РЕКОМЕНДАЦИЯ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ. ВЫБОР МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕТОДИК ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

МИ 1967—89

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ
Москва
1989

gost.e-ecolog.ru

УДК 389.14 : 089.6 Группа Т80

РЕКОМЕНДАЦИЯ

ГСИ. Выбор методов и средств измерений при разработке методик выполнения измерений. Общие положения

МИ 1967—89

В настоящей рекомендации излагаются общие указания по выбору методов и средств технических измерений, осуществляемому в процессе разработки методик выполнения измерений (МВИ).

В отношении выбора типов средств измерений данная рекомендация касается только их метрологических характеристик. В настоящей рекомендации не даются требования, касающиеся степени автоматизации измерений, трудоемкости метрологического обслуживания средств измерений и других факторов, связанных с эксплуатационными, эргономическими и т. п. свойствами МВИ.

Выбор методов и средств измерений по заданным исходным данным определяет высококвалифицированный персонал, хорошо знакомый с физическими основами измерений, методами нормирования метрологических характеристик и расчета по ним погрешностей средств измерений в реальных условиях их применения, с методами представления и использования результатов и погрешностей измерений, методами расчета результатов и погрешностей косвенных измерений. Нормативно-техническими и методическими документами, в которых заложены основы указанных методов, являются:

ГОСТ 8.009—84 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений»;

«Методический материал по применению ГОСТ 8.009—84»;

РД 50—453—84 «Методические указания. Характеристики погрешности средств измерений в реальных условиях эксплуатации. Методы расчета»;

МИ 1317—86 «Методические указания. ГСИ. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров»;

МИ 1730—87 «Методические указания. ГСИ. Погрешности косвенных измерений параметров процессов. Методы расчета».

© Издательство стандартов, 1989

Настоящая рекомендация предназначена служить руководством для разработки частных инструкций или других документов (отраслевых, предприятия и др.), регламентирующих применительно к конкретным видам изделий или процессов правила выбора методов и средств измерений, применяемых при исследованиях, разработке, испытаниях, контроле и других операциях, включающих в себя измерения.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Выбор методов и средств измерений в процессе разработки МВИ осуществляется на основании следующих задаваемых исходных данных:

вида и, при необходимости, описания: объектов измерений; свойства объекта, которое должно быть определено в соответствии с поставленной задачей измерений; других свойств объекта измерений, способных влиять на погрешности измерений;

вида измеряемой величины, диапазона ее возможных значений, наибольшей возможной частоты (скорости) ее изменения, вида (определенная детерминированная функция, случайная функция и т. п.) и частотного спектра процесса (сигнала), информативным параметром которого является измеряемая величина (если она является параметром или функционалом какого-либо процесса).

Последние данные принимаются в качестве исходных в тех случаях, когда в соответствии с поставленной задачей измерений и видом объекта измерений не возникают затруднения в выборе величины, которая должна быть принята за измеряемую. Если этот выбор не очевиден, на основании остальных заданных исходных данных должна быть сформирована модель объекта измерений и в качестве измеряемой величины должен быть выбран определенный параметр или функционал параметров модели объекта измерений. После этого устанавливаются необходимые для выбора методов и средств измерений характеристики измеряемой величины;

характеристики внешних условий проведения измерений и режимов работы объектов измерений (далее — внешних условий), способных влиять на погрешности измерений;

пределы допускаемых характеристик погрешности измерений, которым должны удовлетворять все (любые) результаты измерений, полученные путем применения реализаций разрабатываемой МВИ (требования к погрешностям МВИ) в заданных условиях.

Степень конкретности задаваемых исходных данных существенно влияет на близость характеристик погрешности измерений, определяемых расчетным путем в процессе выбора методов и средств измерений, к действительным характеристикам погрешности измерений, присущим данной МВИ при заданных условиях.

Примечание. МВИ могут быть предназначены для использования в более общих, чем измерения, операциях получения некоторых конечных результатов (результатов испытаний, контроля изделий, технической диагностики машин и др.). При этом результаты измерений представляют собой промежуточ-

ные результаты, по которым конечные результаты определяются на основании известных функциональных связей конечных результатов с результатами измерений. Требования к погрешностям подобных МВИ устанавливаются на основании известных функциональных связей показателей степени правильности конечных результатов с погрешностями измерений и заданных допускаемых значений этих показателей.

Для операций испытаний образцов продукции и контроля параметров образцов продукции соответствующие функциональные связи, а также инженерные способы определения погрешностей испытаний образцов продукции и показателей достоверности контроля параметров образцов продукции по известным характеристикам погрешностей измерений приведены в МИ 1317—86. Пользуясь формулами и графиками, приведенными в МИ 1317—86, можно решать и обратную задачу: определять пределы допускаемых *характеристик погрешностей измерений по заданным допускаемым* характеристикам погрешностей испытаний образцов продукции или допускаемым показателям достоверности контроля параметров образцов продукции.

1.2. Выбор методов и средств измерений по заданным исходным данным является многовариантной задачей, приемлемое метрологическое решение которой может быть получено при разных соотношениях составляющих погрешности измерений, т. е. при разных МВИ. Рациональным надо считать такое решение данной задачи, при котором минимизируются затраты на измерения (в том числе, на метрологическое обслуживание средств измерений) при условии обеспечения заданных пределов допускаемых характеристик погрешности измерений в заданных условиях с учетом всех, не только метрологических, требований к МВИ.

1.3. Выбор методов и средств измерений должен основываться на учете следующих факторов, характерных для задач измерений и для МВИ.

1.3.1. Измеряемая величина соответствует некоторой модели объекта измерений, принятой за адекватно отражающую свойства объекта, которые должны изучаться путем измерений (МИ 1317—86). Между тем, любая принятая модель практически лишь *приближенно* отражает изучаемые свойства объекта измерений.

Примеры:

1. При планировании измерений электрического выходного напряжения $u\ (t)$ генератора с целью изучения выделяемой в нагрузке мощности, в качестве измеряемой величины следует принять действующее (эффективное) значение напряжения

$$U=\sqrt{\frac{1}{T}\int_{t}^{t+T}u^2\ (t)\ dt}, \qquad (1)$$

где T — интервал времени, на котором определяется действующее значение напряжения; t—текущее время.

