

Погрешность преобразования по j-му каналу

$$\Delta_j = \sum_{i=1}^{m} A_{p,ij} x_i - A_j x_j + a_{p,j} - a_j,$$

где A_j — мультипликативная составляющая идеального оператора j-го канала компонента.

В дальнейшем считаем $A_{p,ij}$ и $A_{p,ts}$ некоррелированными случайными величинами, кроме случая совпадения индексов; $a_{p,i}$ и $a_{p,j}$ некоррелированы при $i \neq j$; $A_{p,ii}$ и $a_{p,i}$ — коррелированы.

2. Выбор математической модели компонентов, входящих в состав ИИС, определяет вид задания МХ этих СИ. Вид задания МХ должен позволить определить параметры модели. Используя модель приложения 3, п. 1, получаем выражения для МХ компонентов.

В статическом режиме для одноканального компонента Δ_c — систематическая составляющая погрешности — является линейной функцией входного сигнала:

$$\Delta_c = (\overline{A}_p - A)x + (\overline{a}_p - a),$$

где $\overline{A}_p - A$, $\overline{a}_p - a$ — математические ожидания мультипликативной и аддитивной составляющих погрешности соответственно; A, a — мультипликативная и аддитивная составляющие идеального оператора соответственно.

Дисперсия случайной составляющей погрешности $\sigma^2(\overset{\circ}{\Delta})$ — полином второй степени относительно входного сигнала

$$\sigma^2(\overset{\circ}{\Delta}) = \sigma^2_{A_p} x^2 + 2Rx + \sigma^2_{a_p},$$

где $\sigma^2_{A_p}$, $\sigma^2_{a_p}$ — дисперсии мультипликативной и аддитивной составляющих погрешности соответственно; R — коэффициент корреляции между ними.

Среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности $\sigma(\overset{\circ}{\Delta})$ компонента имеет вид:

$$\sigma(\overset{\circ}{\Delta}) = (\sigma^2_{A_p} x^2 + 2Rx + \sigma^2_{a_p})^{1/2}.$$

Предполагая наличие типового разброса параметров компонента, получим их типовые МХ:

$$M(\Delta_c) = M[(\overline{A}_p) - A]x + M[(\overline{a}_p) - a] = Bx + b;$$

$$\sigma^2(\Delta_c) = \sigma^2(A_p)x^2 + \sigma^2(\overline{a}_p) = G^2 x^2 + g^2.$$

Примечание. Последнее выражение получено в предположении о независимости $\overline{A}_p$ и $\overline{a}_p$.

$$\sigma(\Delta_c)=[\sigma^2(\overline{A}_p)x^2+\sigma^2(\overline{a}_p)]^{1/2}=(G^2x^2+g^2)$$

3. *Систематическая составляющая погрешности преобразования* по j-му каналу многоканального компонента выражается следующим образом:

$$\Delta_{cj}=\sum_{i=1}^{m}A_{p,ij}x_i-A_jx_j+(a_{p,j}-\overline{a}_j).$$

Математическое ожидание по типу

$$M(\Delta_{cj})=\sum_{i=1}^{m}M(\overline{A}_{p,ij})x_i-A_jx_j+M(\overline{a}_{p,j})-a_j.$$

Дисперсия Δ_{cj} равна

$$\sigma^2(\Delta_{cj})=\sum_{i=1}^{m}\sigma^2(\overline{A}_{p,ij})\ x_i^2+\sigma^2(\overline{a}_{p,j}).$$

Такой моделью может быть описано СИ со многими входами и одним выходом, при условии, что каналы компонента опрашиваются не одновременно.

Например, рассмотрим коммутатор с m входами.

Погрешность при опросе j-го канала выражается следующим образом через параметры коммутатора и входные сигналы каналов:

$$\Delta_j=-U_j\frac{r_{дj}+R_{прj}}{r_{дj}+R_{прj}+R_{эj}}+\left(1+\frac{r_{дj}+R_{прj}}{R_{эj}}\right)^{-1}\left[U_{oj}+(r_{дj}+\right.$$
$$\left.+R_{прj})\left(\sum_{i\neq j}^{m}\frac{U_i}{R_{обрi}+r_{дi}}\right)+\sum_{i\neq j}^{m}I_{oi}\frac{R_{обрi}}{r_{дi}+R_{обрi}}\right],$$

где U_j — входной сигнал j-го канала; $r_{дi}$ — выходное сопротивление датчика в i-м канале; $R_{прj}$ — сопротивление открытого ключа при прямом токе; $R_{обрj}$ — сопротивление разомкнутого ключа при обратном токе; U_{oj} — остаточное напряжение; I_{oi} — ток утечки закрытого канала; $R_{вх}$ — входное сопротивление следующего блока;

$$R_{эj}=\frac{1}{R_{вх}}+\sum_{i\neq j}^{m}\frac{1}{R_{обрi}+r_{дi}}.$$

Предполагая идеальное согласование блоков в ИИС, имеем $r_{дi}=0$; $R_{вх}=\infty$. Считаем, что $R_{прi}<<R_{обрi}$.

