Открытое акционерное общество
«Российский концерн по производству электрической и тепловой энергии на атомных станциях»

(ОАО «Концерн Росэнергоатом»)

ПРИКАЗ

02.05.2012 № 9/407-П

Москва

О введении в действие документов
по метрологическому обеспечению
эксплуатации атомных станций

В целях совершенствования метрологического обеспечения эксплуатации атомных станций

ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Ввести в действие с 18.05.2012:

1.1. РД ЭО 1.1.2.01.0516-2011 «Положение о метрологической службе ОАО «Концерн Росэнергоатом» (далее – РД ЭО 1.1.2.01.0516-2011, приложение 1).

1.2. РК 1.3.2.06.030.0042-2011 «Руководство по качеству поверочных (калибровочных) работ» (далее – РК 1.3.2.06.030.0042-2011, приложение 2).

1.3. МУ 1.2.1.16.0047-2011 «Методика расчета метрологических характеристик измерительных каналов систем атомных станций» (далее – МУ 1.2.1.16.0047-2011, приложение 3).

2. Заместителям Генерального директора, директорам филиалов, руководителям структурных подразделений центрального аппарата ОАО «Концерн Росэнергоатом»:

2.1. Принять РД ЭО 1.1.2.01.0516-2011 к руководству и исполнению, РК 1.3.2.06.030.0042-2011 - к руководству и МУ 1.2.1.16.0047-2011 - к использованию.

2.2. Считать обязательной процедуру согласования (визирования) нормативных, технических и других документов ОАО «Концерн Росэнергоатом», связанных с получением или использованием измерительной информации (в том числе заданий на разработку средств, методик и методов измерений, испытаний, измерительного контроля и т. п.), главным метрологом ОАО «Концерн Росэнергоатом», документов филиалов ОАО «Концерн Росэнергоатом» – главными метрологами филиалов.

gost.e-ecolog.ru

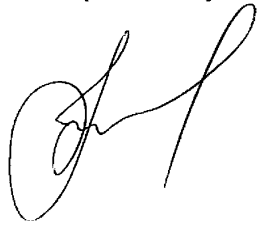
ЭД/1636/28.04

3. Департаменту планирования производства, модернизации и продления срока эксплуатации (Дементьев А.А.) внести в установленном порядке РД ЭО 1.1.2.01.0516-2011 и РК 1.3.2.06.030.0042-2011 в подраздел 1.14.1, МУ 1.2.1.16.0047-2011 - в подраздел 1.14.2 части III Указателя технических документов, регламентирующих обеспечение безопасной эксплуатации энергоблоков АС (обязательных и рекомендуемых к использованию).

4. Признать утратившим силу приказ ФГУП концерн «Росэнергоатом» от 11.01.2005 № 9 «О введении в действии РД ЭО 0516-2004».

5. Контроль за исполнением настоящего приказа возложить на заместителя Генерального директора – директора по производству и эксплуатации АЭС Шутикова А.В.

Генеральный директор Е.В. Романов



И.А. Кириллов
(495) 710-47-49

Приложение 3 к приказу ОАО «Концерн Росэнергоатом» от 02.05.2012 № 9/107-П

ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

Открытое акционерное общество
«Российский концерн по производству электрической и тепловой энергии на атомных станциях»
(ОАО «Концерн Росэнергоатом»)

СОГЛАСОВАНО
Директор
ФГУП «ВНИИМС»

С.А. Кононогов
2011

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель Генерального директора – директор по производству и эксплуатации АЭС ОАО «Концерн Росэнергоатом»

А.В. Шутиков
«09» 12 2011

МЕТОДИКА РАСЧЕТА МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ СИСТЕМ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

Методические указания

МУ 1.2.1.16.0047-2011

Предисловие

1 РАЗРАБОТАНЫ Головной организации метрологической службы ОАО «Концерн Росэнергоатом» – НИЦМ Технологического филиала ОАО «Концерн Росэнергоатом» при участии ФГУП «ВНИИМС»

2 ВНЕСЕНЫ Департаментом инженерной поддержки

3 ВВЕДЕНЫ В ДЕЙСТВИЕ Приказом ОАО «Концерн Росэнергоатом»

от 02.05.2012 № 9/467-П

4 ВВЕДЕНЫ ВПЕРВЫЕ

Содержание

Введение IV

1 Область применения 1

2 Нормативные ссылки 1

3 Термины и определения 2

4 Сокращения 4

5 Основные этапы расчета характеристик погрешности измерительных каналов 4

6 Формирование исходных данных для расчета 5

7 Приведение к единой форме выражения метрологических характеристик измерительных компонентов 8

8 Расчет характеристик погрешности измерительных компонентов для рабочих условий применения 12

9 Приведение характеристик погрешности измерительных компонентов к одной и той же точке простого измерительного канала 14

10 Суммирование (объединение) составляющих погрешности простого измерительного канала 15

11 Особенности расчета характеристик погрешности сложных измерительных каналов 17

Введение

Измерительные системы (ИС) являются разновидностью средств измерений. Основной структурной единицей ИС, выполняющей функции средства измерений, является ее измерительный канал (ИК).