На основе априорной информации о схеме генератора необходимо уточнить функционал (1) для того, чтобы возможно было

выбрать тип средства измерений напряжения (в частности, по рабочему диапазону частот). Может оказаться возможным принять модель выходного напряжения генератора в виде процесса, изменяющегося во времени по синусоидальному закону. Тогда для ориентировочного выбора типа средства измерений напряжения функционал (1) можно записать в виде

$$U^* = \sqrt{\frac{U_м^2}{2\pi}\int_0^{2\pi} \sin^2 \omega t \cdot d\omega t} = \frac{U_м}{\sqrt{2}}, \qquad (2)$$

где $U_м$ и ω — амплитуда и круговая частота синусоидального напряжения. При расчете погрешности измерений необходимо учитывать, что в действительности выходное напряжение может отличаться от чисто гармонического и представлять собой сумму гармоник (если модель выходного напряжения генератора выбрана верно, первая гармоника должна превалировать). Поэтому при расчете погрешности измерений надо считать, что измеряемая величина в действительности должна выражаться функционалом

$$U^{**} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{U_{мi}^2}{2\pi}\int_0^{2\pi} \sin^2 i\,\omega t di\,\omega t}. \qquad (3)$$

Вследствие этого погрешность средства измерений может содержать дополнительную «частотную» составляющую, вызванную влиянием на выходной сигнал средства измерений высших гармоник напряжения генератора.

2. При планировании измерений внутреннего диаметра втулки для изучения возможной степени уплотнения сочленения втулки с проходящим через нее валом, на основе априорной информации о конструкции втулки принята модель внутренней поверхности втулки в виде прямого кругового цилиндра. При этом в качестве измеряемой величины может быть принят внутренний диаметр втулки в любом ее поперечном сечении при любой угловой координате.

В действительности, внутренняя поверхность втулки вследствие особенностей технологии ее изготовления может несколько отличаться от прямого кругового цилиндра, например, может обладать некоторой конусностью, а поперечные сечения могут несколько отличаться от окружности. Поэтому принятая измеряемая величина — диаметр в любом поперечном сечении при любой угловой координате — не полностью соответствует и свойствам самой втулки, и задаче, для решения которой проводятся измерения, и определению возможной степени уплотнения сочленения втулки с валом.

1.3.2. Возможно использование вторичного процесса (см. Приложение). Процесс характеризуется определенной функциональной зависимостью своего информативного параметра от измеряемой величины. Эта функция, в общем случае, содержит ряд па-

раметров, не зависящих от измеряемой величины, но изменения которых могут влиять на погрешность измерений. Эти параметры могут изменяться самопроизвольно или под воздействием каких-либо факторов в пределах, которые при анализе погрешностей МВИ должны быть установлены.

Примечание. Далее в рекомендации не будут различаться измеряемая величина и информативный параметр вторичного процесса.

1.3.3. Измеряемая величина (при косвенных измерениях — величина, подвергаемая прямым измерениям) передается от объекта измерений средству (средствам) измерений в общем случае так, что не обеспечивается строгое равенство размеров измеряемой величины у объекта измерений и на входе средства измерений.

Пример. При прямом измерении внутреннего диаметра втулки средство измерений не может быть практически установлено так, чтобы воспринимать строго длину именно того отрезка, который принят «по определению» за диаметр втулки: средство измерений практически невозможно установить строго в плоскости поперечного сечения и по диаметру; оно практически устанавливается в плоскости, лишь близкой к плоскости поперечного сечения, и по хорде, лишь близкой к диаметру.

1.3.4. При косвенных измерениях результат измерений вычисляют по результатам прямых измерений. Если при этом измеряемой величиной является функция нескольких аргументов, прямым измерениям подвергаются эти аргументы. Если измеряемой величиной является функционал функции одного аргумента, прямым измерениям подвергается функция при разных значениях аргумента.

1.3.5. При косвенных измерениях результат измерений вычисляется (автоматически или оператором) по определенному алгоритму (формуле), не всегда строго идентичному принятому «определению» измеряемой величины.

1.3.6. Косвенные измерения функционалов непрерывных функций могут проводиться с использованием прямых измерений функций при дискретных значениях их аргументов.

Примеры:

1. Средняя температура $\bar{\Theta}$ газа в объеме V, по определению, выражается

$$\bar{\Theta}=\frac{1}{V}\int_V \Theta(x, y, z)\, dv, \qquad (4)$$

где $\Theta(x, y, z)$ — температура газа в точке с координатами x, y, z внутри объема V.

При измерении средней температуры $\bar{\Theta}$ она может вычисляться по результатам $\tilde{\Theta}_i$ прямых измерений температуры Θ_i в конечном числе n точек объема V по формуле

$$\tilde{\bar{\Theta}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \tilde{\Theta}_i. \qquad (5)$$

По формуле (5) вычисляется результат косвенного измерения средней температуры, когда прямые измерения температуры проводятся в дискретных точках пространства объемом V.

2. Действующее значение электрического напряжения $u(t)$, по определению, выражается формулой (1).

Измеряться действующее значение напряжения может путем прямых измерений мгновенных значений напряжения $u(t_i)$ в дискретные моменты времени t_i и вычислений по формуле

$$\tilde{U} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \tilde{u}^2(t_i)}, \qquad (6)$$

где $\tilde{u}(t_i)$ — результат прямого измерения напряжения в i-й момент времени; n — число дискретных моментов времени, в которые проводятся прямые измерения; $\tilde{U}$ — результат косвенного измерения действующего значения U напряжения $u(t)$.

1.3.7. При косвенных измерениях на погрешность измерений может влиять корреляция погрешностей прямых измерений, по результатам которых вычисляется результат косвенных измерений.

Взаимная корреляция погрешностей прямых измерений может быть обусловлена: взаимным пространственным расположением каналов прямых измерений, плохим экранированием; зависимостью погрешностей разных средств измерений, применяемых при данных косвенных измерениях, от одних и тех же влияющих величин и др.

Автокорреляция погрешностей прямых измерений может оказаться существенной, если погрешности прямых измерений представляют собой случайные процессы, обладающие, низкочастотным спектром.

1.3.8. В МВИ применяются средства измерений и другие технические средства определенных типов. Свойства всех технических средств, применяемых в МВИ, отражены их метрологическими (для средств измерений) и техническими (для любых технических средств) характеристиками, нормированными в нормативно-технических документах на применяемые типы технических средств. Метрологические характеристики средств измерений оказывают влияние на погрешности измерений. Влияние на погрешности измерений могут, в принципе, оказывать и технические характеристики других (вспомогательных) технических средств, применяемых в МВИ.

Для повышения точности измерений может быть предусмотрено в МВИ применение средств измерений определенных типов, но при условии их предварительной метрологической аттестации, при ко-

торой определяются действительные значения метрологических характеристик, индивидуальные для применяемых в МВИ экземпляров средств измерений. Это позволит при расчете характеристик погрешностей измерений (пп. 4.3.1—4.3.3) пользоваться не нормированными, а действительными для примененных экземпляров средств измерений значениями метрологических характеристик. Подобное усложнение МВИ допустимо только при условии такой высокой стабильности во времени метрологических характеристик применяемых экземпляров средств измерений, что их можно считать практически неизменными на интервалах времени между периодическими метрологическими аттестациями экземпляров средств измерений.

1.3.9. Измерения по данной МВИ могут осуществляться с участием оператора, отсчитывающего показания по шкалам измерительных приборов, диаграммам регистрирующих приборов неизбежно с некоторыми погрешностями.

