РЕКОМЕНДАЦИЯ

Государственная система обеспечения единства измерений

Анализаторы статистических характеристик. Нормируемые метрологические характеристики и методы их определения

МИ 2023-89

Госстандарт СССР
Москва

gost.e-ecolog.ru

УТВЕРЖДАЮ
Зам.генерального директора
НПО "ВНИИМ им. Д. И. Менделеева"
В. А. Щеглов
27 ноября 1989 г.

РЕКОМЕНДАЦИЯ

Государственная система обеспечения единства измерений

Анализаторы статистических характеристик. Нормируемые метрологические характеристики и методы их определения

МИ 2023-89

Госстандарт СССР
Москва

Группа Т80

Р Е К О М Е Н Д А Ц И Я

ГСИ. Анализаторы статистических характеристик.
Нормируемые метрологические характеристики и методы их определения

МИ 2023-89

Дата введения

ОКСТУ 0008

Настоящая рекомендация распространяется на нормативно-техническую документацию (НТД), регламентирующую метрологические характеристики (МХ) средств анализа случайного сигнала, выполняемых в виде измерительно-вычислительных комплексов (приложение I), порядок их определения, а также требования к характеристикам испытательных сигналов. Пояснения отдельных терминов, используемых в настоящей рекомендации, приведены в приложении 2.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Измерительно-вычислительные комплексы для анализа случайных сигналов (далее ИВК) относятся к средствам измерений (СИ) с преобладающей случайной составляющей погрешности.

I.2. Выбор номенклатуры нормируемых МХ зависит от назначения ИВК*.

I.3. Выбор испытательного сигнала при определении погрешности ИВК зависит от:

назначения ИВК;

метода определения погрешности ИВК.

I.4. Выбор метода определения погрешности ИВК зависит от:

структурной схемы ИВК;

диапазона частот анализируемых сигналов;

наличия источников (стандартных или нестандартных) испытательных сигналов в заданном диапазоне частот.

I.5. При реализации методов определения погрешности ИВК используют следующие источники или набор источников испытательных

---

* См. ГОСТ 26.203-81, п.2.2.

сигналов:

случайных или близких* к ним сигналов с нормируемыми статистическими характеристиками (СХ);

стандартных сигналов, например гармонического; прямоугольного импульса; постоянного напряжения; импульса, описываемого функцией, близкой к дельта-функции; "белого" или "розового" шума;

случайного или близкого к нему сигнала с нормируемыми СХ и гармонического сигнала.

2. НОРМИРУЕМЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

2.1. Для ИВК нормируют следующие ИХ:

2.1.1. Диапазон изменения значений анализируемого сигнала - от минус γ до + γ [В] с указанием динамического диапазона в децибеллах.

2.1.2. Диапазон изменения частот анализируемого сигнала от $f_н$ до $f_в$ [Гц; кГц].

Примечание: Характеристики по п.п. 2.1.1, 2.1.2 определяют модель анализируемого ИВК сигнала. В диапазоне частот, указанном в п. 2.1.2, должно находиться не менее 95% мощности переменных составляющих анализируемого сигнала.

2.1.3. Входное сопротивление - в килоомах;
входная емкость - в пикофарадах - для ИВК, работающих в диапазоне частот более 100 кГц.

2.1.4. Характеристики погрешности.

2.1.4.1. Плотность распределения (ПР) погрешности - $W(\Delta)$.

2.1.4.2. Предел допускаемой систематической составляющей погрешности - Δ_{SP} .

2.1.4.3. Предел допускаемого среднего квадратического отклонения (СКО) случайной составляющей погрешности - σ_P .

2.1.4.4. Предел допускаемой погрешности - Δ_P .

---

* Сигнал, близкий к случайному, или псевдослучайный сигнал по виду и статистическим характеристикам похож на случайный сигнал. Отличие от случайного сигнала - детерминированная периодическая или непериодическая структура.

Примечания: 1. За пределы изменения характеристик погрешности ИВК принимают оценки этих характеристик, найденные с доверительной вероятностью не менее 0,95.

2. Нормирование характеристики по п. 2.1.4.1 позволяет:
а) оценить характеристики погрешности по п.п. 2.1.4.2 - 2.1.4.4;
б) наиболее полно описать погрешность ИВК;
в) выбрать минимальное соотношение погрешностей испытуемого и образцового СИ при разработке метода поверки ИВК.

3. Варианты нормирования характеристик погрешности ИВК приведены в приложении 6.

2.1.5. Характеристики временной погрешности ИВК, содержащих аппаратуру точной магнитной записи-воспроизведения (АМЗ): средняя частота спектра колебаний времени запаздывания - $\bar{f}_3$; разность времени запаздывания сигналов в каналах (за счет перекоса) - Δt_n.

2.1.6. Дополнительные погрешности нормируют для каждой влияющей величины или для их совокупности в соответствии с требованиями ТЗ.

2.1.7. Характеристики погрешности по п.п. 2.1.4, 2.1.6 нормируют для каждого вида СХ и параметра формы сигнала, которые определяются ИВК.

2.1.8. Все характеристики погрешности представляются приведенными погрешностями с указанием нормирующего значения, в качестве которого принимают половину диапазона изменения анализируемого сигнала или наибольшее значение СХ испытательного сигнала.

2.1.9. При нормировании характеристик погрешности ИВК указывают параметры его режима работы, задаваемые в НТД в виде:

диапазона изменения объема выборки;

диапазона изменения интервала дискретизации;

числа определяемых ординат СХ.

Для ИВК, обеспечивающих адаптивный выбор параметров режима работы эти параметры не указываются.

3. ТРЕБОВАНИЯ К ХАРАКТЕРИСТИКАМ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СИГНАЛА

3.1. Характеристики испытательного сигнала должны соответствовать нормируемой модели анализируемого ИВК сигнала и иметь:

диапазон изменения мгновенных значений не более чинус $V \div +V[B]$;

диапазон изменения частот не более $f_н - f_в\ [Гц; кГц]$, определяемый по "энергетическому" критерию на уровне

не более 0,05.

3.2. Погрешность формирования ординат СХ испытательного сигнала может находиться в пределах ± 30%.

3.3. Характеристики погрешности воспроизведения ординат СХ должны в "к" раз отличаться от соответствующих характеристик погрешности ИВК, причем к>3, если методы оценивания погрешности ИВК предусматривают определение ординат СХ испытательного сигнала до и после прохождения ИВК в разное время (т.е. погрешность воспроизведения ординат СХ испытательного сигнала входит в погрешность ИВК), к< I, если это оценивание производится одновременно (т.е. погрешность воспроизведения ординат СХ испытательного сигнала не входит в погрешность ИВК),

$к = \frac{\Delta_{ИВК}}{\Delta_{меры}}$ ($\Delta_{ИВК}$, $\Delta_{меры}$ - из свидетельств).

3.4. Выбор формы СХ испытательного сигнала зависит от назначения ИВК.

3.4.1. Если область использования испытуемого ИВК неизвестна, то выбирают сигнал с такими формами СХ (в основной корреляционной функции и одномерного закона распределения мгновенных значений), при определении которых испытуемым ИВК появляются наибольшие погрешности этого СИ. В этом случае говорят о "худшем для данного ИВК сигнале". Рекомендации по отысканию сигнала с такими СХ приведены в приложении 3.

3.4.2. Если испытуемый ИВК используют для анализа сигналов с известными формами СХ, то берут сигнал с такими формами СХ. В этом случае говорят о "рабочем сигнале данного ИВК".

3.4.3. Если область использования ИВК ограничивают анализом сигналов с определенными формами СХ, то берут сигналы с этими формами СХ и говорят о "типовом" сигнале. Формы СХ таких сигналов, наиболее часто применяемых на практике, приведены в приложении 3.