Тогда выражение для погрешности коммутатора принимает вид

$$\Delta_j=\overline{U}_j\sum_{i\neq j}^{m}\frac{R_{прj}}{R_{обрj}}+\sum_{i\neq j}^{m}\frac{R_{прj}}{R_{обрj}}U_i+U_{oj}+R_{прj}\sum_{i\neq j}^{m}I_{oi}.$$

Систематическая составляющая Δ_{cj} получается при усреднении характеристик компонента:

$$\Delta_{cj}=-\sum_{i\neq j}^{m}\left(\frac{\overline{R}_{прj}}{R_{обрi}}\right)U_j+\sum_{i\neq j}^{m}\left(\frac{\overline{R}_{прj}}{R_{обрi}}\right)U_i+U_{oj}+\overline{R}_{прj}\sum_{i\neq j}^{m}\overline{I}_{oi}.$$

С учетом типового разброса ИК вычисляем $M(\Delta_{cj})$, которое имеет вид, аналогичный описанному в приложении 2, п. 8.

$$M(\Delta_{cj})=\sum_{i=1}^{m}M[\overline{A}_{p,ij}]U_i-U_j+M[\overline{a}_{p,j}],$$

$$M[\overline{A}_{p,ii}]=1-\sum_{i\neq j}^{m}\left(\frac{R_{прi}}{R_{обрj}}\right);\qquad M[\overline{A}_{p,ij}]=\frac{\overline{R}_{прj}}{\overline{R}_{обрi}};$$

$$M[a_{p,j}]=\overline{U}_{oj}+\overline{R}_{прj}\sum_{i\neq j}^{m}\overline{I}_{oi}.$$

1. Расчет математического ожидания систематической составляющей погрешности $M\,[\Delta_c\,(x)]$.

В данном пункте приводится пример расчета $M[\Delta_c\,(x)]$ ИК устройства связи с объектом (УСО) управляющего вычислительного комплекса (УВК), построенного на базе процессора М-6000 АСВТ-М.

Структурная схема ИК УСО представлена на рис. 1, где *БН* — блок нормализации, осуществляющий преобразование сигнала от объекта в электрический сигнал; *УСНУ* — усилитель сигналов низкого уровня; *АЦП* — аналого-цифровой преобразователь; K_1, K_2 — ключи коммутаторов первой и второй ступени соответственно.



Рис. 1

Блок нормализации БН-12А входит в состав модуля нормализации А613-2 и предназначен для преобразования сигналов датчика (в данном случае величины изменения сопротивления термометра сопротивления) в унифицированный электрический сигнал постоянного напряжения 0—50 мВ. Входной диапазон БН-12А от 0 до 33 Ом. Номинальная статическая характеристика преобразования имеет вид

$$f_{н1}(x)=A_1x+a_1,$$

где $a_1=0$; $A_1=50/33=1{,}515$ мВ/Ом.

Усилитель сигналов низкого уровня А613-1 является групповым блоком для 16 каналов и предназначен для преобразования сигналов постоянного напряжения 0—50 мВ с выходов нормализаторов в сигнал постоянного напряжения высокого уровня 0—5 В. Номинальная статическая характеристика преобразователя усилителя имеет вид

$$f_{н2}(x)=A_2x+a_2,$$

где $a_2=0$; $A_2=5000$ мВ/50 мВ $=100$.

Аналого-цифровой преобразователь А611-4 предназначен для преобразования аналоговых сигналов, поступающих с выхода усилителя А613-1, в цифровой код. Номинальная статическая характеристика АЦП, В, имеет вид

$$x=2{,}44\cdot10^{-3}y,$$

где y — выходной код преобразователя.

Режим работы УСО статический,

Номинальные статические характеристики преобразования перечисленных блоков задают требуемое преобразование.