1.4. Выбор методов и средств измерений в процессе разработки МВИ проводится следующими этапами: а) предварительный выбор методов и средств измерений, заканчивающийся разработкой первого проекта МВИ; б) определение характеристик погрешностей измерений, характеризующих первый (и последующие) проект МВИ; в) сравнение характеристик погрешностей измерений, свойственных первому (и последующим) проекту МВИ, с заданными пределами допускаемых характеристик погрешностей измерений; г) принятие решения об окончании разработки МВИ или о необходимости внесения изменений в первый (и последующие) проект МВИ; д) внесение изменений в МВИ, если это признано необходимым на этапе г). Этапы д), б), в), г) повторяются до достижения требуемых (заданных) свойств МВИ. На этом выбор методов и средств измерений (разработка МВИ) заканчивается.

2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ВЫБОР МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

2.1. Предварительный выбор методов и средств измерений осуществляется следующими этапами.

Примечание. Этапы по пп. 2.1.3.—2.1.5 взаимосвязаны. Они могут осуществляться в другом порядке, совместно, с повторением всех этих этапов или некоторых из них.

2.1.1. Если соответствие заданного вида измеряемой величины тому свойству объекта измерений, которое должно быть определено в данной задаче измерений, не представляется очевидным, рекомендуется проверить правильность вида измеряемой величины.

Для этого на основе априорно известных свойств объекта измерений и задачи измерений (получение некоторого конечного результата, информации для непосредственного принятия решения и др.), в соответствии с рекомендациями МИ 1317—86, следует составить модель объекта измерений и выделить в ней тот параметр

(или функционал параметров), который должен быть принят за измеряемую величину.

2.1.2. В состав заданных исходных данных должны входить пределы допускаемых характеристик погрешности измерений. Но если МВИ предназначена для использования при испытаниях продукции или при контроле параметров образцов продукции, то в состав заданных исходных данных, вместо допускаемых характеристик погрешности измерений, можно включать пределы допускаемых характеристик погрешности испытаний образцов продукции или показателей достоверности контроля параметров образцов продукции, рекомендованных в МИ 1317—86.

2.1.3. Устанавливают вид измерений, используемых в МВИ для определения значений измеряемой величины — прямые или косвенные.

2.1.4. На основании исходных данных; решения, принятого по п. 2.1.3; обзора существующих видов средств измерений, которые, предположительно, смогли бы применяться в разрабатываемой МВИ, устанавливают, необходимо ли использовать вторичный процесс и его информативный параметр, отражающий искомое свойство объекта измерений (прямых).

Вторичный процесс используется в случаях, когда невозможно или нецелесообразно применение такого средства измерений, которое может непосредственно воспринимать измеряемую величину (или процесс, информативным параметром которого она является).

Выбранный вторичный процесс и его информативный параметр определяют принятый в МВИ метод (методы) преобразования измеряемой величины во входной сигнал средства измерений.

Пример. Если измеряемой величиной является температура некоторой среды в определенном диапазоне значений, на основе обзора существующих средств измерений температуры, с учетом как заданного диапазона измеряемой температуры, так и других факторов МВИ, в качестве вторичного процесса может быть выбрано тепловое излучение изучаемой среды. Информативным параметром вторичного процесса будет тогда интенсивность теплового излучения изучаемой среды.

2.1.5. На основании заданных исходных данных; решений, принятых по пп. 2.1.3; 2.1.4; требований к степени автоматизации измерений, к эксплуатационным, эргономическим и другим характеристикам МВИ устанавливают виды и типы используемых в МВИ средств измерений, а также других технических средств, таких, например, как вспомогательные источники энергии, средства автоматизации, средства вычислительной техники и др.

На данном этапе предварительный выбор типов средств измерений основывают на комплексе нормированных для них метрологических характеристик, других технических характеристик, рабочих условий применения типов средств измерений. На данном этапе производится ориентировочный расчет погрешностей средств измерений в реальных для данных МВИ условиях применения. При

этом можно руководствоваться общими рекомендациями, изложенными в «Методическом материале по применению ГОСТ 8.009—84», и методами расчета, изложенными в РД 50—453—84.

2.1.6. Составляют схему соединений средств измерений с объектом измерений, между собой (если их несколько), с другими техническими средствами.

2.1.7. Если предполагается, что для удовлетворения требований к погрешности МВИ необходимо будет при измерениях уменьшать влияние случайных составляющих погрешности измерений, предварительно устанавливают число измерений (наблюдений) и соответствующий алгоритм обработки их отдельных результатов.

2.1.8. Если предполагается, что для удовлетворения требований к погрешности МВИ необходимо будет при измерениях уменьшать систематические составляющие погрешности измерений, выбирают методику исключения (уменьшения) систематических составляющих погрешности.

2.2. В результате выполнения работ по пп. 2.1.1—2.1.8 предварительный выбор методов и средств измерений закончен, т. е. разработан первый проект МВИ.

3. ОБЩИЕ ПРАВИЛА И УСЛОВИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ

3.1. На основе заданных исходных данных и анализа первого проекта МВИ проводится расчет характеристик погрешностей измерений, которые могут быть присущи любым результатам измерений, получаемым при использовании реализаций данной МВИ в заданных условиях.

При расчете характеристик погрешностей измерений, соответствующих первому проекту МВИ, в качестве метрологических характеристик средств измерений принимают их нормированные значения.

3.2. Определяться должны именно те характеристики полной (суммарной) погрешности измерений, пределы допускаемых значений которых указаны в исходных данных для выбора методов и средств измерений (п. 1.1). Виды характеристик погрешностей измерений указаны в МИ 1317—86. Выбираются те характеристики (дисперсии или модули наибольших возможных значений) составляющих, суммированием которых определяется искомая характеристика полной (суммарной) погрешности измерений.

Примечание. При суммировании характеристик, составляющих погрешности измерений, могут применяться те же методы, которые рекомендованы в «Методическом материале по применению ГОСТ 8.009—84» и в РД 50—453—84 для суммирования составляющих погрешности средств измерений, а также другие обоснованные в каждом конкретном случае методы суммирования.

3.3. Если в МВИ предусмотрено уменьшение влияния случайной составляющей погрешности прямого измерения путем многократных прямых измерений (п. 2.1.7), то вместо ее характеристики в расчет вводят характеристику случайной погрешности среднего

арифметического результата многократных прямых измерений (при принятом их числе). При этом за окончательный результат прямого измерения принимают указанное среднее арифметическое.

3.4. Если в систематическую составляющую погрешности измерений (п. 2.1.8) входят составные части, значения которых постоянны и известны (или могут быть определены), последние могут быть исключены из погрешности измерений, т. е. могут быть введены поправки в результат измерений. Если в МВИ предполагается введение поправок в результаты измерений, то вместо характеристик систематической составляющей погрешности измерений как характеристик случайной величины (см. «Методический материал по применению ГОСТ 8.009—84»), в расчет вводят характеристики неисключенного остатка систематической погрешности как характеристики случайной величины. Тогда при измерениях по данной МВИ обязательно введение поправок в результаты измерений.