3.5. При использовании в качестве испытательного сигнала стандартного сигнала его характеристики должны соответствовать требованиям того пункта методики поверки ИВК, при выполнении которого используется этот сигнал.

4. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

4.1. При определении характеристик погрешности ИВК возможны следующие методы (особенности реализации которых описаны в приложении 4).

4.1.1 Экспериментальный метод, состоящий в комплектном оценивании погрешности ИВК по сигналу, вид и характеристики которого соответствуют требованиям к испытательному сигналу данного ИВК.

4.1.2. Экспериментальный метод, состоящий в комплектном оценивании погрешности ИВК по сигналу в виде смеси гармонических сигналов в нормируемом диапазоне частот.

4.1.3. Экспериментально-расчетный метод, состоящий в поэлементном оценивании погрешностей блоков ИВК с помощью испытательных стандартных сигналов, и вычислении погрешности ИВК как функционала найденных погрешностей его блоков.

4.1.4. Экспериментально-расчетный метод, состоящий в комплектном оценивании погрешности широкополосного ИВК по случайному и гармоническому сигналам в диапазоне частот случайного сигнала, вычислении коэффициента погрешности $K_{\text{погр.}}$, оценивании погрешности ИВК в остальных диапазонах частот по гармоническому сигналу и пересчете полученной в этих диапазонах частот погрешности в погрешность по случайному сигналу с помощью $K_{\text{погр.}}$ (см. приложение 4).

4.1.5. Экспериментально-расчетный метод, состоящий в комплектном оценивании погрешности ИВК с использованием генератора шума, предварительно аттестованного с целью нормирования требуемой для испытательного сигнала ИВК номенклатуры МХ, и выполнении далее процедур методов по п.п. 4.1.4 или 4.1.1.

4.1.6. Экспериментально-расчетный метод, использующий поэлементно-комплектное оценивание погрешности, состоящий в экспериментальном оценивании статических составляющих погрешностей блоков ИВК, имитационном моделировании ИВК и его испытательного сигнала с введением в модели блоков ИВК экспериментально полученных погрешностей, оценивании погрешности таким образом представленного ИВК на ЭВМ.

4.1.7. Расчетно-экспериментальный метод, состоящий в комплектном оценивании на ЭВМ погрешности модели ИВК по гармоническому и случайному сигналам, вычислении $K_{\text{погр.}}$, экспериментальном комплектном оценивании погрешности ИВК по гармоническому сигналу и пересчете полученных оценок в погрешности по случайному сигналу с помощью $K_{\text{погр.}}$.

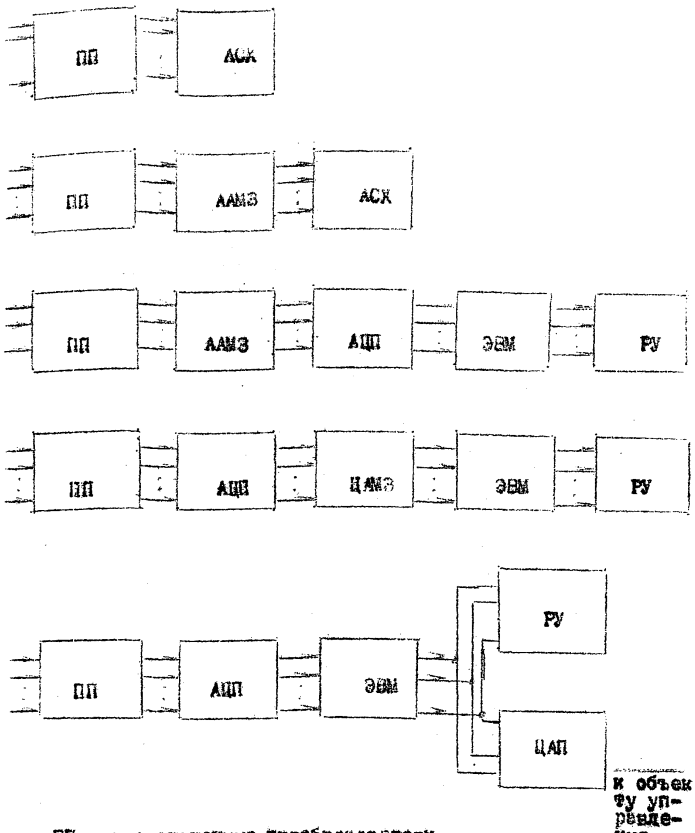
4.2. Объем выборки, интервал дискретизации и число определяемых ординат СХ испытательного сигнала зависят от вида метрологического обслуживания ИВК. В приложении 5 приведены формулы для расчета объема выборки при аттестации, периодической поверке и экспресс-контроле ИВК.

Примечания: 1. Генераторы шума аттестованные как образцовые при метрологическом обслуживании ИВК с помощью ЭВМ по программам, аналогичным программам аттестации специализированных генераторов испытательных случайных сигналов.

2. Алгоритмы вычисления ординат СХ испытательного сигнала, применяемые в средствах поверки ИВК, приведены в приложении 7.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Справочное

Структурные схемы ИВК



ПП - промежуточные преобразователи
АСХ - анализатор СХ
ААМЗ-аналоговая аппаратура точной магнитной записи
ЦАМЗ-цифровая аппаратура точной магнитной записи
РУ - регистрирующие устройства

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Справочное

ТЕРМИНЫ И ПОЯСНЕНИЯ

Термин	Пояснение
ИВК для анализа случайных сигналов	ИВК, предназначенные для определения СХ и параметров формы случайного сигнала. Анализируемый сигнал может быть представлен случайным образом изменяющимся напряжением или временным интервалом, или частотой
Параметр формы случайного сигнала	Интересующее значение анализируемого ИВК сигнала, выбранное по какому-либо признаку. Например: пиковые значения на интервале анализа; значения в выбранные моменты отсчета; последовательность значений, взятых с определенным интервалом внутри интервала анализа.
Адаптивный выбор параметров работы ИВК	Автоматический выбор объема выборки, интервала дискретизации и масштаба преобразований при обработке анализируемого ИВК сигнала.
Нормируемая модель анализируемого ИВК сигнала	Совокупность ограничений, оговариваемых в ТУ ИВК, на характеристики анализируемого сигнала.
Экспресс-контроль ИВК	Краткая по времени (I с ÷ I м) проверка того, что погрешность ИВК находится в заданных пределах, исключающая необходимость в проверке работоспособности, исправности и правильности работы этого ИВК
Временная погрешность ИВК, содержащего АМЗ	Случайная величина, значения которой представляют собой интервалы времени, получаемые как разность между соседними временами запаздывания (время запаз-

Термин	Пояснение
	дывания - разность между синхронными отсчетами сигнала известной частоты, записанного на АМЗ и взятого от стандартного источника). Характеризуется средней частотой спектра времени запаздывания и временным интервалом перекоса между дорожками записи - воспроизведения в АМЗ.
Погрешность формирования СХ испытательного сигнала	Разность между значением ординаты СХ, найденным при аттестации источника испытательного сигнала, и расчетным.
Погрешность воспроизведения СХ испытательного сигнала	Разность между оценкой ординаты СХ испытательного сигнала, полученной при обработке одной из "n" реализаций этого сигнала, и оценкой математического ожидания этой ординаты, полученной по "n" реализациям.
Энергетический критерий	Признак, используемый для определения полосы частот случайного сигнала, состоящий в том, что искомая полоса частот находится из решения уравнения вида: $\int_{2\pi f_н}^{2\pi f_в} G(2\pi f)df \geq 0{,}95 \int_{0}^{\infty} G(2\pi f)df$
Метрологическое обслуживание ИВК	Аттестация, периодическая поверка и экспресс-контроль ИВК (в соответствии с ГОСТ 26.203-81, п. 3.7.3)

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
Рекомендуемое

ВЫБОР СХ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СИГНАЛА

СХ "типового сигнала"

Под "типовым" случайным сигналом понимают сигнал, СХ которого наиболее часто используют в качестве аппроксимирующих зависимостей при обработке экспериментально найденных оценок ординат СХ.