По ГОСТ Р 8.596-2002 «ГСИ. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения» различают две группы ИС:

- ИС-1 – выпускаемые изготовителем как законченные изделия, в эксплуатационной документации которых нормированы метрологические характеристики ИК;

- ИС-2 – проектируемые для конкретных объектов из компонентов ИС, выпускаемых различными изготовителями и принимаемые как законченное изделие на объекте эксплуатации.

Большая часть ИС, применяемых на атомных станциях, в том числе в составе более сложных структур (автоматических систем управления технологическими процессами, систем противоаварийной защиты, систем контроля и т.п.), относится к ИС-2.

Основными особенностями ИС-2 являются:

- отсутствие единого изготовителя системы и, как следствие, отсутствие нормированных метрологических характеристик ИК в целом.

- трудность, а иногда, невозможность экспериментального определения метрологических характеристик ИК.

Единственным, практически реализуемым способом восполнения информации о метрологических характеристиках ИК, остается их расчет по метрологическим характеристикам образующих ИК измерительных компонентов.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ СИСТЕМ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

Методические указания

Дата введения

1 Область применения

Настоящие методические указания (далее – МУ) предназначены для:

- организаций, разрабатывающих для атомных станций методики измерений, а также документацию, предусматривающую использование измерительной информации от ИС;

- организаций, осуществляющих метрологическую экспертизу проектной, конструкторской и технологической документации атомных станций;

- метрологических служб атомных станций;

- организаций, осуществляющих метрологический надзор на атомных станциях.

МУ устанавливают основные положения по расчету метрологических характеристик ИК систем в статическом (квазистатическом) режиме работы по нормированным в соответствии с ГОСТ 8.009-84 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений» характеристикам компонентов ИС при условии, что номинальная функция преобразования (НФП) измерительных компонентов (измерительных преобразователей) линейны.

2 Нормативные ссылки

В настоящих МУ использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ Р 8.596-2002 ГСИ. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения

ГОСТ 8.009-84 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений

ГОСТ 8.401-80 ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие технические требования

3 Термины и определения

В настоящих МУ применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 измерительная система (ИС): Разновидность средства измерений, представляющая собой совокупность измерительных, вычислительных и связующих (линии связи) компонентов ИС, образующих ИК системы, предназначенная для получения измерительной информации о состоянии объекта измерений и, в общем случае, для преобразования ее в сигналы управления.

3.2 измерительный канал (ИК) системы: Конструктивно или функционально выделяемая часть системы, выполняющая законченную функцию от восприятия измеряемой величины до получения результата измерений или сигнала управления. Различают простые и сложные ИК системы. Простой ИК реализует прямой метод измерений путем последовательных измерительных преобразований. Сложный ИК системы в первичной части представляет собой совокупность нескольких простых ИК, сигналы с выхода которых используются для получения результата косвенных (совокупных или совместных) измерений или соответствующего ему сигнала управления.

3.3 средство измерений: Техническое средство, предназначенное для измерений.

3.4 абсолютная погрешность средств измерений: Погрешность средства измерений, выраженная в единицах измеряемой величины.

3.5 относительная погрешность средств измерений: Погрешность средства измерений, выраженная отношением абсолютной погрешности к действительному или измеренному значению измеряемой величины.

3.6 приведенная погрешность средства измерений: Погрешность, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к условно принятому значению величины (нормирующее значение), постоянному во всем диапазоне измерений или части диапазона.

3.7 основная погрешность средства измерений: Погрешность средства измерений в нормальных условиях.

3.8 дополнительная погрешность средства измерений: Составляющая погрешности средства измерений, возникающая дополнительно к основной погрешности вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального значения.

3.9 рабочая область значений влияющей величины: Область значений влияющей величины, в пределах которой нормируется дополнительная погрешность.

3.10 нормальные условия: Условия, определяемые совокупностью значений влияющих величин, для которых нормируется основная погрешность средства измерений.

3.11 прямой метод измерений: Измерение, при котором искомое значение величины получают непосредственно.

3.12 косвенный метод измерений: Измерение, при котором значение искомой величины получают на основании результатов измерений прямым методом других величин, функционально связанных с искомой величиной.

3.13 предел допускаемой погрешности средства измерений: Границы, за которые не должна выходить погрешность средства измерений в заданных условиях измерений. Пределам приписывают вероятность равную единице.

3.14 *методика (метод) измерений:* *совокупность конкретно описанных операций, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с установленными показателями точности.*

4 Сокращения

ИК – измерительный канал

ИС – измерительная система

НФП – номинальная функция преобразования измерительного преобразователя.

5 Основные этапы расчета метрологических характеристик погрешности измерительных каналов

5.1 В качестве метрологических характеристик ИК рассматриваются характеристики погрешности ИК в рабочих условиях эксплуатации – границы интервала, в которых с заданной вероятностью, как правило, находится указанная выше погрешность ИК.

Под статическим (квазистатическим) режимом работы понимается режим работы ИС, при котором значение измеряемой величины остается неизменным (статический режим) или изменяется настолько медленно, что динамической составляющей погрешности ИК, обусловленной инерционностью измерительных компонентов, можно пренебречь по сравнению с погрешностью в статическом режиме работы (квазистатический режим).