3.5. В зависимости от того, какие заданы характеристики внешних условий измерений, могут быть рассчитаны разные характеристики погрешности измерений в реальных условиях измерений.

3.5.1. Если заданы и при расчете используются конкретные значения влияющих величин с пренебрежимо малыми возможными отклонениями (например, температура окружающей среды (20±±2)°С; напряжение питания (220±5)В), то рассчитанные характеристики погрешностей измерений соответствуют применению реализаций МВИ именно при этих значениях влияющих величин.

3.5.2. Если заданы и при расчете используются нижние и верхние границы возможных значений влияющих величин (например, температура окружающей среды от минус 30 до плюс 50°С; напряжение питания от 180 до 230 В), то могут быть рассчитаны только наибольшие характеристики погрешностей измерений, соответствующие граничным условиям применения МВИ.

3.5.3. Если заданы (или предполагаются) и при расчете используются характеристики влияющих величин как случайных процессов, то могут быть рассчитаны характеристики погрешности измерений как функции случайного аргумента (влияющих величин). Методика подобного расчета характеристик погрешностей средств измерений (именно они дают вклад в погрешность измерений, зависящую от влияющих величин) изложена в Приложении «Методического материала по применению ГОСТ 8.009—84».

3.6. В зависимости от того, какие известны (из заданных исходных данных) временные или спектральные характеристики измеряемой величины или сигнала, информативным параметром которого является измеряемая величина, и динамические характеристики примененных в МВИ средств измерений (из нормативно-технических документов на средства измерений примененных типов), могут быть рассчитаны разные характеристики динамической погрешности средств измерений (см. «Методический материал по применению ГОСТ 8.009—84»).

3.6.1. Если известно время установления показаний измерительного прибора, то можно определить: а) интервал времени (начиная с момента изменения измеряемой величины, близкого по характеру к скачкообразному), после окончания которого допускается брать отсчет по шкале измерительного прибора; б) наибольшее возможное значение составляющей погрешности измерения, обусловленной динамическими свойствами измерительного прибора, при соблюдении условия а).

3.6.2. Если известны частотный спектр сигнала, информативным параметром которого является измеряемая величина, и полные динамические характеристики средств измерений, то возможно определить вероятностные характеристики динамической погрешности средств измерений.

3.7. При анализе первого проекта МВИ необходимо проверить, не возникают ли вследствие каких-либо особенностей МВИ (например, из-за применения вспомогательных технических средств, наличия каналов связи между техническими средствами МВИ и др.), дополнительные составляющие погрешности измерений, кроме рассмотренных в разделах 4 и 5. Их следует в расчете учесть, если они вызывают увеличение рассчитанных характеристик погрешностей измерений не менее, чем на 15—20 %.

При анализе первого проекта МВИ, если необходимо (отсутствует достаточная информация о свойствах методов и средств измерений), могут проводиться экспериментальные исследования для получения требуемых данных. Для этого нужно осуществить (изготовить) макет реализации МВИ, соответствующий первому проекту МВИ, или, если отсутствует информация о свойствах средств измерений, отобрать для исследований экземпляры средств измерений.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОГРЕШНОСТИ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

4.1. При расчете характеристик погрешности прямых измерений рекомендуется эту погрешность разделить на три группы составляющих: методическая, инструментальная, личная.

4.2. На основе исходных данных; анализа схемы соединений в МВИ средств измерений с объектом измерений, между собой и с другими техническими средствами, используемыми в МВИ; с учетом факторов МВИ, указанных в пп. 1.3.1—1.3.3, выявляют и определяют характеристики следующих возможных основных методических погрешностей прямых измерений.

4.2.1. Погрешность, обусловленная различием между принятой моделью объекта измерений и той (неизвестной) моделью, которая адекватно отражала бы свойства объекта измерений, изучаемые путем измерений, и (или) различием между параметром (функционалом) модели, принятым за измеряемую величину, и парамет-

ром (функционалом), «более адекватно» отражающим изучаемое свойство объекта измерений (п. 1.3.1).

Примеры:

1. В условиях примера 2 п. 1.3.1 внутренняя поверхность втулки в действительности представляет собой несколько отличающийся от прямого кругового цилиндра усеченный эллиптический конус. Поэтому можно считать, что задаче измерений соответствует принятие в качестве измеряемой величины не диаметра d внутренней окружности в любом поперечном сечении втулки (как принято в примере 2 п. 1.3.1), а например, функционала вида

$$D^* = \frac{1}{2m} \sum_{j=1}^{j=n=2} \left[\sum_{i=1}^{m} d(\alpha_{ij}) \right], \qquad (7)$$

где $n=2$ — количество поперечных сечений втулки, в каждом из которых проводятся m измерений диаметров d (α_i) эллипса, имеющих угловую координату $\alpha_i = 360/2m$ $(i-1)$; $i=1, \ldots m$.

Принятие в качестве измеряемой величины диаметра d окружности в любом поперечном сечении втулки приводит к методической погрешности, равной

$$\Delta_1 = d - D^*. \qquad (8)$$

2. В условиях примера 2 п. 1.3.1 втулка в действительности представляет собой искаженный усеченный эллиптический конус: образующие внутренней поверхности втулки представляют собой не прямые, а кривые, например, параболы малой кривизны. Поэтому можно считать, что задаче измерений соответствует принятие в качестве измеряемой величины, например, функционала вида

$$D^{**} = \frac{1}{nm} \sum_{j=1}^{n>2} \left[\sum_{i=1}^{m} d(\alpha_{ij}) \right]. \qquad (9)$$

Принятие в качестве измеряемой величины диаметра d внутренней окружности в любом поперечном сечении втулки приводит в данном случае к методической погрешности измерений, равной

$$\Delta_2 = d - D^{**}. \qquad (10)$$

Характеристики методических погрешностей (8) и (10) могут быть рассчитаны на основе исходной информации о возможных отклонениях формы внутренней поверхности втулки от прямого кругового цилиндра. В случае необходимости эти погрешности можно уменьшить, если вместо прямого измерения диаметра внутренней окружности применить косвенное измерение, приняв в качестве измеряемой величины функционал (7) или (9). Это привело бы к усложнению МВИ — к усложнению алгоритма определе-

ния результата измерений, но позволило бы уменьшить методическую погрешность измерений.

Примечание. Способы определения методической погрешности измерений, обусловленной неадекватностью принятой модели объекта измерений, относятся к наименее развитым областям метрологии. Это объясняется практическим отсутствием формальных методов установления таких моделей объектов измерений, которые строго адекватны объектам и задачам измерений. Поэтому определение данной методической погрешности измерений требует не только высокой квалификации, но также опыта и инженерной интуиции разработчиков МВИ.