При аппроксимации гистограмм закона распределения мгновенных значений анализируемого сигнала часто используют гауссовское распределение.

При аппроксимации оценок ординат частотно-временных СХ часто используют зависимости, приведенные в таблице.

Корреляционная функция	Спектральная плотность мощности
$R(\tau)=\sigma^2 e^{-\alpha\lvert\tau\rvert}$	$G(\omega)=4\sigma^2\frac{\alpha}{\alpha^2+\omega^2}$
$R(\tau)=\sigma^2 e^{-\alpha\lvert\tau\rvert}\cos\omega_0\tau$	$G(\omega)=\frac{4\sigma^2}{\alpha}\frac{\alpha^2+\omega_0^2+\omega^2}{[\alpha^2+(\omega+\omega_0)^2][\alpha^2+(\omega-\omega_0)^2]}$
$R(\tau)=\sigma^2 e^{-\alpha\lvert\tau\rvert}\left(\cos\omega_0\tau+\frac{\alpha}{\omega_0}\sin\omega_0\lvert\tau\rvert\right)$	$G(\omega)=\frac{8\sigma^2}{\alpha}\frac{\alpha^2+\omega_0^2}{[\alpha^2+(\omega+\omega_0)^2][\alpha^2+(\omega-\omega_0)^2]}$
$R(\tau)=\sigma^2\frac{\sin\alpha\tau}{\alpha\tau}$	$G(\omega)=\begin{cases}\frac{2\pi\sigma^2}{\alpha} & \text{при } \frac{\omega}{\alpha}\le 1\\ 0 & \text{при } \frac{\omega}{\alpha}>1\end{cases}$, $\omega\ge 0$

Примечание: $\sigma^2=\left(\frac{U}{3}\right)^2$; α – коэффициент затухания;

$\omega=2\pi f$; $\omega_0=2\pi f_0$;

f_0 – средняя частота спектра случайного сигнала.

Порядок выбора "худшего для данного ИВК сигнала"

1. Путем анализа структурной схемы испытуемого ИВК определить блоки, погрешность которых зависит от СХ входного сигнала.

2. Оценить "вес" погрешностей найденных блоков в погрешности ИВК. Если этот "вес" не превышает, например 0,1 от ожидаемой погрешности ИВК, то колебаниями погрешности блока при изменении СХ входного сигнала можно пренебречь и считать, что данный блок индифферентен к форме СХ анализируемого ИВК сигнала.

3. Для тех блоков ИВК, погрешностью которых пренебречь нельзя, надо найти зависимости их погрешностей от СХ входного сигнала. В большинстве случаев найти аналитическое описание этих зависимостей сложно. Практически, такие зависимости могут быть найдены для режимов определения ИВК корреляционной функции и одномерной плотности распределения мгновенных значений анализируемого сигнала в виде цепи логических доказательств, опирающихся на конкретную аппаратурную реализацию блоков этого ИВК.

При выборе СХ испытательного сигнала для ИВК точнее говорить о "ближних к худшему для данного ИВК сигналу", т.к.:

испытательный сигнал выбирают среди "худших" для его блоков;

чтобы произвести выбор, приходится вводить некоторые допущения;

сигнал с найденными СХ формируется в источнике испытательного сигнала с определенной погрешностью.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
Справочное

Особенности реализации методов, перечисленных в разделе 4

Методы определения погрешности ИВК ориентированы на характеристики существующих стандартных и нестандартных средств измерений и средств вычислений. Ниже анализируются возможности этих методов с точки зрения удовлетворения требованиям к испытательным сигналам, удобству использования, сложности обоснования положений и обеспечения необходимыми образцовыми средствами измерений. Каждый метод рассматривается по следующей схеме:

1. достоинства;
2. недостатки.

Экспериментальный метод по п. 4.1.1

1. Обеспечивает:

выбор требуемых СХ испытательного сигнала для всех режимов работы ИВК;

допускаемые погрешности воспроизведения СХ испытательного сигнала;

минимальное время и простоту процедур всех видов метрологического обслуживания.

2. Требует:

оснащения территориальных органов Госстандарта СССР и крупных потребителей ИВК поверочными установками, укомплектованными специальными источниками испытательных сигналов, или

промышленного выпуска специальных источников испытательных сигналов, или

промышленного выпуска отдельных унифицированных плат функциональных узлов специального источника испытательных сигналов для создания встроенного контроля в ИВК.

Экспериментальный метод по п. 4.1.2

1. Обеспечивает:

допускаемые погрешности воспроизведения СХ стандартного сложного сигнала;

все виды метрологического обслуживания ИВК источниками стандартных испытательных сигналов.

2. Требует:

доказательства возможности использования для определения погрешности ИВК сигнала с имеющимися нерегулируемыми СХ;

разработки специальной методики выставления и поддержания характеристик сложного сигнала.

Экспериментально-расчетный метод по п. 4.I.3

I. Обеспечивает:

выбор СХ испытательного сигнала для некоторых блоков ИВК (удовлетворяющихся характеристиками стандартных сигналов;

допускаемые погрешности воспроизведения СХ испытательных сигналов для некоторых блоков ИВК;

все виды метрологического обслуживания отдельных блоков ИВК источниками испытательных сигналов.

2. Требует:

оценивания "весов" погрешностей блоков и погрешности ИВК;

нахождения аналитических оценок погрешностей отдельных блоков;

доказательства возможности использования стандартного сигнала при определении погрешностей блоков СИ, работающего со случайным сигналом.

Экспериментально-расчетный метод по п. 4.I.4

I. Обеспечивает:

выбор СХ испытательного сигнала;

простые процедуры периодической поверки и экспресс-контроля, не требующие специальных источников испытательных сигналов.

2. Требует:

доказательства возможности транспонировать числовое значение $\delta_{погр}$, полученное в одном диапазоне частот, в другие диапазоны частот;

оснащения процедуры аттестации ИВК источником случайного или близкого к нему сигнала с нормируемой номенклатурой требуемых СХ выходного сигнала.

Экспериментальный-расчетный метод по п. 4.I.5

I. Обеспечивает:

допускаемые погрешности воспроизведения СХ гармонического и случайного сигнала для некоторых типов ИВК;

все виды метрологического обслуживания ИВК источниками испытательного сигнала;

простые процедуры периодической поверки.

2. Требует:

аналогично методу по п. 4.1.4 доказательства корректности использования $K_{погр}$;

доказательства достаточности определения погрешности ИВК по случайному сигналу с имеющейся номенклатурой СХ;

разработку методик и проведения аттестации источников шума.

Экспериментально-расчетный метод по п. 4.1.6

1. Обеспечивает:

допускаемую погрешность воспроизведения СХ испытательного сигнала;

выбор СХ испытательного сигнала;

возможность отражать периодическую поверку ИВК проверкой "в статике" МХ его измерительных блоков;

все виды метрологического обслуживания ИВК источниками испытательных сигналов;

простые процедуры периодической поверки.

2. Требует:

решения задачи имитационного моделирования ИВК и его испытательного сигнала с доказательством корректности принятых моделей;

проведение аттестации отдельных блоков ИВК по специальным или типовым методикам.

Расчетно-экспериментальный метод по п. 4.1.7

1. Обеспечивает:

допускаемую погрешность воспроизведения СХ испытательного сигнала;

выбор СХ испытательного сигнала;

все виды метрологического обслуживания ИВК источниками испытательных сигналов.

2. Требует:

решения задачи имитационного моделирования ИВК и его испытательных сигналов во всех режимах работы с доказательством корректности принятых моделей;

знания статических погрешностей и динамических характеристик всех входящих в ИВК блоков.