5.2 При расчете метрологических характеристик погрешности простых ИК, реализующих прямые методы измерений, выполняют следующие основные операции.

5.2.1 Формируют исходные данные, необходимые для расчета характеристик погрешности ИК.

5.2.2 Приводят к единой форме выражения метрологические характеристики измерительных компонентов ИК.

5.2.3 Рассчитывают характеристики погрешности измерительных компонентов для рабочих условий применения.

5.2.4 Приводят характеристики погрешности к одной и той же точке ИК;

5.2.5 Суммируют (объединяют) составляющие погрешности простого ИК.

5.3 При расчете характеристик погрешности сложных ИК выполняют следующие основные операции.

5.3.1 Выполняют операции по п.п. 5.2.1-5.2.4 для всех простых ИК, входящих в состав сложного ИК.

5.3.2 Составляют описание алгоритма обработки измерительной информации, поступающей от простых ИК, реализуемого вычислительным компонентом сложного ИК.

5.3.3 При аналитическом описании алгоритма, составляют уравнение связи характеристик погрешности сложного ИК с характеристиками погрешности простых ИК.

5.3.4 При невозможности или нецелесообразности использования аналитического описания алгоритма, составляют программу для моделирования погрешности сложного ИК с использованием вычислительного компонента ИК, реализующего программу вычисления косвенно измеряемой величины.

5.4 Алгоритмы и результаты расчета должны приводиться в проектной документации на ИС.

6 Формирование исходных данных для расчета

6.1 Для расчета характеристик погрешности простого ИК необходимы две группы исходных данных:

- метрологические характеристики измерительных компонентов и параметры связующих компонентов ИК;

- характеристики влияющих величин, определяющие условия применения измерительных компонентов ИК.

6.2 Метрологические характеристики измерительных компонентов ИК.

Измерительные компоненты простого ИК относятся к одной из следующих групп средств измерений:

- первичные измерительные преобразователи (датчики);

- промежуточные измерительные преобразователи;

- вторичные измерительные приборы, показания которых выражены в единицах измеряемой величины, т.е. в единицах информативного параметра входного сигнала ИК, отличающихся от единиц информативного параметра входного сигнала вторичного прибора (далее в тексте слова «информативный параметр» опускаются).

Все три группы перечисленных средств измерений с позиций нормирования метрологических характеристик могут быть отнесены к измерительным преобразователям. Ниже перечислены метрологические характеристики измерительных преобразователей (измерительных компонентов системы).

6.2.1 Номинальная функция преобразования и область ее определения (нижний и верхний пределы диапазонов изменений входного и выходного сигналов).

6.2.2 Пределы допускаемой основной погрешности $\pm \Delta_{\text{осн. вых}}$ или $\pm \Delta_{\text{осн. вх}}$, (см. 7.2) или $\pm \gamma_0$ (см.7.3) или $\pm \delta_0$ (см. 7.4) и значения влияющих величин, соответствующих нормальным условиям.

Примечание – Обозначения введены в соответствии с ГОСТ 8.401.

6.2.3 Характеристики, отражающие чувствительность измерительных компонентов к влияющим величинам:

- наибольшее допускаемое изменение погрешности измерительного компонента $\Delta_{\text{доп. вых н.j}}$, или $\Delta_{\text{доп. вх н.j}}$, или $\gamma_{\text{доп.н.j}}$, или $\delta_{\text{доп.н.j}}$, вызванное

нормированным отклонением j влияющей величины $\Delta\xi_{н.j}$ от нормального значения.

- номинальное значение коэффициента влияния $K_{\tilde{з}j}$ отклонения j влияющей величины от нормального значения на погрешность измерительного компонента.

6.2.4 Входной и выходной импедансы аналоговых измерительных преобразователей или входной импеданс аналого-цифрового преобразователя или вторичного прибора, либо пределы допускаемых значений погрешности взаимодействия в зависимости от нагрузки на выходные цепи преобразователя или наибольшие допускаемые изменения выходного сигнала (дополнительная погрешность), вызванные отклонением нагрузки на выходные цепи преобразователя от области нормальных значений.

6.3 Параметры связующих компонентов

Номинальные значения параметров, позволяющие рассчитать погрешность, вносимую линией связи, либо предел допускаемой относительной погрешности, вносимой линией связи.

Области значений параметров связующих компонентов, для которых погрешностью, вносимой линиями связи, можно пренебречь.

Указанные параметры могут назначаться (нормироваться) проектантами ИС.

6.4 Рабочие условия применения ИК устанавливаются в проектной документации на ИС в виде верхней и нижней границ допускаемых значений влияющих величин. Для различных частей ИК могут устанавливаться различные значения границ влияющих величин, при условии, что эти значения лежат в пределах допускаемых значений влияющих величин для отдельных измерительных компонентов, входящих в соответствующие части ИК.

7 Приведение к единой форме выражения метрологических характеристик измерительных компонентов

7.1 Измерительные компоненты, входящие в ИК, как правило, имеют различные формы выражения их метрологических характеристик, что предопределяет и различие способов выражения соответствующих составляющих погрешности измерительных компонентов. Для последующих действий по расчету характеристик погрешности ИК необходимо привести метрологические характеристики различных измерительных компонентов к единой форме выражения.