4.2.2. Погрешность, обусловленная возможными отклонениями от номинальных значений параметров функции зависимости информативного параметра вторичного процесса от измеряемой величины (при использовании в МВИ вторичного процесса) (п. 1.3.2).

Пример. Функция зависимости информативного параметра y вторичного процесса от измеряемой величины x $y=f(\lambda, x)$ имеет неинформативный параметр λ. Его изменение $\Delta\lambda$ относительно номинального значения λ_0 вызывает изменение информативного параметра y вторичного процесса (т. е. соответствующую методическую погрешность измерений), равное $\Delta y=\partial f/\partial\lambda\,\Delta\lambda$. Здесь принято во внимание, что изменения $\Delta\lambda$ достаточно малы, так что в выражении для Δy членами, содержащими $(\Delta\lambda)^k$ при $k>1$ можно пренебречь.

4.2.3. Погрешность передачи величин, подвергаемых прямым измерениям, от объекта измерений средствам измерений (п. 1.3.3).

Примечание. В эту погрешность не входит составляющая погрешности измерений, обусловленная взаимодействием средств измерений с объектом измерений (см. «Методический материал по применению ГОСТ 8.009—84»), зависящая от свойств средств измерений и, следовательно, по определению, относящаяся к инструментальным погрешностям измерений.

Пример. В условиях примера 2 п. 1.3.1 для измерений внутреннего диаметра втулки следует установить чувствительный элемент средства измерений (например, ножки нутромера) в плоскости, строго перпендикулярной оси втулки. В действительности, практически всегда чувствительный элемент средства измерений устанавливается в плоскости, составляющей с осью втулки угол, близкий, но не равный точно 90°. Вследствие этого размер измеряемой величины, воспринимаемый средством измерений, отличается от размера диаметра d втулки на величину (на соответствующую методическую погрешность измерения), равную $\Delta d\approx d\alpha/2$, где α—малый угол между плоскостью, перпендикулярной оси втулки, и плоскостью, в которой расположен чувствительный элемент средства измерений.

4.3. В соответствии с «Методическим материалом по применению ГОСТ 8.009—84» к инструментальным погрешностям прямых измерений отнесены погрешности, зависящие от свойств средств измерений: погрешности средств измерений; составляющие погрешности измерений, обусловленные взаимодействием средств измерений с объектом измерений; составляющая погрешности изме-

рений, обусловленная конечной пространственной разрешающей способностью средств измерений.

4.3.1. Погрешность средств измерений, как правило, разделяют на следующие составляющие: основную погрешность; дополнительные погрешности; динамическую погрешность. Соответственно, в нормативно-технических документах в качестве метрологических характеристик средств измерений нормируют: характеристики основной погрешности средств измерений; характеристики чувствительности средств измерений к влияющим величинам; динамические характеристики средств измерений (ГОСТ 8.009—84).

На данном этапе разработки МВИ характеристики дополнительных и динамической погрешностей средств измерений определяют путем расчета по нормированным метрологическим характеристикам средств измерений выбранных типов и по исходным данным (п. 1.1). Общий подход к расчету характеристик погрешностей средств измерений в реальных условиях их применения изложен в «Методическом материале по применению ГОСТ 8.009—84»; методы расчета — в РД 50—453—84.

4.3.2. Характеристики составляющей погрешности прямых измерений, обусловленной взаимодействием средства измерений с объектом измерений, определяют путем расчета по соответствующей нормированной метрологической характеристике средств измерений данного типа (ГОСТ 8.009—84) и характеристике выходной цепи объекта измерений.

Для случая линейных выходной цепи объекта измерений и входной цепи средства измерений, потребляющего энергию от объекта измерений, метод расчета данной составляющей погрешности измерений изложен в «Методическом материале по применению ГОСТ 8.009—84».

4.3.3. При прямых измерениях величин, являющихся функцией пространственных координат, характеристики составляющей погрешности измерений, обусловленной конечной пространственной разрешающей способностью средств измерений, определяют путем расчета по характеристике разрешающей способности, нормированной для средств измерений выбранного типа, и по ориентировочному виду измеряемой функции пространственных координат, который (при необходимости учета данной составляющей погрешности измерений) должен быть приведен в составе исходных данных для выбора методов и средств измерений.

Примечание. Основы расчета инструментальной погрешности прямых измерений в реальных условиях применения средств измерений по их нормированным метрологическим характеристикам приведены в «Методическом материале по применению ГОСТ 8.009—84». См. также РД 50—453—84.

4.4. К личной погрешности измерений относят составляющую погрешности прямых измерений, обусловленную погрешностью отсчета оператором показаний по шкалам измерительных приборов, по диаграммам регистрирующих приборов и т. п. Характеристики личной погрешности определяют на основе нормированной (ГОСТ

8.009—84) номинальной цены делений шкалы измерительного прибора (или диаграммной бумаги регистрирующего прибора) выбранного типа с учетом способности «среднего» оператора к интерполяции в пределах деления шкалы.

Пример. Номинальная цена деления равномерной шкалы вольтметра равна $X_{дел}$ [В]. Длина деления равна $l_{дел}$ [мм]. Например, принято, что «средний» оператор может интерполировать в пределах деления шагами по 0,2 деления, т. е. по 0,2 $l_{дел}$. Тогда наибольшее значение личной погрешности рассчитывается по формуле

$$\Delta_{л.\,max} = \frac{X_{дел}}{l_{дел}}\ 0{,}2\ l_{дел} = 0{,}2\ X_{дел}. \qquad (11)$$

4.5. Расчет характеристик погрешности прямых измерений проводят в следующей последовательности.

Примечание. Характеристики составляющих полной (суммарной) погрешности прямых измерений выражают в масштабе и в единицах измеряемых величин.

4.5.1. Определяют по отдельности характеристики трех (пп. 4.2.1—4.2.3) методических погрешностей прямых измерений.

4.5.2. Определяют по отдельности характеристики трех (п. 4.3.1) составляющих погрешности средств измерений и двух других (пп. 4.3.2, 4.3.3) инструментальных погрешностей прямых измерений.

Если в качестве средства измерений применяется измерительная система, метрологические характеристики которой в целом не нормируются, а нормируются метрологические характеристики ее компонентов (первичных и промежуточных измерительных преобразователей, коммутаторов, вторичных измерительных приборов), предварительно должны быть рассчитаны метрологические характеристики измерительных каналов измерительной системы по нормированным метрологическим характеристикам ее компонентов (подход к подобным расчетам и принципы регламентации метрологических характеристик измерительных каналов измерительных систем изложены в «Методическом материале по применению ГОСТ 8.009—84» и в МИ 202—80).

4.5.3. Определяют характеристики личной (п. 4.4) погрешности измерений.