Коэффициент погрешности $K_{погр}$ вычисляется следующим образом:

$$K_{погр(\cdot)} = \Delta_{случ(\cdot)} - \Delta_{гарм(\cdot)},$$

$$\Delta_{(\cdot)} = O_{(\cdot)\,испыт\,н} - O_{(\cdot)\,образц\,н},$$

$$O_{(\cdot)\,н} = \frac{O_{(\cdot)}}{O_{(\cdot)\,норм\,зн}}$$

где

$\Delta_{случ\ (\cdot)}$; $\Delta_{гарм\ (\cdot)}$ – погрешности измерения ординат определенного вида СХ, полученные при имитационном моделировании ИВК, случайного и гармонического сигналов, при подаче на вход ИВК случайного и гармонического сигналов соответственно при одинаковых параметрах измерения;

$O_{(\cdot)\,испыт\,н}$; $O_{(\cdot)\,образц\,н}$ – нормированные ординаты СХ (определенного вида), полученные на модели испытуемого ИВК и модели образцового ИВК соответственно при подаче на их входы случайного или гармонического сигналов при одинаковых параметрах измерения;

$O_{(\cdot)\,норм\,зн}$ – нормирующее значение для измеренных ординат определенного вида СХ.

Коэффициент $K_{погр}$ может быть представлен или зависимостью от аргумента определяемой СХ, или наибольшим значением, или средним арифметическим, или оценкой вида $K_{погр} + S_{K_{погр}}$. Способ задания зависит от допускаемой погрешности определения погрешности ИВК и нормируемых характеристик его погрешности. Найденный $K_{погр}$ вносится в методики метрологического обслуживания ИВК. При экспериментальном определении погрешности ИВК "на гармоническом сигнале" оценки погрешности ИВК "на случайном сигнале" вычисляются по формуле

$$\Delta_{\text{экспер}}^{\text{случ}(\cdot)} = K_{\text{погр}(\cdot)} + \Delta_{\text{экспер}}^{\text{гарм}(\cdot)},$$

Для того, чтобы $K_{\text{погр}}$, найденное при имитационном моделировании, можно было использовать для экспериментального определения погрешности ИВК, режимы работы этого ИВК должны полностью соответствовать тем, при которых получены числовые значения $K_{\text{погр}}$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
Справочное

Вычисление объема выборки при обработке данных разных видов метрологического обслуживания ИВК

Мгновенную погрешность ИВК определяют по формуле

$$\Delta_i = O_i - O_{ig}, \qquad (1)$$

где:

O_i, O_{ig} – измеренное и действительное значения i-й ординаты испытательного сигнала соответственно.

Аттестация ИВК

В зависимости от того, какой объем выборки может быть обработан средством поверки, определяют гистограмму ПР погрешности ИВК – $W(\Delta)$, или оценки моментов этой ПР – $\tilde{m}_\Delta$ и S^2_Δ. По выборке объема, необходимого для определения этих характеристик, находят все остальные МХ ИВК.

При построении гистограммы ПР погрешности ИВК объем выборки находят по формуле

$$n = \frac{\lambda^2 \cdot 2{,}6}{\gamma_{инт\,W(\Delta)} \cdot \gamma^2_{W(\Delta)}}, \qquad (2)$$

где:

$\gamma_{W(\Delta)}$ – приведенное значение допускаемого разброса ординат гистограммы погрешности ИВК;

λ – аргумент функции распределения Колмогорова, характеризующей доверительную вероятность, с которой получена $\gamma_{W(\Delta)}$. В таблице приведены значения χ, дающие часто встречающиеся значения доверительной вероятности;

$\gamma_{инт\,W(\Delta)}$ – приведенная допускаемая погрешность кусочно-линейной интерполяции ординат гистограммы ПР погрешности ИВК.

Формула (2) справедлива при отборе независимых отсчетов мгновенной погрешности ИВК; при ограничении классов ожидаемых ПР погрешности ИВК от гауссовской до равномерной; при выборе "n" как среднего среди вычисленных для граничных ПР.

Первый начальный и второй центральный моменты ПР погрешности ИВК, найденные по объему выборки, вычисленному по формуле (2) практически действительные значения систематической составляющей погрешности ИВК Δ_{sp} и дисперсии ее случайной составляющей σ_p^2.

Полагая ожидаемую ПР погрешности ИВК, близкой к граничным ПР, объемы выборки находят из формул

$$n = \frac{\lambda^2}{\int_{W(\Delta)}^{2}} m^2 \quad \text{- при равномерной ПР погрешности ИВК} \qquad (3)$$

$$n = \frac{\lambda^2}{\int_{W(\Delta)}^{2}} \cdot \frac{m^2}{2,4^2} \quad \text{- при гауссовской ПР погрешности ИВК,}$$

где

m - число ординат гистограммы ПР погрешности ИВК.

λ	$P(\lambda)$
I,22	0,90
I,36	0,95
I,63	0,99

Примечание: функция $P(\lambda)$ табулирована в "Таблицах математической статистики" Большова Л.Н., Смирнова Н.В., М. Наука, 1965, таблица 6.I с. 405.

Если объем выборки, обрабатываемый средством поверки, не может превышать десятки тысяч отсчетов, определяют моменты ПР погрешности ИВК.

При очень малом объеме выборки, например при $n = 1000$, для характеристики разброса и смещения погрешности ИВК можно использовать медианные оценки

$$S_0 = med\,(y_i) / 0,67 \qquad (4)$$

$$m_0 = med\,(\Delta_i) = \begin{cases} (\Delta_k + \Delta_{k+1})/2 & при\ n = 2k \\ \Delta_{k+1} & при\ n = 2k+1 \end{cases},$$

где:

$\Delta_1 \le \Delta_2 \le \dots \Delta_k \dots \Delta_n$ - упорядоченная выборка отсчетов мгновенной погрешности ИИК;

Границы доверительного интервала для медианы равны членам упорядоченной выборки, порядковые номера которых находятся как:

$(n - \sqrt{n}\cdot Z_P)/2$ - для нижней границы,

$(n + \sqrt{n}\cdot Z_P)/2$ - для верхней границы,

где:

Z_P - квантиль нормального распределения с $m = 0$ и $\sigma = 1$ на уровне P .

При больших объемах выборки можно использовать более эффективные, хотя и менее устойчивые, чем медианные, усеченные оценки математического ожидания и СКО

$$m_\beta = \frac{1}{n-2r}\sum_{i=r+1}^{n-r}\Delta_i$$

$$S_\beta = \left\{\left[\sum_{i=r+1}^{n-r}\Delta_i^2 - (n-2r)m_\beta^2\right]\frac{1}{n-2r}\right\}^{\frac{1}{2}}, \qquad (5)$$

где:

$r = n\beta$, β - доля отсчетов, отбрасываемых при вычислении оценок по формуле (5). Принимают $\beta = 0{,}01 \div 0{,}05$.

Доверительные границы для m_β и S_β:

$$\Delta_{sP} = m_\beta \pm Z_P \cdot S(m_\beta);$$

$$\sigma_P = S_\beta \pm Z_P \cdot S(S_\beta), \qquad (6)$$

где:

$$S(m_\beta) \simeq \frac{S_0}{\sqrt{n}}\cdot C(\beta);\ S(S_\beta) \simeq \sqrt{\frac{\tilde{\mu}_4 - S_0^4}{n}}\cdot\frac{C(\beta)}{2S_0};\ C(\beta) \simeq \frac{\sqrt{1+2\beta Z_\beta^2}}{1-2\beta};$$

$\tilde{\mu}_4$ - оценка 4-го центрального момента;

Z_β - квантиль нормального распределения с $m = 0$, $\sigma = 1$ на уровне β .