Ввиду того, что для компонентов УСО отсутствовали сведения о $M[\Delta_c\,(x)]$, были проведены экспериментальные работы по определению необходимых МХ данных компонентов. Оценка этих характеристик проводилась в соответствии с методикой РТМ 25.159—74.

Исследование характеристики погрешностей коммутаторов А612-5(К1) и А612-9(К2) показало, что погрешности, вносимые ключами *К1* и *К2*, пренебрежимо малы по сравнению с погрешностями остальных блоков. Поэтому для целей расчета ключи K_1 и K_2 можно считать идеальными коммутаторами и полагать для них $M[\Delta_c\,(x)]=0$.

Полученные характеристики, представленные в табл. 1, являются исходными данными для расчета $M[\Delta_c\,(x)]$ УСО по формулам приложения 2, п. 2.

Таблица 1

Номер компонента	Параметры			
	A, мВ/°С	a	B	b, В
1	1,515	0	0	$0{,}67\cdot10^{-5}$
2	100	0	−0,038	0
3	1	0	−0,00173	$2{,}25\cdot10^{-3}$

Вычислим по формулам приложения 2, п. 2:

$B^2=0{,}99877$ В; $B^1=99{,}962\cdot0{,}99877=99{,}83904$; $B^0=1{,}515\cdot99{,}962\cdot0{,}99877=151{,}2561$; $A^0=1{,}515\cdot100=151{,}5$; $b=2{,}25\cdot10^{-3}+0{,}67\cdot10^{-5}$; $B^1=(2{,}25+0{,}66)\cdot10^{-3}=2{,}91$ мВ.

Окончательно, подставляя в формулу $M[\Delta_c(x)]=(B^0-A^0)x+b-a$, имеем $M[\Delta_c(x)]=0{,}248+2{,}91$ мВ.

2. Расчет предела допускаемого значения погрешности $\Delta_д$

В данном пункте приводится пример расчета измерительного канала ИВК-7.

Структурная схема ИК представлена на рис. 2, где *У* — усилитель Ф799/4; *К* — коммутатор Ф799/2; *Д* — делитель напряжения; *АЦП* — аналого-цифровой преобразователь Ф4221.



Рис. 2

Компоненты измерительного канала входят в состав агрегатного комплекса средств электроизмерительной техники (АСЭТ).

Усилитель Ф799/4 предназначен для усиления от 0—10 мВ до уровня сигнала 0—10 В.

Номинальная статическая характеристика усилителя имеет вид

$$f_{н1}(x)=A_1x,$$

где $A_1=$ 10000 мВ/10 мВ $=1000$.

Коммутатор Ф799/1 коммутирует сигналы 0—10 В. Номинальная статическая характеристика преобразования имеет вид

$$f_{н2}(x)=A_2x,$$

где $A_2=1$.

Делитель предназначен для преобразования сигнала с выхода коммутатора 0—10 В до уровня 0—1 В.

Номинальная статическая характеристика преобразования делителя имеет вид

$$f_{н3}(x)=0{,}1x.$$

АЦП Ф4221. Принимаем номинальную характеристику преобразования АЦП

$$f_{н4}(x)=x,$$

так как погрешность ИК будет в дальнейшем приводить ко входу АЦП. Режим работы канала статический.

Кроме перечисленных характеристик, использовались характеристики погрешности, взятые из паспортов приборов.

Усилитель Ф799/4. Нормированная основная приведенная погрешность составляет 0,1 %. Тогда $\Delta_{д1}=0{,}1\cdot100^{-2}\cdot10000$ мВ $=10$ мВ.

Коммутатор Э799/2. Нормированная приведенная погрешность составляет 0,1 %. Тогда $\Delta_{д2} = 0{,}1 \cdot 100^{-2} \cdot 10000$ мВ $= 10$ мВ.

Делитель имеет погрешность намного меньше погрешностей остальных компонентов, поэтому считаем $\Delta_{д3} = 0$.

АЦП Ф4221. Нормированная основная приведенная погрешность составляет 0,2 ‰. $\Delta_{д4} = 0{,}2 \cdot 100^{-2} \cdot 1000$ мВ $= 2$ мВ.

Полученные характеристики, представленные в табл. 2, являются исходными данными для расчета.