4.5.4. Определяют характеристики погрешности прямых измерений в заданных условиях путем суммирования (п. 3.2) характеристик всех ее составляющих.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОГРЕШНОСТИ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

5.1. При расчете характеристик погрешности косвенных измерений, на основе выбранной процедуры и технических средств МВИ, с учетом факторов МВИ, указанных в пп. 1.3.4—1.3.6, следует учитывать, кроме погрешностей прямых измерений, по резуль-

татам которых вычисляются результаты косвенных измерений, также методические погрешности косвенных измерений и возможную корреляцию погрешностей прямых измерений.

Примечание. Характеристики составляющих полной (суммарной) погрешности косвенных измерений выражают в масштабе и в единицах измеряемых величин.

5.1.1. Погрешность вычисления результатов косвенных измерений может быть обусловлена: отличием алгоритма (формулы) вычислений от строгой функции (функционала) зависимости величин, определяемых путем косвенных измерений, от величин, подвергаемых прямым измерениям; конечным числом разрядов результатов прямых и косвенных измерений и др. (пп. 1.3.4; 1.3.5).

Пример. Требуется измерить массу нефти, поставленной потребителю по нефтепроводу в течение времени T. На основании априорной информации об условиях добычи, подготовки, транспортировки нефти в качестве модели потока нефти принят случайный процесс. За измеряемую величину следует принять интеграл

$$Q_T = \int_0^T q dt, \tag{12}$$

где q — мгновенный расход нефти, т. е. масса нефти, протекающей через поперечное сечение нефтепровода в единицу времени; t — текущее время.

Осуществляется косвенное измерение измеряемой величины путем подсчета количества оборотов датчика турбинного расходомера, установленного в поперечном сечении нефтепровода, и умножения этого количества на коэффициент K, равный массе нефти, протекающей через данный нефтепровод за время одного оборота датчика турбинного расходомера. Результат этого косвенного измерения вычисляется по формуле

$$\tilde{Q}_T = K \cdot n_T, \tag{13}$$

где n_T — количество оборотов датчика, подсчитанное за время T.

Методическая погрешность измерений, обусловленная тем, что результат измерений вычисляется по формуле, отличающейся от формулы, определяющей измеряемую величину, равна

$$\Delta_{alg} = \tilde{Q}_T - Q_T. \tag{14}$$

5.2. При косвенных измерениях могут возникать составляющие погрешности измерений (как правило, инструментальные), обусловленные корреляцией (взаимной или автокорреляцией) погрешностей прямых измерений (п. 1.3.7).

Учет этих составляющих позволяет уточнить значения характеристик погрешности измерений, т. е. приблизить их расчетные значения к действительным значениям.

Взаимная корреляция погрешностей прямых измерений может быть определена, как правило, только путем экспериментального исследования реализаций МВИ. Если это исследование покажет, что коэффициент взаимной корреляции может быть существенным, то в документе, регламентирующем данную МВИ (стандарт, описание, паспорт и т. п.), должны быть указаны условия, при выполнении которых составляющая погрешности измерений, обусловленная взаимной корреляцией погрешностей прямых измерений, не превышает определенной нормы.

Автокорреляционная функция погрешности прямых измерений (или ее параметры) может быть определена путем экспериментального исследования реализаций МВИ или из нормативно-технического документа на выбранный тип средств измерений, если в этом документе нормирована автокорреляционная функция (или ее параметры) погрешности средств измерений данного типа (ГОСТ 8.009—84).

5.3. Характеристики полной (суммарной) погрешности Δ косвенных измерений определяют путем расчета на основе формулы (15) полной погрешности как суммы (объединения) частных погрешностей: взвешенной суммы (объединения) погрешностей ΔX_i прямых измерений аргументов X_i функции $f(X_i, \ldots X_m)$ зависимости измеряемой величины от величин X_i, подвергаемых прямым измерениям; методической погрешности Δ_{alg}, обусловленной отличием алгоритма расчета результата косвенного измерения от истинной функции $f(X_i \ldots X_m)$ (п. 5.1.1); методической погрешности Δ_α обусловленной дискретностью аргументов, по которым рассчитывают результат косвенного измерения (п. 5.1.2).

$$\Delta = \sum_{i=1}^{m} \frac{\partial f}{\partial X_i} \cdot \Delta X_i + \Delta_{alg} \qquad (15)$$

Примечания:

1. Формула (15) представляет собой символическую запись объединения составляющих погрешности косвенных измерений функции $f(X_1, \ldots X_m)$. На основании этой формулы возможно рассчитать математическое ожидание, дисперсию и другие необходимые характеристики погрешности косвенных измерений.

2. Для таких косвенных измерений, результаты которых вычисляются с использованием систем уравнений (совокупные, совместные измерения) или как функционалы, полные (суммарные) погрешности измерений должны определяться на основе формул, учитывающих подобно формуле (15) все необходимые составляющие, но конкретизированных в зависимости от вида конкретных систем уравнений и функционалов, решением которых определяют результат измерений.

5.4. Расчет характеристики погрешности косвенных измерений проводят с учетом указания в п. 3.2 последовательно.

5.4.1. Определяют характеристики погрешности каждого из предусмотренных в МВИ прямых измерений (пп. 4.5.1—4.5.4).

5.4.2. Определяют характеристики методических погрешностей косвенных измерений (п. 5.1.1).

5.4.3. Определяют характеристики полной (суммарной) погрешности косвенных измерений на основе формулы (15).

5.5. При возможности экспериментального определения взаимной корреляции между погрешностями прямых измерений, дисперсия погрешности косвенных измерений на основе формулы (15) рассчитывается по формуле

$$D\,[\mathring{\Delta}] = \sum_{1}^{m} \left(\frac{\partial f}{\partial X_i}\right)^2 \cdot D[\mathring{\Delta}\,X_i] + D\,[\mathring{\Delta}_{\text{alg}}] + \\ + 2\sum_{i=1}^{m-1} \left(\frac{\partial f}{\partial X_i}\right) \left\{ \sum_{j=i+1}^{m} \left(\frac{\partial f}{\partial X_j}\right) \cdot M\left[\mathring{\Delta}\,X_i \cdot \mathring{\Delta}\,X_j\right] \right\}. \qquad (16)$$

Здесь $\mathring{\Delta}$, $\mathring{\Delta}X_i$ и $\mathring{\Delta}_{\text{alg}}$ — центрированные случайные составляющие соответствующих погрешностей; $D[\cdot]$ — дисперсия; $M[\mathring{\Delta}X_i\,\mathring{\Delta}X_j]$ — математическое ожидание произведений погрешностей $\mathring{\Delta}X_i$ и $\mathring{\Delta}X_j$: их взаимный корреляционный момент.

Если взаимная корреляция между погрешностями прямых измерений отсутствует или не учитывается, дисперсия погрешности косвенных измерений определяется первыми двумя членами формулы (16).

Примечание. Методы расчета погрешностей косвенных измерений изложены также в МИ 1730—87.