Объемы выборки, позволяющие получать доверительные границы по формуле (6):

$$n_m \geq \left[\frac{Z_p \, S_o \, c(\beta)}{\delta_{c\,ивк} \, x_н} \right]^2 ; \qquad (7)$$

$$n_S \geq \left(\tilde{\mu}_4 - S_o^4 \right) \left[\frac{Z_p \, c(\beta)}{2\,\delta_{сл\,ивк} \cdot x_н \, S_o} \right]^2 , \qquad (8)$$

где: $x_н$ - пиковое значение испытательного сигнала;

$\delta_{сл\,ивк}$; $\delta_{с\,ивк}$ - ожидаемые допускаемые приведенные случайная и систематическая составляющие погрешности ИВК.

Для получения оценок систематической и случайной составляющих погрешности ИВК с заданной доверительной вероятностью по минимальному объему выборки процедура оценивания должна быть следующей.

По малому объему выборки (n_6=1000) находят m_a, S_o (4).

Вычисляют минимальный объем выборки для получения m_β с заданной доверительной вероятностью (7).

Находят оценки m_β, S_β (5). По этому объему выборки находят также оценку μ_4.

Вычисляют минимальный объем выборки для получения $S(\beta)$ с заданной доверительной вероятностью (8).

Если при этом оказалось, что $n_S > n_m$, то берут дополнительную выборку. По выборке n_S вычисляют окончательные m_β и S_β.

Если $n_S \leq n_m$, то за окончательные оценки могут быть приняты m_β' и S_β', найденные по объему выборки n_m.

Пределы допускаемой погрешности ИВК Δ_ρ находят следующим образом.

Если располагают гистограммой ПР погрешности ИВК, то ищут интервал $\Delta_{min} - \Delta_{max}$, который с заданной доверительной вероятностью "накрывает" любое значение погрешности ИВК. Используют формулу

$$\sum_{q=i}^{a} W(\Delta_i) + \sum_{q=j}^{b} W(\Delta_j) \geq P, \qquad (9)$$

где:

q - номер элементарного интервала анализа Δ_q, в который попадает оценка m_β;

"а" и "в" - номера элементарных интервалов анализа, в которые попадают $\Delta_{\rho\,max}$ и $\Delta_{\rho\,min}$ соответственно; $i = 0,1\ldots$; $j = 1,2\ldots$

Производя суммирование значений гистограммы ПР погрешности ИВК симметрично относительно интервала с номером "q", находят номера "а" и "в", при которых выполняется неравенство (9) при заданной доверительной вероятности P. Границы доверительного интервала находят по формулам

$$\mathring{\Delta}_{min} = (q-b)\Delta_\Delta \quad ; \quad \mathring{\Delta}_{max} = (a-q)\Delta_\Delta . \qquad (10)$$

$$\Delta_{P\,min} = \widetilde{m}_\Delta - \mathring{\Delta}_{min} \; , \quad \Delta_{P\,max} = \mathring{\Delta}_{max} + \widetilde{m}_\Delta .$$

Если располагают только моментами ПР погрешности ИВК, пределы допускаемой погрешности ИВК находят по формуле

$$\Delta_P = m_\beta \pm K_P \cdot S_\beta . \qquad (11)$$

Коэффициент K_P в этом случае чаще всего изменяется в пределах $\sqrt{3} - 3$.

Периодическая поверка ИВК

Основное требование - получение результатов за малое время. Объем выборки ограничен, например 1000 ÷ 10000 отсчетами. Чтобы проверить, находятся ли нормируемые характеристики погрешности ИВК в заданных пределах, необходимо располагать границами изменения существенно случайных оценок этих характеристик, найденных по малому объему выборки.

Если ПР выборочных оценок $\widetilde{m}_\Delta$ и S_Δ можно считать близкой к гауссовской, что допустимо при $n \geq 10000$, то искомые границы вычисляются по формулам

$$m_\Delta - z_{P_m}\sigma_\Delta(\sqrt{n})^{-1} \leq \widetilde{m}_\Delta \leq z_{P_m}\sigma_\Delta(\sqrt{n})^{-1} + m_\Delta$$

$$\left[\sigma_\Delta^2 - z_{P\sigma}(\sqrt{n})^{-1}\sqrt{\mu_4 - \frac{n-3}{n-1}\sigma_\Delta^4}\right]^{\frac{1}{2}} \leq S_\Delta \leq \left[z_{P\sigma}(\sqrt{n})^{-1}\sqrt{\mu_4 - \frac{n-3}{n-1}\sigma_\Delta^4} + \sigma_\Delta^2\right]^{\frac{1}{2}}, \qquad (12)$$

где

m_Δ, σ_Δ, μ_4 - определены при аттестации;

z_{P_m}, $z_{P\sigma}$ - квантили нормального распределения при $m = 0$ и $\sigma = 1$ на уровне P.

При $n \leq$ 10000 искомые границы определяют как толерантные пределы. 100β - процентные независимые от распределения толерантные пределы на уровне γ оцениваются через неполную бета-функцию путем решения неравенства

$$1 - I_{\beta}(n-c+1; c) \geq \gamma. \qquad (13)$$

Графические решения неравенства (13) для некоторых часто используемых случаев приведены на рисунке. По заданным β , γ , n находят "С" и далее порядковые номера членов упорядоченной выборки из n отчетов (оценок характеристики погрешности ИВК), которые и являются границами изменения найденных оценок с заданной доверительной вероятностью γ . В эти границы попадает не менее 100β % всех возможных оценок, найденных по объему выборки n .

$$K_{min} = C \; , \; K_{max} = n - C + 1 \; , \; K = 1, 2 \ldots n$$

$$(\tilde{m}_{\Delta})_{K_{min}} \leq \tilde{m}_{\Delta} \leq (\tilde{m}_{\Delta})_{K_{max}} \; ; \qquad (14)$$

$$(S_{\Delta})_{K_{min}} \leq S_{\Delta} \leq (S_{\Delta})_{K_{max}}$$

Подробные графические решения неравенства (13) приведены в "Non-parametric tolerance limits" Murphy R.B., Ann Math Stat, vol 19, 1948, pp 581-589

Экспресс-контроль ИВК

Этот вид метрологического обслуживания ИВК используют для определения готовности ИВК к работе перед каждым циклом измерений в процессе эксплуатации.

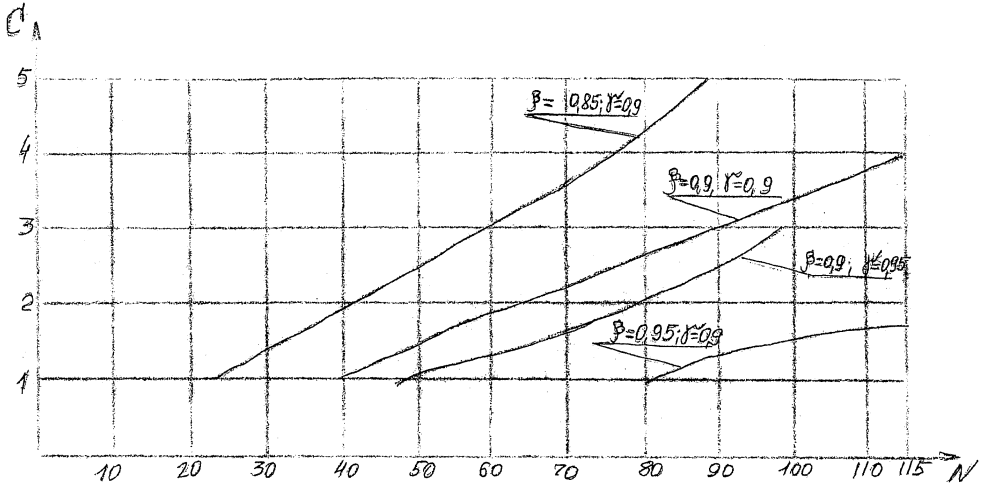
При этом находят оценку характеристики разброса погрешности ИВК - абсолютное среднее

$$\tilde{d}_{\Delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} |\Delta_i - \tilde{m}_{\Delta}| . \qquad (15)$$

Границы изменения $\tilde{d}_{\Delta}$

$$(\tilde{d}_{\Delta})_{K_{min}} \leq \tilde{d}_{\Delta} \leq (\tilde{d}_{\Delta})_{K_{max}} \qquad (16)$$

Границы в формуле (16) определяют как толерантные пределы.