Метрологические характеристики отдельных измерительных компонентов нормируют в одной из трех основных форм выражения:

- абсолютные погрешности – Δ ;

- приведенные погрешности – γ;

- относительные погрешности – δ.

7.2 Приведение к абсолютной погрешности.

У измерительных преобразователей различают два вида абсолютной погрешности:

- абсолютную погрешность, приведенную к выходу измерительного преобразователя – $\Delta_{ВЫХ}$, выраженную в единицах выходного сигнала;

- абсолютную погрешность, приведенную ко входу измерительного преобразователя – $\Delta_{ВХ}$, выраженную в единицах входного сигнала.

Связь между этими двумя погрешностями определяется по формуле

$$\Delta_{ОСН.ВЫХ} = \frac{\mathrm{df_H}(X)}{\mathrm{dX}} \cdot \Delta_{ОСН.ВХ} \qquad (1)$$

где $Y = f_H(\mathrm{X})$ НФП;

Y – значение выходного сигнала;

X – значение входного сигнала.

Для наиболее распространенной линейной НФП:

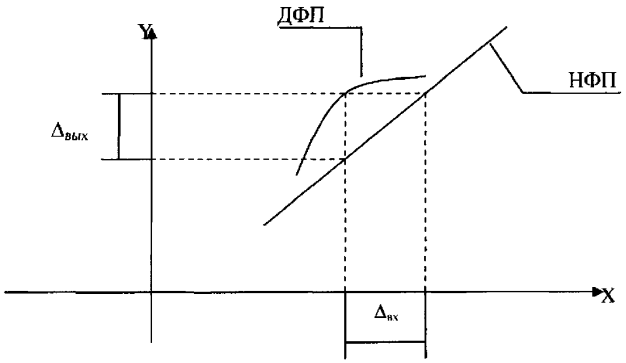
$$Y = K_H \cdot X + a \qquad (2)$$

указанная связь выражается формулой

$$\Delta_{ОСН.ВЫХ} = K_H \cdot \Delta_{ОСН.ВХ}, \qquad (3)$$

где K_H – номинальное значение коэффициента преобразования.

Графическая иллюстрация для случая линейной НФП приведена на рисунке 1.



ДФП – действительная функция преобразования

Рисунок 1 – Абсолютные погрешности измерительного преобразователя, приведенные ко входу и выходу

7.2.1 Связь между абсолютными и приведенной погрешностями определяется по формуле

$$\Delta_{ОСН.ВЫХ} = \frac{\gamma \cdot A_{н.вых}}{100}, \qquad (4)$$

где γ – приведенная погрешность, в % от нормирующего значения $A_{н.вых}$, выраженного в единицах выходного сигнала

$$\Delta_{ОСН.ВХ} = \frac{\gamma \cdot A_{н.вх}}{100}, \qquad (4а)$$

где $A_{н.вх}$ – нормирующее значение, выраженное в единицах входного сигнала.

7.2.2 Связь между абсолютными и относительной погрешностями

$$\Delta_{ОСН.ВЫХ} = \frac{\delta \cdot Y_{\delta}}{100}, \quad (5)$$

где δ – относительная погрешность в %

$$\Delta_{ОСН.ВХ} = \frac{\delta \cdot X_{\delta}}{100}, \quad (5а)$$

где Y_{δ} и X_{δ} - значения выходного и входного сигналов, для которых регламентировано значение δ, входящее в (5), (5а). Выбор значений Y_{δ} и X_{δ} см. 7.4.

7.3 Приведение к приведенной погрешности.

Для измерительных приборов нормирующее значение в процентах от которого выражается приведенная погрешность, выбирают равным либо верхнему пределу диапазона измерений, либо диапазону измерений. В ИС выбор нормирующего значения для измерительных преобразователей имеет свою специфику: в некоторых случаях не весь диапазон изменения входного или выходного сигнала несет информацию об измеряемой величине. Например, унифицированные токовые сигналы с подавлением нуля (от 4 до 20) мА. В этих случаях, верхний предел диапазона измерений приравнивается к верхнему пределу диапазона приращений выходного (входного) сигнала: в приведенном выше примере – 16 мА; а диапазон измерений – к диапазону приращений входного (выходного) сигнала, т.е. тоже 16 мА в приведенном выше примере.

Нормирующие значения, выраженные в единицах входного $А_{Н.ВХ}$ и выходного $А_{Н.ВЫХ}$ сигналов, связаны между собой через коэффициент преобразования

$$A_{н.вых} = K \cdot A_{н.вх} \quad (6)$$

При соблюдении этого условия значения приведенной погрешности, приведенные ко входу и выходу измерительного преобразователя, совпадают.

7.3.1 Связь между приведенной и абсолютной погрешностями определяется по формуле

$$\gamma = \frac{\Delta_{ОСН.ВЫХ}}{A_{н.вых}} \cdot 100 = \frac{\Delta_{ОСН.ВХ}}{A_{н.вх}} \cdot 100, \quad (7)$$

где γ – приведенная погрешность, выраженная в % от нормирующего значения.