Таблица 2

Номер компонента	Характеристика		
	A_i	$\Delta_{дi}$, мВ	Входной диапазон q, В
1	1000	10	$0 \ldots 10 \cdot 10^{-3}$
2	1	10	$0 \ldots 10$
3	1	0	$0 \ldots 10$
4	1	2	$0 \ldots 1$

Вычислим:

$$q_2 = 10 \text{ мВ} \cdot 1000 = 10000 \text{ мВ};\ q_3 = 10000 \text{ мВ};\ q_4 = 10000 \text{ мВ};$$

$$B_1 = 1000 + 2\alpha_1 10/10 = 1000 + 2\alpha_2;\ B_2 = 1 + 2\alpha_2 10/100000 = 1 + 2\alpha_2 10^{-4};$$

$$B_3 = 1;\ B_4 = 1 + 2\alpha_4 2/1000 = 1 + 4 \cdot 10^{-3}\alpha_4;\ B^4 = 1;$$

$$B^3 = 1 + 4 \cdot 10^{-3}\alpha_4;\ B^2 = B^3;\ B^1 = B^2(1 + 2\alpha_2 10^{-4});$$

$$B^0 = (1 + 4\alpha_2 10^{-3}) \cdot (1 + 2\alpha_4 10^{-4}) \cdot 1000 + 2\alpha_1);\ C_{12} = 1;\ C_{23} = 1;$$

$$C_{34} = 1;\ C_{13} = 1 + 2 \cdot 10^{-4}\alpha_2;\ C_{14} = 1 + 2\alpha_4 10^{-4};\ C_{24} = 1;\ S_4^2 = 1;$$

$$S_4^2 = (1 + 4\alpha_4 10^{-3})^2 + \frac{4(1-\alpha_4)^2 4}{10^6};\qquad S_2^2 = S_3^2;$$

$$S_1^2 = S_3^2(1 + 2\alpha_2 10^{-4})^2 + \frac{4(1-\alpha_4)^2 \cdot 10^2}{10^8}.$$

Учитывая, что $\alpha_i \ll 1$, в полученных выражениях пренебрегаем членами порядка 10^{-6}. В результате получим:

$$S_4^2 = 1;\ S_3^2 = (1 + 8\alpha_4 10^{-3});\qquad S_2^2 = (1 + 8\alpha_4 10^{-3});$$

$$S_1^2 = (1 + 4\alpha_2 10^{-4}) \cdot (1 + 8\alpha_4 10^{-3}) \cdot (1 + 4\alpha_2 10^{-4} + 8\alpha_4 10^{-3}).$$

Составим функцию

$$V(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4) = 10\alpha_1(1 + 2\alpha_2 10^{-4})(1 + 4\alpha_4 10^{-3}) + 10\alpha_2(1 + 4\alpha_4 10^{-3}) +$$

$$+ 2\alpha_4 + \gamma 10^2 \frac{(1-\alpha_1)^2}{\gamma}(1 + 4\alpha_2 10^{-4} + 8\alpha_4 10^{-3}) + \alpha_1^2\, 100^2(0) +$$

$$+ \frac{100(1-\alpha_4)^2}{\gamma}(1 + 8\alpha_4 10^{-3}) + \frac{4(1-\alpha_4)^2}{\gamma} + 2\ 10\alpha_1(1 + 8\alpha_4 10^{-3}) \times$$

$$\times 10\alpha_2 \frac{(1-\alpha_2)^2 \cdot 100}{10000} + 2\alpha_4(1 + 2\alpha_2 10^{-4}) \times \frac{(1-\alpha_4)^2 \cdot 4}{1000} + 10\alpha_2\left(2\alpha_4 \frac{(1-\alpha_4)^2 \cdot 4}{1000}\right.$$

Вычисляя $V(\alpha_1, \ldots, \alpha_4)$ для всевозможных комбинаций $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ и сравнивая их, находим $\max V(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4) = 4{,}01$ мВ, при этом $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_4 = 1$.

Типовые структуры информационно-измерительных систем

Тип	Количество каналов	Подсистемы: первичного преобразования (I)	промежуточного преобразования (II)	обработки (III)	управления (IV)	информации (V)
I	Одноканальные	ДУА — 1 — 12 — ЛС — 6.1 — ПАЛ — 6.3 — АЦП		9.1; 7.2; 8.1	Интерфейс — 13	10.1; 10.2; АСУ; 10.3
II		ДУД — 2 — 12 — ЛС — 6.2 — ПАД — 6.3 — АЦП				
III		ДУЦ — 3				
IV	Многоканальные	ДНУА — 4.1 — 12 — ЛС — 7.1 — КА — 5.1 — НПА — 6.1 — ПАЛ — 6.3 — АЦП				
V		ДНУД — 4.2 — 12 — ЛС — 7.2 — КД — 5.2 — НПД — 6.2 — ПАД — 6.3 — АЦП				
VI		ДНУЦ — 4.3 — 12 — ЛС — 5.3 — НПЦ				