Некоторые графические решения неравенства (I3).

Границы изменения оценок характеристик погрешности ИВК, необходимые для проведения периодической поверки и экспресс-контроля, находят по объему выборки, используемому при аттестации ИВК, в процессе аттестации этого ИВК. Полученные значения границ и условия их нахождения вносят в методики проведения периодической поверки и экспресс-контроля. При проведении этих видов метрологического обслуживания находят оценки характеристик погрешности ИВК и проверяют находятся ли они в оговоренных границах.

Приведенные в настоящем приложении рекомендации полностью применимы при определении погрешности ИВК в режиме измерений ординат информационного сигнала. В режиме измерения ординат СХ информационного сигнала с помощью ИВК отсчеты, из которых формируется мгновенная погрешность ИВК (I), представляют собой функционалы, найденные по объему выборки, установленному из иных, чем рассматриваемые здесь, соображений. Если по полученным таким образом отсчетам формировать объем выборки по предлагаемым рекомендациям, то общий объем выборки для получения желаемых характеристик погрешности ИВК оказывается очень велик. Поэтому при определении погрешности измерения ИВК ординат СХ информационного сигнала рекомендуется следующее.

Объем выборки для построения гистограммы ПР погрешности ИВК "набирать" из отсчетов мгновенной погрешности во всех определяемых ординатах СХ вдоль диапазона изменения ее аргумента.

Объем выборки для определения оценок характеристик погрешности ИВК при периодической поверке и экспресс-контроле брать очень малый, например 500–1000. Для исключения статистического разброса таких оценок при многократных воспроизведениях необходимо при детерминированном испытательном сигнале использовать один и тот же отрезок его реализации, а при случайном испытательном сигнале вычисления "образцовых" СХ должны производиться одновременно с подачей этого сигнала на испытуемый ИВК.

Если можно ограничиться нормированием только допускаемой погрешности ИВК при измерении ординат СХ информационного сигнала, то границы ее γ изменения проще искать как толерантные пределы.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
Рекомендуемое

Варианты нормирования характеристики погрешности ИВК

Вариант I.

I.Графическое или табличное задание - $W(\Delta)$.
2.Предел допускаемого СКО случайной составляющей погрешности - σ_P.
3.Предел допускаемой систематической составляющей погрешности- Δ_{sp}.
4.Предел допускаемой погрешности - Δ_P.

МХ по п.п.2-4 могут быть указаны на графике или в таблице $W(\Delta)$.

Целесообразно для ИВК, погрешность которых в испытуемом режиме измерений соизмерима с погрешностью средств поверки, например, 3-5%.

Вариант 2.

I.Предел допускаемой погрешности - Δ_P.
2.Предел допускаемого СКО случайной составляющей погрешности- σ_P.

Целесообразно для ИВК, погрешность которых не ниже I%, имеющих допускаемую систематическую составляющую погрешности- Δ_{sp}, не менее чем на порядок, меньше σ_P.

Вариант 3.

I.Предел допускаемой погрешности - Δ_P.
2.Предел допускаемого СКО случайной составляющей погрешности- σ_P.
3.Предел допускаемой систематической составляющей погрешности- Δ_{sp}

Целесообразно для ИВК, погрешность которых не ниже I%.

Примечание: Если испытательный сигнал выбирают по п.п. 3.4.2, 3.4.3, то принятую совокупность характеристик погрешности ИВК нормируют для каждого из "рабочих" или "типовых" сигналов.

ПРИЛОЖЕНИЕ 7
Рекомендуемое

Алгоритмы вычисления статистических характеристик испытательного сигнала, применяемые в средствах поверки ИВК

Принятые обозначения:

N – объем выборки;

Δt – интервал дискретизации испытательного сигнала по времени;

Δf – интервал дискретизации испытательного сигнала по частоте;

$\Delta y, \Delta x$ – интервалы анализа при определении законов распределения мгновенных значений сигналов $Y(t)$ и $X(t)$;

n_i – число значений испытательного сигнала, попавших в i-й интервал Δx; $i = 1,2...[\Delta x^{-1}(x_{max} - x_{min})]$; x_{max}, x_{min} – границы диапазона изменения значений испытательного сигнала;

n_{ij} – число одновременных попаданий значений испытательных сигналов $X(t)$ и $Y(t)$ в интервалы $i\,\Delta x$ и $j\,\Delta y$;

n_i' – число значений сигнала $X(t)$, попадающих i-й интервал Δx в выборке из N' отсчетов, при которых сигнал $Y(t) = y_j$;

ℓ – номер ординаты оцениваемой корреляционной функции; $\ell = 0,1...m - 1$;

h – номер ординаты оцениваемой спектральной плотности мощности; $h = 0,1...m - 1$;

q_k – номер ординаты сигнала $X(t)$ в объеме выборки N ($q = 0,1,2...N - 1$), принадлежащей также объему выборки N' ($q = 1,2...N'$), т.е. появляющейся при $Y(t) = y_j$;

P – номер ординаты оцениваемой дисперсионной функции;

y_j, x_j – значения сигналов $Y(t)$ и $X(t)$, появляющиеся в выборке из N отсчетов, при которых определяют СХ сигнала $X(t)$ или $Y(t)$ соответственно;

N' – число значений $Y(t) = y_j$ или $X(t) = x_j$ в выборке из N отсчетов.

Алгоритмы вычисления корреляционных функций испытательного сигнала

Оценка ненормированной временной корреляционной функции

$$R^{*}_{xx}(\ell\Delta t)=\frac{1}{N-\ell}\sum_{k=0}^{N-\ell-1}x(k\Delta t)\cdot x[(k+\ell)\Delta t]-(m^{*}_{x})^{2}. \qquad (1)$$

Оценка ненормированной временной взаимной корреляционной функции

$$R_{xy}(\ell\Delta t)=\frac{1}{N-\ell}\sum_{k=0}^{N-\ell-1}x(k\Delta t)\cdot y[(k+\ell)\Delta t]-m^{*}_{x}\cdot m^{*}_{y}. \qquad (2)$$

Оценки нормированных корреляционной и взаимной корреляционной функций

$$\rho^{*}_{xx}(\ell\Delta t)=\frac{R^{*}_{xx}(\ell\Delta t)}{\sigma^{*}_{x}} \qquad (3)$$

$$\rho^{*}_{xy}(\ell\Delta t)=\frac{R^{*}_{xy}(\ell\Delta t)}{\sigma^{*}_{x}\cdot\sigma^{*}_{y}}. \qquad (4)$$

Алгоритмы вычисления спектральных плотностей мощности испытательного сигнала

Оценки ненормированной спектральной плотности мощности

$$G_x^*(h\Delta f) = \frac{\Delta t}{N}\sum_{p=0}^{k-1}\left|\sum_{i=0}^{2m-1} x[(i+2mp)\Delta t]\cdot \exp\left[-j\frac{\pi i h}{m}\right]\cdot \sin\frac{\pi i}{2m}\left(\frac{\pi i}{2m}\right)^{-1}\right|^2; \qquad (5)$$

$$G_x^*(h\Delta f) = 2\Delta t R_{xx}^*(0) + 4\Delta t\sum_{\ell=0}^{m-1} R_{xx}^*(\ell\Delta t)\cdot \sin\frac{\pi\ell}{2m}\left(\frac{\pi\ell}{2m}\right)^{-1}\cos\frac{\pi\ell h}{m}; \qquad (6)$$

где $N = 2m\cdot k$, $\Delta f = (2m\Delta t)^{-1}$.