7.3.2 Связь между приведенной и относительной погрешностями

$$\gamma = \frac{\delta \cdot X_{\delta}}{A_{н.вх}} = \frac{\delta \cdot Y_{\delta}}{A_{н.вых}} \quad (8)$$

Выбор значений Y_{δ} и X_{δ} см. 7.4.

7.4 Приведение к относительной погрешности.

Для измерительных преобразователей значения входного и выходного сигнала Y_{δ} и X_{δ}, в процентах от которых выражается относительная погрешность, принимают равными приращению входного и выходного сигналов, соответственно, к начальным точкам диапазонов их изменений, в пределах которых они несут информацию об измеряемой величине. Для линейных НФП, проходящих через начало координат, указанные приращения совпадают со значениями входного и выходного сигналов. Выбор значений Y_{δ} и X_{δ} для линейных НФП вида (2) иллюстрируют примеры на рисунке 2.

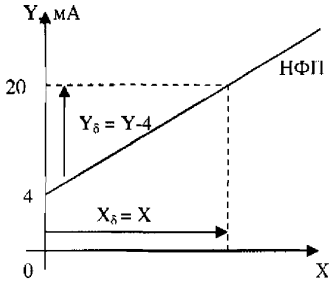


Рисунок 2а – Подавление нуля выходного сигнала, например датчика

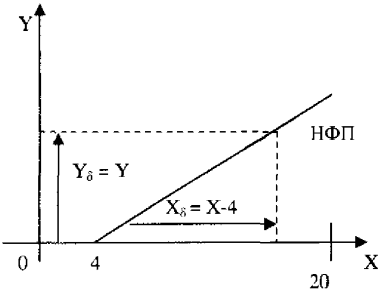


Рисунок 2б – При подавлении нуля входного сигнала, например АЦП

При таком выборе значений Y_δ и X_δ относительные погрешности приведенные ко входу и выходу измерительного преобразователя совпадают.

7.4.1 Связь между относительной и абсолютной погрешностями определяется по формуле

$$\delta = \frac{\Delta_{ОСН.ВХ}}{X_\delta} \cdot 100 = \frac{\Delta_{ОСН.ВЫХ}}{\mathrm{Y}_\delta} \cdot 100 \qquad (9)$$

7.4.2 Связь между относительной и приведенной погрешностями

$$\delta = \frac{\gamma \cdot A_{н.вх}}{X_\delta} = \frac{\gamma \cdot A_{н.вых}}{\mathrm{Y}_\delta}, \qquad (10)$$

где δ и γ – относительная и приведенная погрешности, выраженные в %.

8 Расчет характеристик погрешности измерительных компонентов для рабочих условий применения

В основу расчета характеристик погрешности положены следующие представления об исходных данных.

8.1 Основная погрешность измерительного компонента в каждой точке диапазона изменения входного (выходного) сигнала представляет собой случайную величину на множестве однотипных компонентов, закон распределения которой относится к группе симметричных, одномодальных, усеченных законов распределения, наихудшим из которых (дающим оценку сверху расчетной характеристике – среднему квадратическому отклонению погрешности измерительных компонентов, распределенной на их совокупности), является закон равномерной плотности.

8.2 Каждая влияющая величина представляет собой случайную величину, математическое ожидание которой совпадает с ее нормальным значением, а закон распределения относится к группе законов, указанных выше в 8.1. Влияющие величины некоррелированы между собой. Предел допускаемой j

дополнительной погрешности (границы усечения) $\Delta_{\text{доп. вых j}}$ (или $\Delta_{\text{доп. вх. j}}$) определяют из соотношения

$$\Delta_{ДОП.ВЫХj} \approx K_{вых.\xi j} \cdot \max\Delta\xi_j , \qquad (11)$$

где $K_{вых.\xi j}$ - номинальное значение коэффициента влияния j-ой влияющей величины;

$\max\Delta\xi_j$ - наибольшее по модулю отклонение j-ой влияющей величины от нормального значения.

Если нормировано наибольшее допускаемое отклонение $\Delta_{\text{вых.доп.н.j}}$ погрешности, вызванное нормированным отклонением влияющей величины $\Delta\xi_{\text{н.j}}$ от нормального значения, то коэффициент влияния вычисляется по формуле.

$$K_{вых.\xi j} = \frac{\Delta_{ДОП.ВЫХн.j}}{\Delta\xi_{н.j}} \qquad (12)$$

Примечание – Для остальных форм выражения погрешности характеристики вычисляются аналогично (11) и (12)

8.3 Среднее квадратичное отклонение погрешности i-го измерительного компонента в рабочих условиях применения σ_i в зависимости от формы выражения исходной информации вычисляют по одной из формул

$$\sigma_{i\text{вых}}(\Delta) = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{\Delta^2_{\text{осн. вых i}} + \sum_{j=1}^{z} \Delta^2_{\text{доп. вых i, j}}} ; \qquad (13)$$

$$\sigma_{i\text{вх}}(\Delta) = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{\Delta^2_{\text{осн. вх i}} + \sum_{j=1}^{z} \Delta^2_{\text{доп. вх i, j}}} ; \qquad (14)$$

$$\sigma_i(\gamma) = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{\gamma^2_{\text{осн.i}} + \sum_{j=1}^{z} \gamma^2_{\text{доп. i, j}}} ; \qquad (15)$$

$$\sigma_i(\delta) = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{\delta^2_{\text{осн.i}} + \sum_{j=1}^{z} \delta^2_{\text{доп. i, j}}} , \qquad (16)$$

Где $\Delta_{доп.вых.i,j}$, $\Delta_{доп.вх.i,j}$, $\gamma_{доп.i,j}$, $\delta_{доп.i,j}$- пределы допускаемой j-ой дополнительной погрешности в соответствующей форме выражения;

z_i – количество влияющих величин для i-го измерительного компонента.