Пример расчета характеристик погрешности одного из видов косвенных измерений — определения, по результатам прямых измерений, разности мгновенных значений функции при разных значениях ее аргумента — с учетом автокорреляции погрешности прямых измерений, приведен в «Методическом материале по применению ГОСТ 8.009—84».

6. ОКОНЧАТЕЛЬНЫЙ ВЫБОР МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

6.1. Рассчитанные характеристики погрешности измерений в заданных условиях сравнивают с заданными пределами их допускаемых значений. При этом можно выделить четыре случая.

6.1.1. Значения характеристик погрешности измерений находятся в интервале примерно от 20 до 60% соответствующих пределов допускаемых значений.

6.1.2. Значения характеристик погрешности измерений находятся в интервале примерно от 60 до 100% пределов допускаемых значений.

6.1.3. Значения характеристик погрешности измерений выходят за пределы их допускаемых значений.

6.1.4. Значения характеристик погрешности измерений меньше 20 % пределов их допускаемых значений.

6.2. В случае, указанном в п. 6.1.1, выбор методов и средств измерений можно считать законченным, т. е. первый проект МВИ целесообразно принять в качестве окончательной МВИ.

6.3. В случае, указанном в п. 6.1.2, целесообразно рассмотреть вопрос об уменьшении погрешности МВИ, так как проведенный расчет неизбежно приближенный, причем погрешности рассчитанных характеристик погрешности измерений могут достигать 20—30 %.

Сравнивая между собой методические (пп. 4.2.1—4.2.3; 5.1.1) и инструментальные (пп. 4.3.1—4.3.3) погрешности; составляющие погрешности косвенных измерений, обусловленные корреляцией погрешностей прямых измерений (пп. 5.2; 5.3; 5.5); личную погрешность измерений (п. 4.4), решают, какие изменения следует ввести в МВИ для того, чтобы с наименьшими затратами уменьшить характеристики погрешности измерений до, примерно, 50—60 % пределов их допускаемых значений при удовлетворении всех остальных требований к МВИ.

6.4. В случае, указанном в п. 6.1.3, необходимо ввести в МВИ изменения, обеспечивающие уменьшение характеристик погрешности измерений. При этом следует руководствоваться рекомендациями п. 6.3.

6.5. В случае, указанном в п. 6.1.4, возможно путем некоторых упрощений МВИ обеспечить меньшие затраты на реализации МВИ при удовлетворении всех требований к ним. Сравнивая между собой методические (пп. 4.2.1—4.2.3; 5.1.1) и инструментальные (пп. 4.3.1—4.3.3) погрешности; составляющие погрешности косвенных измерений, обусловленные корреляцией погрешностей прямых измерений (пп. 5.2; 5.3; 5.5); личную погрешность измерений (п. 4.4), решают, какие изменения целесообразно ввести в МВИ для того, чтобы с наибольшей выгодой увеличить характеристики погрешности измерений до, примерно, 50—60 % пределов их допускаемых значений при удовлетворении всех остальных требований к МВИ.

6.6. После внесения любых изменений в МВИ необходимо проверить, удовлетворяются ли условия п. 6.1.1 и все остальные требования к МВИ.

Если результаты этой проверки положительные, т. е. удовлетворяются условия п. 6.1.1 и остальные требования к МВИ, нужно нормировать для данной МВИ пределы допускаемых значений характеристик погрешностей МВИ, т. е. погрешностей любых результатов измерений, которые будут получены при использовании реализаций данной МВИ в заданных условиях.

Нормы целесообразно назначить такими, чтобы они превышали полученные расчетные значения наибольших возможных значений характеристик погрешности измерений на 10—20 %, но не пре-

вышали заданных требований к характеристикам погрешности МВИ.

После этого выбор методов и средств измерений и разработку МВИ можно считать законченными. МВИ может быть рекомендована для применения, т. е. для стандартизации (если стандартизация данной МВИ признана полезной), для разработки и изготовления реализаций данной МВИ.

6.7. Если результаты проверки, указанной в п. 6.6, отрицательные, то необходимо вновь рассмотреть вопрос о целесообразных изменениях МВИ, обеспечивающих удовлетворение условия п. 6.1.1 и всех остальных требований к МВИ. Подобная процедура должна повторяться до получения положительных результатов проверки, указанной в п. 6.6.

Если не удается подобрать из существующих тип средств измерений, нужно разработать необходимые средства измерений или, если возможно, изменить (облегчить) заданные для разработки МВИ исходные требования. При необходимости допускается вносить изменения в применяемые средства измерений, не влияющие на их основной режим работы. Перед применением такое средство измерений надо аттестовать как нестандартизованное средство измерений.

6.8. В процессе разработки МВИ следует установить методы и средства контроля соответствия характеристик погрешности реализаций МВИ принятым для нее нормам (п. 6.6). В документе, регламентирующем МВИ (стандарт, описание, паспорт и т. п.), должны быть указаны необходимая периодичность контроля, допустимые характеристики достоверности контроля и рекомендуемые методики контроля.

ПРИЛОЖЕНИЕ
Справочное

ПОЯСНЕНИЕ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ТЕРМИНОВ

1. ВТОРИЧНЫЙ ПРОЦЕСС — возбуждаемый объектом измерений процесс, отличающийся по физической природе от измеряемой величины, хотя бы один параметр которого связан с измеряемой величиной известной функциональной зависимостью.

Вторичный процесс используется в качестве входного сигнала средств измерений в тех случаях, когда первичные измерительные преобразователи или чувствительные элементы измерительных приборов, реагирующие непосредственно на измеряемую величину, по каким-либо причинам не используются.

Тот параметр вторичного процесса (воздействующего на вход средства измерений), который функционально связан с измеряемой величиной, назван информативным параметром вторичного процесса. Вторичный процесс может иметь и другие, неинформативные параметры, изменения которых влияют на информативные параметры выходных сигналов средств измерений, т. е. на результаты измерений.

Назначение вторичного процесса может выполнять вторичная величина, отличающаяся по физической природе от измеряемой величины, связанная с измеряемой величиной известной функциональной зависимостью. В этом случае вторичная величина является той величиной, на которую непосредственно реагирует средство измерений, соединенное с объектом измерений.

Пример. При измерении температуры среды с помощью оптического пирометра вторичным процессом является тепловое излучение среды (в оптическом диапазоне длин волн), а информативным параметром вторичного процесса является интенсивность теплового излучения, воздействующего на пирометр. Функция зависимости информативного параметра (интенсивности) вторичного процесса (теплового излучения) от измеряемой величины (температуры среды) имеет неинформативный параметр — длину волны излучения.

Примечание. См. примечание 3 к пояснению термина «косвенное измерение».

2. ИЗМЕРЯЕМАЯ ВЕЛИЧИНА — параметр (или функционал параметров) модели объекта измерений, отражающий свойство объекта измерений, определение которого является задачей измерений.

3. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ — составляющие погрешности измерений, обусловленные влиянием свойств используемых средств измерений (в том числе, основной погрешностью; чувствительностью средств измерений к свойствам объекта измерений, не определяемым данной МВИ, к неинформативным параметрам сигнала, воздействующего на вход средства измерений, к внешним условиям; динамическими характеристиками средств измерений; пространственной разрешающей способностью средства измерений; взаимодействием средства измерений с объектом измерения).

4. КОСВЕННОЕ ИЗМЕРЕНИЕ — определение значения измеряемой величины, представляющей собой известную функцию (функционал) других величин, путем вычисления значения данной функции (функционала) по результатам прямых измерений величин — аргументов функции.

Примечания:

1. К косвенным целесообразно относить и измерения функционалов функций одного аргумента, проводимые путем прямых измерений функции и последующего вычисления функционала по полученным результатам прямых измерений. Например, к косвенным удобно отнести измерение действующего значения электрического напряжения, если оно проводится путем прямых измерений мгновенных

значений напряжения в дискретные моменты времени и последующего вычисления корня квадратного из частного от деления суммы квадратов результатов прямых измерений на число членов в сумме, т. е. на число дискретных моментов времени, в которые проводились прямые измерения напряжения.

2. К косвенным отнесены также совокупные и совместные измерения, так как их результаты вычисляются по результатам прямых измерений аргументов известных функций. Специфические особенности расчета характеристик погрешности результата косвенного измерения функции, выраженной одним уравнением, присущи также расчету характеристик погрешностей измерений функций, выраженных системами уравнений.

3. По своим физическим принципам измерения с использованием «вторичного процесса» могли бы быть включены в группу косвенных измерений. Однако целесообразно разделить измерения, при которых результат измерения вычисляется (оператором или автоматически) по результатам прямых измерений, и измерения, при которых используется функциональная зависимость измеряемой величины от другой по физической природе величины, но вычисления при определении результата измерений не применяются, а функциональная зависимость между измеряемой величиной и информативным параметром вторичного процесса учитывается в номинальной функции преобразования средств измерений, применяемых при данном измерении. При измерениях с применением вторичного процесса нет необходимости учитывать специфические методические погрешности, влияющие на погрешность измерений, когда результат измерений определяется путем вычислений по результатам прямых измерений. Для практических расчетов измерения с применением вторичного процесса целесообразно отнести к прямым, если результаты измерений определяются непосредственно по показателям средств измерений.

5. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ (МВИ) — совокупность приемов (процедура) использования определенных типов соединенных с объектом измерений и между собой средств измерений и других технических средств, предназначенная для получения результатов измерений.

Примечание. При заданной группе объектов измерений; заданной измеряемой величине и ее значениях в заданном диапазоне; скорости (частоте) изменения измеряемой величины в заданном диапазоне или заданном частотном спектре сигнала, информативным параметром которого является измеряемая величина; заданных внешних условиях — МВИ должна обеспечивать получение результатов измерений измеряемой величины с погрешностью, характеристики которой не выходят за заданные допускаемые пределы. МВИ — это своеобразный «технологический процесс» измерений.

6. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ — составляющие погрешности измерений, обусловленные:

отличием принятой физической модели объекта измерений от модели, адекватно отражающей его свойство, определяемое путем измерений;

влиянием изменений параметров функции зависимости информативного параметра вторичного процесса (или вторичной величины) от измеряемой величины (при использовании вторичного процесса или вторичной величины);

влиянием способов применения в МВИ средств измерений;

влиянием алгоритмов (формул) вычислений результатов измерений (при косвенных измерениях);

влиянием других факторов, не связанных со свойствами используемых средств измерений.

Методическая погрешность измерений не зависит от свойств средств измерений. Она тождественно равна погрешности измерений при использовании в МВИ гипотетических «идеальных» средств измерений. Методическая погрешность характеризует потенциальные свойства данной МВИ, которые она имела бы при использовании «идеальных» средств измерений.

Примечание. «Идеальным» считается средство измерений, обладающее следующими свойствами: его погрешность в реальных условиях применения рав-

на нулю; его взаимодействие с объектом измерений, с другим средством измерений, с техническим средством, подключенным к его выходу, не оказывает влияния на погрешность измерений; его пространственная разрешающая способность (если она имеет для него смысл) бесконечно велика (т. е. при измерениях величин, являющихся функциями пространственных координат, средство измерений различает изменения измеряемой величины, вызываемые бесконечно малыми изменениями аргументов — пространственных координат).

7. ПОГРЕШНОСТЬ МВИ — обобщенное понятие, объединяющее погрешности измерений, присущие всем результатам измерений, получаемым с применением реализации данной МВИ, при условиях, регламентированных для данной МВИ.

8. РЕАЛИЗАЦИЯ МВИ — практическое осуществление МВИ:

специализированная измерительная установка, соответствующая данной МВИ;

соединение (может быть, временно собранное) объекта измерений, средств измерений и других технических средств, предусмотренное данной МВИ;

для наиболее простых МВИ — одно средство измерений, позволяющее осуществить процедуру (приемы), предусмотренную данной МВИ, и получить результат измерений.

Примечание. Если условия применения реализации МВИ соответствуют заданным условиям применения МВИ, то характеристики погрешностей измерений, проводимых с применением данной реализации МВИ, не должны выходить за пределы, нормированные для данной МВИ.

9. РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЯ — оценка (реализация случайной величины) истинного значения измеряемой величины, полученная «путем измерений».

Примечание. Здесь случайная величина — это совокупность результатов измерений определенной измеряемой величины, которые могут быть получены с помощью определенной реализации МВИ.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

РАЗРАБОТАНА Всесоюзным научно-исследовательским институтом метрологической службы (ВНИИМС)

ИСПОЛНИТЕЛИ

М. А. Земельман, канд. техн. наук (руководитель темы), И. М. Тронова

УТВЕРЖДЕНА ВНИИМС 09.02.89

ЗАРЕГИСТРИРОВАНА ВНИИМС 13.02.89

РЕКОМЕНДАЦИЯ

Государственная система обеспечения единства измерений. Выбор методов и средств измерений при разработке методик выполнения измерений. Общие положения

МИ 1967—89

Редактор *Н. А. Аргунова*
Технический редактор *О. Н. Никитина*
Корректор *Е. И. Морозова*

Н/К

Сдано в наб. 26.04.89 Подп. в печ 17.10.89 Формат 60×90¹/₁₆. Бумага типографская № 1 Гарнитура литературная Печать высокая 1,75 усл. п. л. 1,75 усл. кр.-отт. 1,56 уч.-изд. л. Тир. 24000 Зак. 551 Цена 10 к. Изд. № 173/4

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123557, Москва, ГСП, Новопресненский пер., 3
Тип. «Московский печатник». Лялин пер., 6.

gost.e-ecolog.ru