Оценка нормированной спектральной плотности мощности

$$G_x^*(h\Delta f) = G_x^*(h\Delta f)\cdot\left[G_x^*(h\Delta f)\right]_{max}. \qquad (7)$$

Оценки ненормированной взаимной спектральной плотности мощности

$$G_{xy}^*(h\Delta f) = Re\left[G_{xy}^*(h\Delta f)\right] - j\,Im\left[G_{xy}^*(h\Delta f)\right];$$

$$G_{xy}^*(h\Delta f) = \frac{\Delta t}{N}\sum_{p=0}^{k-1}\left(\sum_{i=0}^{2m-1} x[(i+2mp)\Delta t]\cdot\exp\left[-j\frac{\pi i h}{m}\right]\cdot \sin\frac{\pi i}{2m}\cdot\left(\frac{\pi i}{2m}\right)^{-1}\cdot\sum_{\tau=0}^{2m-1} y[(\tau+2mp)\Delta t\cdot\exp\left[-j\left(\frac{\pi\tau h}{m}-\frac{\pi}{2}\right)\right]\cdot \sin\frac{\pi\tau}{2m}\left(\frac{\pi\tau}{2m}\right)^{-1}\right). \qquad (8)$$

$$Re\left[G^{*}_{xy}(h\Delta f)\right]=\frac{\Delta t}{N}\sum_{p=0}^{K-1}\left|\sum_{i=0}^{2m-1}x\left[(i+2mp)\Delta t\right]\cdot\exp\left[-j\frac{\pi i h}{m}\right]\right.$$

$$\cdot Sin\frac{\pi i}{2m}\left(\frac{\pi i}{2m}\right)^{-1}\cdot\sum_{z=0}^{2m-1}y\left[(z+2mp)\Delta t\right]\cdot\exp\left[-j\frac{\pi z h}{m}\right]\cdot \tag{9}$$

$$\left.\cdot Sin\frac{\pi z}{2m}\left(\frac{\pi z}{2m}\right)^{-1}\right|,$$

$$Im\left[G^{*}_{xy}(h\Delta f)\right]=\frac{\Delta t}{N}\sum_{p=0}^{K-1}\left|\sum_{i=0}^{2m-1}x\left[(i+2mp)\Delta t\right]\cdot\exp\left[-j\frac{\pi i h}{m}\right]\right.\cdot$$

$$Sin\frac{\pi i}{2m}\left(\frac{\pi i}{2m}\right)^{-1}\sum_{z=0}^{2m-1}y\left[(z+2mp)\Delta t\right]\cdot\exp\left[-j\left(\frac{\pi z h}{m}-\frac{\pi}{2}\right)\right]\cdot Sin\frac{\pi z}{2m}\left(\frac{\pi z}{2m}\right)^{-1}\Big|, \tag{10}$$

Вместо формул (9) и (10) можно использовать следующие выражения:

$$Re\left[G^{*}_{xy}(h\Delta f)\right]=\frac{1}{2}\left[G^{*}_{xy}(h\Delta f)+G^{*}_{yx}(h\Delta f)\right], \tag{11}$$

$$Im\left[G^{*}_{xy}(h\Delta f)\right]=\frac{1}{2j}\left[G^{*}_{xy}(h\Delta f)-G^{*}_{yx}(h\Delta f)\right] \tag{12}$$

$G^{*}_{yx}(h\Delta f)$ получают по формуле (8) при замене сомножителей: $\exp\left[-j\frac{\pi i h}{m}\right]$ на $\exp\left[-j\left(\frac{\pi i h}{m}-\frac{\pi}{2}\right)\right]$, $\exp\left[-j\left(\frac{\pi z h}{m}-\frac{\pi}{2}\right)\right]$ на $\exp\left[-j\frac{\pi z h}{m}\right]$.

$$G^{*}_{xy}(h\Delta f)=2\Delta t\sum_{\ell=0}^{2m-1}R^{*}_{xy}(\ell\Delta t)\exp\left[-j\frac{\pi\ell h}{m}\right]\cdot Sin\frac{\pi\ell}{2m}\left(\frac{\pi\ell}{2m}\right)^{-1}. \tag{13}$$

$$Re\left[G^{*}_{xy}(h\Delta f)\right]=\Delta t\left\{R^{*}_{xy}(0)+\sum_{\ell=1}^{m-1}\left[R^{*}_{xy}(\ell\Delta t)+R^{*}_{yx}(\ell\Delta t)\right]\cdot\right.$$

$$\left.Cos\frac{\pi\ell h}{m}+\frac{1}{2}\left[R^{*}_{xy}(\ell\Delta t)+R^{*}_{yx}(\ell\Delta t)\right](-1)^{h}\right\}. \tag{14}$$

$$Im\left[G^{*}_{xy}(h\Delta f)\right]=\Delta t\sum_{\ell=1}^{m+r}\left[R^{*}_{xy}(\ell\Delta t)-R_{yx}(\ell\Delta t)\right]\cdot Sin\frac{\pi\ell h}{m} \qquad (15)$$

Примечание: 1. Оценки по формулам (5) и (6), (8) - (15) соответствуют строгим, в равной степени, определениям

$G_x(f)$ и $G_{xy}(f)$:

$$G_x(f)=\lim_{T\to\infty}\frac{2}{T}M\left[\left|\int_0^T x(t)e^{-j2\pi ft}dt\right|^2\right];\quad G_x(f)=4\int_0^{\infty}R_{xx}(\tau)\cos 2\pi f\tau\, d\tau$$

и

$$G_{xy}(f)=\lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}M\left[\int_0^T x(t)e^{-j2\pi ft}dt\int_0^T y(t)e^{j2\pi ft}dt\right];\quad G_{xy}(f)=2\int_0^{\infty}R_{xy}(\tau)e^{-j2\pi f\tau}d\tau.$$

2. Алгоритмы по формулам (5) и (6), (8) - (15) требуют одинаковое количество операций, если значение параметра "m" одно и то же.

Оценки нормированной взаимной спектральной плотности мощности

$$Re\left[G^{*}_{xy}(h\Delta f)\right]_H=\frac{Re\left[G^{*}_{xy}(h\Delta f)\right]}{Re\left[G^{*}_{xy}(h\Delta f)\right]_{max}}. \qquad (16)$$

$$Im\left[G^{*}_{xy}(h\Delta f)\right]_H=\frac{Im\left[G^{*}_{xy}(h\Delta f)\right]}{Im\left[G^{*}_{xy}(h\Delta f)\right]_{max}}. \qquad (17)$$

Алгоритмы вычисления законов распределения мгновенных значений испытательного сигнала

Оценка **одномерного дифференциального закона** распределения

$$W(i\Delta x) = \frac{1}{\Delta x} \cdot \frac{n_i}{N}. \qquad (18)$$

Оценка **одномерного интегрального закона** распределения

$$F(x_k) = \sum_{i=1}^{k} \frac{n_i}{N}. \qquad (19)$$

x_k - верхняя граница k-го интервала Δx.

Оценка **двумерного дифференциального закона** распределения

$$W(i\Delta x; j\Delta y) = \frac{1}{\Delta x \Delta y} \frac{n_{ij}}{N}. \qquad (20)$$

Оценка **двумерного интегрального закона** распределения

$$F(x_k; y_q) = \sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{q} \frac{n_{ij}}{N}, \qquad (21)$$

где y_q - верхняя граница q-го интервала Δy.

Оценки нормированных значений характеристик, полученных по формулам (18) - (21), находят делением на наибольшее значение соответствующей характеристики, найденное при обработке объема выборки в N отсчетов.