9 Приведение характеристик погрешности измерительных компонентов к одной и той же точке простого измерительного канала

Измерительные компоненты системы преобразуют «полезный» сигнал вместе с погрешностями, возникающими в ИК. На рисунке 3 отражен механизм трансформации и «накопления» абсолютных погрешностей в простом ИК с линейной НФП, проходящей через начало координат.

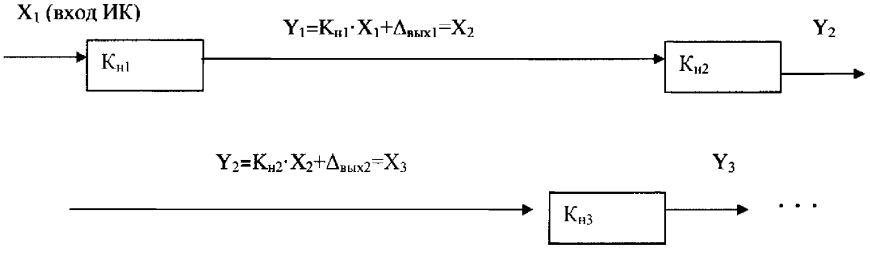


Рисунок 3 – «Накопление» погрешностей в простом ИК

На рисунке $К_{н1}$, $К_{н2}$, $К_{н3}$, … - измерительные преобразователи с номинальными коэффициентами преобразования $К_{п}$.

Прежде чем объединять составляющие погрешности ИК необходимо привести их к одной и той же точке ИК, обычно к его выходу. Формулы приведения к выходу ИК средних квадратичных отклонений абсолютных погрешностей измерительных компонентов (13), (14) в рабочих условиях применения зависят от способа выражения исходной информации.

Для абсолютных погрешностей измерительных компонентов приведенных к их выходу (13)

$$\sigma_{i.вых.ИК} = \prod_{r=i+1\le n}^{n} K_{п.г} \cdot \sigma_{i,вых}(\Delta) \qquad (17)$$

Для абсолютных погрешностей измерительных компонентов, приведенных к их входу (14)

$$\sigma_{i.вых.ИК} = \prod_{r=i}^{n} K_{н.г} \cdot \sigma_{i.вх}(\Delta) \qquad (18)$$

где $\sigma_{i.вых.ИК}(\Delta)$ - среднее квадратичное отклонение абсолютной погрешности в рабочих условиях применения i-го измерительного компонента, приведенное к выходу ИК;

$\prod$ - символ произведения;

i – порядковый номер измерительного компонента в ИК (см. рисунок 3);

n – общее количество измерительных компонентов в ИК.

Приведенные погрешности, а также и относительные погрешности имеют одно и то же значение в любой точке ИК при соблюдении указаний 6.3 и 6.4 и выполнении условия (для приведенных погрешностей): все нормирующие значения $A_{i.н.вых}$ измерительных компонентов, выраженные в единицах входного сигнала, приведенные к выходу ИК:

$$A_{i.н.вых.ИК} = \prod_{r=i+1\le n}^{n} K_{н.г} \cdot A_{i.н.вых} \qquad (19)$$

совпадают между собой. В этом случае операция приведения этих погрешностей к одной и той же точке ИК не требуется.

10 Суммирование (объединение) составляющих погрешности простого измерительного канала

Количество составляющих погрешности простого ИК (основные и дополнительные погрешности *n* измерительных компонентов, образующих простой ИК) в современных ИС превышает 3. При некоррелированных погрешностях измерительных компонентов закон распределения погрешности ИК аппроксимируется усеченным нормальным распределением. Для практических расчетов допустимо пользоваться справочными данными о

нормальном распределении, при этом коэффициент 1,96 рекомендуется округлять до значения 2.

Границы интервала абсолютной погрешности ИК, соответствующие вероятности 0,95, $\Delta_{ИК(P=0,95)}$ определяются выражением

$$\Delta_{ИК(P=0,95)} = \pm 2{,}0 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left[\sigma_{i.вых.ИК}(\Delta)\right]^2}, \qquad (20)$$

где $\sigma_{i.вых.ИК}(\Delta)$ - в соответствии с (17) или (18)

Примечание – Номинальный коэффициент преобразования простого ИК равен единице. Поэтому, абсолютные погрешности ИК, приведенные к его входу и выходу совпадают.