Структурные единицы (компоненты) ИИС

1. Датчик с унифицированным выходным сигналом напряжения или тока (аналоговый).
2. Датчик с унифицированным аналоговым сигналом в виде периода (частоты) следования импульсов или интервала времени между двумя импульсами.
3. Датчик с унифицированным цифровым сигналом (двоичный код, двоично-десятичный код с весами 8—4—2—1, алфавитно-цифровой код).
4. Датчик с неунифицированным выходным сигналом, преобразующий измерительную характеристику или величину в сигнал произвольного вида (напряжение, ток — мгновенный или эффективный, частота, фаза, сопротивление, емкость, индуктивность, собственная частота колебательного контура):
4.1. Аналоговый непрерывный.
4.2. Аналоговый дискретный.
4.3. Цифровой.
5. Нормализующий преобразователь (преобразующий входной сигнал в унифицированный сигнал):
5.1. Преобразователь аналоговый напряжения, тока.
5.2. Преобразователь аналоговый импульсный.
5.3. Преобразователь с цифровым выходным сигналом.
6. Преобразователь унифицированных сигналов.
6.1. Аналогового непрерывного в аналоговый непрерывный.
6.2. Аналогового непрерывного в аналоговый дискретный и обратно.
6.3. Аналогоцифровой:
напряжения, тока в код;
периода, частоты, интервала, времени в код.
7. Коммутатор:
7.1. Аналоговых сигналов.
7.2. Импульсных сигналов.
7.3. Цифровых сигналов.
8. Спецвычислитель (мини-ЭВМ).
9. Память (микропроцессор):
9.1. Буферная.
9.2. Накопитель данных.
10. Средство отражения данных:
10.1. Визуального.
10.2. Документального.
10.3. Накопления.
11. Формирователь потока данных (для отбора данных от всех источников информации и формирование выходного потока с целью выдачи требуемой последовательности команд для управления источником информации).
12. Линия связи.
12.1. Проводная.
12.2. Радиосвязь.
13. Средство согласования сечений (интерфейс) и контролер.

Группы компонентов

По признаку единообразия описания свойств АС
1. Компоненты 1; 4.5; 5.1; 6.1 с непрерывными аналоговыми сигналами на входах и выходах.
2. Компоненты 7.1; 7.2, осуществляющие коммутацию непрерывных аналоговых сигналов.
3. Компоненты 2; 4.2, 5.2; 6.2 с аналоговыми сигналами на входе и выходе, один из которых или оба дискретные.
4. Компоненты 3; 4.3, 5.3, 6.3, а также цифровые измерительные приборы, осуществляющие аналого-цифровое преобразование.
5. Компоненты 7.4; 8, 9, 11; 12, 13, 14 с цифровыми сигналами на входе и выходе.

6. Компонент 10, осуществляющий визуальное и документальное отображение накопления цифровых данных.

Группы компонентов по признаку преобразования измерительной информации

№ п/п	Вид преобразования измерительной информации	Компонента	Подсистема ИИС
1	Аналоговое преобразование	1; 4.1; 5.1; 6.1	I, II
2	Аналого-дискретное преобразование	2; 4.2; 5.2; 6.2	I, II
3	Аналого-цифровое преобразование	3; 4.3; 5.3; 6.3	I, II
4	Коммутация аналоговых сигналов	7.1	II
5	Цифровое преобразование	7.3; 8; 9; 11—14	III, IV
6	Представление информации	10.1; 10.2;10.3	V

МЕТОДИКА

расчета метрологических характеристик измерительных каналов информационно-измерительных систем по метрологическим характеристикам компонентов

МИ 222—80

Редактор *Т. Ф. Писарева*
Технический редактор *О. Н. Никитина*
Корректор *В. С. Черная*
Н/К

Сдано в наб. 04.03.81 Подп. к печ. 18.09.81 Т-22267 Формат 60×90 1/16 Бумага типографская № 2 Гарнитура литературная Печать высокая 1,5 п. л. 1,64 уч.-изд. л. Тираж 3000 Изд. № 6830/4 Зак. 646 Цена 10 коп.

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123557, Москва, Новопресненский пер., 3
Калужская типография стандартов, ул. Московская, 256. Зак. 646.

gost.e-ecolog.ru