Алгоритмы вычисления числовых статистических характеристик испытательного сигнала

Оценка **математического ожидания**

$$m_x^* = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x(i\Delta t). \qquad (22)$$

Оценка **дисперсии**

$$D_x^* = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} [x(i\Delta t)]^2 - (m_x^*)^2. \qquad (23)$$

Оценка **среднего квадратического отклонения** - СКО

$$\sigma_x^* = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} [x(i\Delta t)]^2 - (m_x^*)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}. \qquad (24)$$

Оценка коэффициента асимметрии

$$\mu_3^* = \frac{\frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N-1}[x(i\Delta t)]^3 - 3m_x^* \cdot \frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N-1}[x(i\Delta t)]^2 + 2(m_x^*)^3}{[\sigma_x^*]^3}, \quad (25)$$

Оценка коэффициента эксцесса

$$\mu_4^* = \frac{\frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N-1}[x(i\Delta t)]^4 - 4\frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N-1}[x(i\Delta t)]^3 \cdot m_x^* + 6\frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N-1}[x(i\Delta t)]^2 \cdot [m_x^*]^2 - 3}{[\sigma_x^*]^4}. \quad (26)$$

Алгоритмы вычисления условных статистических характеристик испытательного сигнала

Оценки условных дифференциального и интегрального законов распределения

$$W^*(i\Delta x/y_j) = \frac{1}{\Delta x} \cdot \frac{n_i'}{N'}; \quad (27)$$

$$F^*(x_k/y_j) = \sum_{i=1}^{k} \frac{n_i'}{N'}. \quad (28)$$

Оценки нормированных значений находят аналогично оценкам соответствующих безусловных СХ.

Оценка условного математического ожидания

$$m^*_{x/y_j} = \frac{1}{N'} \cdot \sum_{i=1}^{N'} x(q_i \Delta t)/y_j. \quad (29)$$

Вычисляя $m^*_{x/y}$ при равных "y", определяют значения функции регрессии - $m_{x/y} = f(y)$.

Оценка условной дисперсии

$$D^*_{x/y_j} = \frac{1}{N'} \sum_{i=1}^{N'} [x(q_i \Delta t)/y_j]^2 - [m^*_{x/y_j}]^2. \quad (30)$$

Оценка дисперсионной функции

$$\overset{*}{Duc}_{x/x}(p\Delta t) = \frac{1}{N'}\sum_{i=1}^{N'}\left\{x\left[(q_2+p)\Delta t\right]_{/x_j}\right\}^2 - \left[m_x^*\right]^2. \qquad (31)$$

Оценка взаимной дисперсионной функции

$$\overset{*}{Duc}_{x/y}(p\Delta t) = \frac{1}{N'}\sum_{i=1}^{N'}\left[x\left[(q_2+p)\Delta t\right]_{/y_j}\right]^2 - \left[m_x^*\right]^2. \qquad (32)$$

Оценки нормированных значений характеристик, получаемых по формулам (31), (32), находят аналогично оценке по формуле (3).

Примечание: При выборе интервала отбора отсчетов для обработки учитывают требования получения оценок СХ "по некоррелированной выборке", "по независимым отсчетам", "усреднением по ансамблю". Для удовлетворения первому и второму требованиям берут отсчеты с интервалом $\theta\Delta t \geq m_0\Delta t$. В этом случае текущий i-й отсчет, принимаемый для обработки $x(i\theta\Delta t)$, а алгоритм вычисления корреляционной функции записывается в виде

$$R_{xx}(\ell\Delta t) = \frac{1}{N''}\sum_{i=0}^{N''-1} x(i\theta\Delta t)\cdot x\left[(i\theta+\ell)\Delta t\right],$$

где $N'' = \frac{N}{\theta}$.

Для удовлетворения третьему требованию объем выборки представляют в виде $N\alpha b$. Искомые оценки СХ находят усреднением "а" оценок этих СХ, полученных по объему выборки "в".

ПРИЛОЖЕНИЕ 8
Рекомендуемое

Способы нахождения характеристик временной погрешности ИВК, содержащих АМЗ

Мгновенная временная погрешность:

$$\Delta_{врем_n} = \Delta T_n - \Delta T_{n-1};$$

$$\Delta T_n = T_n' - nT;$$

$$\Delta T_{n-1} = T_{n-1}' - (n-1)T,$$

где T_n', T_{n-1}' - интервалы времени, полученные при записи на АМЗ "n" и "n-I" периодов "T" известной частоты соответственно.

Вычисление средней частоты времени запаздывания - $\bar{f}_3$ производят в следующей последовательности:

I. Определяют корреляционную функцию временной погрешности

$$R^*_{\Delta_{врем}}(\ell T) = \frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N} \Delta_{врем}[jT] \cdot \Delta_{врем}[(j+\ell)T],$$

где $\ell = 0, I, 2 \ldots (m-I)$; m - число отсчетов $R^*_{\Delta_{врем}}(\ell T)$, котором можно ожидать появление не менее 5 - I0 периодов ее осцилляций.

2. Вычисляют средний период осцилляций $R^*_{\Delta_{врем}}(\ell T)$

$$T_{Rср} = \frac{2}{A}\sum_{i=1}^{A} T\cdot(p_i - q_i),$$

где p_i; q_i - номера отсчетов $R^*_{\Delta_{врем}}(\ell T)$, соответствующие ее переходам через "0" на i -ом полупериоде осцилляций.

3. Вычисляют среднюю частоту времени запаздывания

$$\bar{f}_3 = \frac{1}{M}\sum_{k=1}^{M} \frac{1}{T_{ср\,k}},$$

где $T_{ср.к}$ - средний период осцилляций, найденный по "к"-й оценке $R^*_{\Delta_{врем}}(\ell T)$; M - число оценок $R^*_{\Delta_{врем}}(\ell T)$, использованных для нахождения $\bar{f}_3$.

Вычисление интервала переноса

$$\Delta t_{п_{1-2}} = T'_{n_1} - T'_{n_2},$$

где $T'_{n_1}; T'_{n_2}$ - интервалы времени, полученные при записи на АМЗ "п" периодов - T, известной частоты по каналам "1" и "2" соответственно.

ПРИЛОЖЕНИЕ 9
Справочное

Статистические характеристики, регламентируемые НТД на ИВК

Приведены СХ, которые могут быть получены при "первичной обработке", т.е. при обработке выборки из отсчетов анализируемых электрических непрерывных случайных центрированных и нецентрированных сигналов.

Корреляционная и взаимная корреляционная функции.

Спектральная плотность мощности, действительная и мнимая составляющие взаимной спектральной плотности мощности.

Одномерные и двумерные функции и плотность распределения.

Математическое ожидание, дисперсия, СКО, коэффициенты асимметрии и эксцесса.

Условные СХ: плотность распределения, математическое ожидание, дисперсия, дисперсионная и взаимная дисперсионная функции.

Примечание: Для ИВК, имеющих перестраиваемое программное обеспечение и наращиваемый объем памяти вычислительных блоков (см. приложение I, структурные схемы, содержащие ЭВМ), номенклатура определяемых СХ может быть значительно шире. Она может включать СХ более высоких порядков, например биспектральные, кепстральные СХ, характеристические функции и их моменты (кумулянты), получаемые при "вторичной обработке", т.е. при обработке выборки из ординат СХ, найденных при "первичной обработке".

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

1. РАЗРАБОТАНА Научно-производственным объединением "ВНИИМ им.Д.И.Менделеева" (НПО "ВНИИМ")

   ИСПОЛНИТЕЛЬ: Г.Д.Мутинова, д-р техн. наук

2. УТВЕРЖДЕНА НПО "ВНИИМ им.Д.И.Менделеева" 27 ноября 1989г.

3. ЗАРЕГИСТРИРОВАНА ВНИИМС

4. ВЗАМЕН ГОСТ 8.251-77

Начальник отдела Г.П.Шивирко

Начальник лаборатории законодательной метрологии М.Н.Селиванов

Руководитель и исполнитель темы Г.Д.Мугинова

29.08.89

gost.e-ecolog.ru