Границы интервала приведенной и относительной погрешности ИК, соответствующие вероятности 0,95 - $\gamma_{ИК(0,95)}$ и $\delta_{ИК(0,95)}$, соответственно, определяются выражениями:

$$\gamma_{ИК(P=0,95)} = \pm 2{,}0 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \sigma_i^2(\gamma)}, \qquad (21)$$

где $\sigma_i(\gamma)$ в соответствии с (15)

$$\delta_{ИК(P=0,95)} = \pm 2{,}0 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \sigma_i^2(\delta)}, \qquad (22)$$

где $\sigma_i(\delta)$ в соответствии с (16).

В число составляющих погрешности ИК должны быть включены погрешности, вносимые связующими компонентами и погрешности взаимодействия измерительных компонентов, если они существенны по сравнению с другими составляющими.

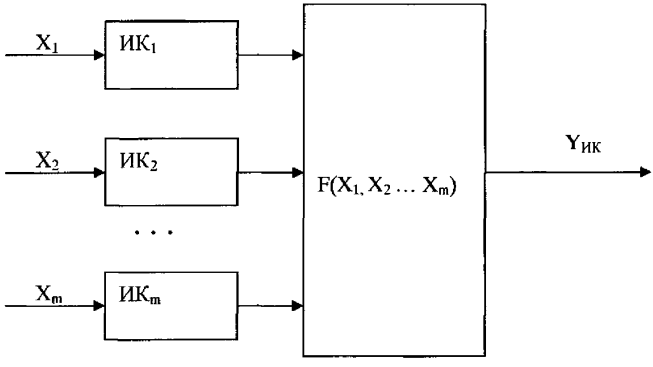
Методы расчета определяются исходными данными, нормированными для этих составляющих погрешности ИК.

Характеристики погрешности измерительных компонентов могут нормироваться одним числом или функциональной зависимостью в диапазоне изменений входного (выходного) сигнала.

Если формы выражения характеристик погрешности всех измерительных компонентов, образующих ИК, совпадают между собой (абсолютные или приведенные или относительные), то характеристики погрешности ИК также будут выражаться или одним числом, или функциональной зависимостью. Если характеристики погрешности части измерительных компонентов выражаются как относительные, а другой части как абсолютные или приведенные, то характеристики погрешности ИК выражаются функциональной зависимостью.

11 Особенности расчета характеристик погрешности сложных измерительных каналов

11.1 Рассчитывают средние квадратичные отклонения погрешности каждого простого ИК, входящего в состав сложного ИК (рисунок 4)



$X_1, X_2 \ldots X_m$ – величины, измеряемы прямым методом;

$ИК_1, ИК_2 \ldots ИК_m$ – простые ИК, входящие в состав сложного ИК

$Y_{ИК}$ – выходной сигнал (показания) сложного ИК

$F(X_1, X_2 \ldots X_m)$ – функциональная зависимость косвенно измеряемой величины $Y_{ИК}$ от величин, измеряемых прямым методом.

Рисунок 4 – Сложный ИК системы

11.2 Границы интервала, соответствующие вероятности 0,95, абсолютной погрешности сложного ИК вычисляют по выражению

$$\Delta_{Y.ИК(P=0,95)} = \pm 2{,}0 \cdot \sqrt{\sum_{s=1}^{m} \left[K_S \cdot \sigma_{YS}(\Delta)\right]^2}, \quad (23)$$

где m – количество величин измеряемых прямым методом;

s – номер простого ИК, входящего в сложный ИК.

$$K_S = \frac{\partial F(X_1, X_2 \ldots X_m)}{\partial X_S} \quad (24)$$

$$\sigma_{yS}(\Delta) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left[\sigma_{i.вых.ИК}(\Delta)\right]^2} \quad (25)$$

В частном случае, если функция $F(X_1, X_2 \ldots X_m)$ представляет собой сумму величин измеряемых прямым методом, то границы интервала, соответствующие вероятности 0,95, абсолютной погрешности сложного ИК вычисляют по выражению

$$\Delta_{Y.ИК(P=0,95)} = \pm 2{,}0 \cdot \sqrt{\sum_{s=1}^{m} \sigma_{Ys}^2(\Delta)} \quad (26)$$

11.3 Границы интервала, соответствующие вероятности 0,95 относительной погрешности сложного ИК вычисляют в следующей последовательности:

- преобразуют исходные данные о характеристиках погрешности простых ИК в форму, соответствующую абсолютной погрешности в соответствии с рекомендациями раздела 7;

- вычисляют границы интервала, соответствующие вероятности 0,95, абсолютной погрешности сложного ИК в соответствии с формулой (23) $\Delta_{Y.ИК(P=0,95)}$ для соответствующей точки диапазона измерений косвенно измеряемой величины $Y_{ИК}$.

- вычисляют в % границы интервала, соответствующие вероятности 0,95, относительной погрешности сложного ИК для той же точки диапазона измерений:

$$\delta_{У.ИК(P=0,95)} = \frac{\Delta_{У.ИК(P=0,95)}}{F(X_1, X_2 ... X_m)} 100 \qquad (27)$$

В частном случае, если функция $F(X_1,X_{2...}X_m)$ представляет собой произведение величин, измеряемых прямым методом, то границы интервала, соответствующие вероятности 0,95, относительной погрешности сложного ИК вычисляют по выражению:

$$\delta_{У.ИК(P=0,95)} = \pm 2,0 \cdot \sqrt{\sum_{s=1}^{m} \sigma^2_{IS}(\delta)} \qquad (28)$$

11.4 Характеристики приведенной погрешности для сложного ИК не применяют.

11.5 При невозможности или нецелесообразности использования аналитического описания алгоритма вычисления величины, измеряемой косвенным методом, применяют статистическое моделирование погрешности сложного ИК. Для этого выполняют следующие операции.

11.5.1 Составляют матрицу возможных N комбинаций значений величин, измеряемых прямым методом, выбирая по пять точек в диапазоне измерений каждой величины. Число комбинаций N определяет количество точек диапазона измерений косвенно измеряемой величины, для которых определяются характеристики погрешности сложного ИК.

11.5.2 Определяют в соответствии с формулой (25) среднее квадратичное отклонение абсолютной погрешности простых ИК в выбранных в 11.5.1 точках.

11.5.3 В соответствии с выбранными в 11.5.1 точках диапазона измерений простых ИК задают от генератора случайных чисел на каждый вход процессора системы, воспринимающего сигналы с выхода простых ИК и реализующего алгоритм вычисления косвенно измеряемой величины, комбинации нормально распределенных сигналов с параметрами:

математическое ожидание равно значению величины, измеряемой прямым методом, в выбранной точке; среднее квадратичное отклонение равно среднему квадратичному отклонению погрешности простого ИК в той же точке измерений.

11.5.4 По результатам статистического моделирования определяют границы интервала для вероятности 0,95 погрешности сложного ИК. Если границы интервала располагаются несимметрично относительно значения косвенно измеряемой величины в данной точке ее диапазона измерений, то за оценку границ интервала погрешности сложного ИК принимают симметричный интервал, модуль границ которого равен наиболее удаленной от точки диапазона измерений косвенно-измеряемой величины границе несиммеметричного интервала, полученного при статистическом моделировании.

Примечание – На основе (13), (14), (15), (16) и (20), (21), (22) могут быть получены формулы для расчета характеристик $\Delta_{ИК(P=0,95)}$; $\gamma_{ИК(P=0,95)}$; $\delta_{ИК(P=0,95)}$, в которых под корнем используются исходные данные в виде пределов допускаемых значений составляющих погрешности ИК (т.е. границы интервалов погрешностей, соответствующие вероятности P = 1), при этом коэффициент перед корнем будет равен 1,15.

Лист согласования

МУ 1.2.1.16.0047-2011 «Методика расчета метрологических характеристик измерительных каналов систем атомных станций»

Первый заместитель директора по производству и эксплуатации АЭС	О.Г. Черников
Заместитель директора по производству и эксплуатации АЭС – директор Департамента инженерной поддержки	Н.Н. Давиденко
Заместитель директора Департамента инженерной поддержки – начальник отдела диагностики и ресурса	Ю.П. Тетерин
Главный технолог Департамента инженерной поддержки	К.Ш. Юзмиев
Нормоконтролёр	М.А. Михайлова

Лист согласования
МУ 1.2.1.16.0047-2011 «Методика расчета метрологических характеристик измерительных каналов систем атомных станций»

СОГЛАСОВАНО

Главный инженер филиала ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Балаковская атомная станция»	Исх. от 25.11.2011 № ОМ-1-35/17015
Главный инженер филиала ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Белоярская атомная станция»	Исх. от 24.11.2011 № 35-01/08
Главный инженер филиала ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Билибинская атомная станция»	Исх. от 25.11.2011 № 50/6851
Главный инженер филиала ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция»	Исх. от 23.11.2011 № 35-35/544э
Главный инженер филиала ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Калининская атомная станция»	Исх. от 24.11.2011 № 05-11/6671
Главный инженер филиала ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Кольская атомная станция»	Исх. от 24.11.2011 № 28/14-14391
Главный инженер филиала ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Курская атомная станция»	Исх. от 25.11.2011 № 34/20195
Главный инженер филиала ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Ленинградская атомная станция»	Исх. от 29.11.2011 № 9/Ф04/33/1-вн
Главный инженер филиала ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская атомная станция»	Исх. от 28.11.2011 № 433/2011-ОМ
Главный инженер филиала ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Смоленская атомная станция»	Исх. от 25.11.2011 № 31-10/5710

Лист визирования

МУ 1.2.1.16.0047-2011 «Методика расчета метрологических характеристик измерительных каналов систем атомных станций»

Директор Технологического филиала С.А. Карпутов

Заместитель директора
Технологического филиала В.В. Никифоров

Главный метролог концерна –
начальник НИЦМ Технологического филиала И.А. Кириллов

Лист визирования МУ 1.2.1.16.0047-2011

«Методика расчета метрологических характеристик измерительных каналов систем атомных станций»

Начальник отдела метрологического обеспечения измерительных систем ФГУП «ВНИИМС» И.М. Тронова

Главный научный сотрудник ФГУП «ВНИИМС» В.П. Кузнецов

Ведущий инженер отдела метрологического обеспечения измерительных систем ФГУП «ВНИИМС» И.М. Каширкина

gost.e-ecolog.ru