



**Некоммерческое
акционерное
общество**

**АЛМАТИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИКИ И
СВЯЗИ ИМЕНИ
ГУМАРБЕКА
ДАУКЕЕВА**

Кафедра автоматизации
и управления

МЕТОДЫ ОЦЕНИВАНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Конспект лекций для магистрантов образовательной программы
7M07105 – «Автоматизация и управление»

Алматы 2022

СОСТАВИТЕЛИ: С.Г. Хан. Методы оценивания неопределенности измерений: конспект лекций для магистрантов ОП 7М07105-«Автоматизация и управление». – Алматы: АУЭС, 2022. – 92 с.

Настоящий конспект лекций составлен на основании рабочей программы в помощь магистрантам при изучении теоретического материала по методам оценивания неопределенности измерений и технического регулирования и включает пятнадцать тем. В конце каждой темы приведены контрольные вопросы для самоконтроля изученного материала. Электронные варианты лекционного материала размещены в электронной библиотеке АУЭС.

Конспект лекций предназначен для магистрантов как научно-педагогического, так и профильного направлений образовательной программы «Автоматизация и управление».

Ил. 35, табл. 2, библиогр. – 38 назв.

Рецензент: профессор, доцент кафедры ТКИТ

Ермекбаев М.М.

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева» на 2022 г.

© НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», 2022 г.

Содержание

1	Введение в теорию погрешностей	4
2	Концепция неопределенности измерения	9
3	Оценивание неопределенности измерения. Общие сведения	12
4	Методы оценивания неопределенности измерения	16
5	Стандартный метод оценивания неопределенности измерения	20
6	Практическое оценивание неопределенности измерения	27
7	Принятие решения о соответствии требованиям с учетом неопределенности измерения	33
8	Принятие решения о соответствии требованиям с учетом неопределенности измерения (продолжение)	39
9	Трансформирование распределений и метод Монте-Карло	44
10	Оценивание неопределённости измерения методом Монте-Карло и методом Крагтена	50
11	Законодательная метрология	56
12	Закона РК «Об обеспечении единства измерений»	62
13	Поверка и калибровка в Республике Казахстан	66
14	Закон РК «О техническом регулировании»	71
15	Технические регламенты и подтверждение соответствия	76
	Список использованной литературы	83
	Приложение А. Классификация погрешностей измерений и средств измерений	86
	Приложение Б. Формулы для вычисления стандартной неопределенности по типу В в зависимости от вида распределения входной величины	88
	Приложение В. Структурная схема реализации ММК	90
	Приложение Г. Поверочные схемы	91

1 Введение в теорию погрешностей

Цель лекции: изучить основные определения и понятия погрешностей измерений и средств измерений (СИ).

Содержание лекции:

- место измерительной техники в современном мире;
- общие сведения о погрешностях измерений;
- общие сведения о погрешностях СИ;
- метрологические характеристики СИ.

1.1 Место измерительной техники в современном мире

XXI век характеризуется ускоренным развитием науки и промышленного производства. Последнее немислимо без широчайшего применения самых разнообразных измерений и измерительных устройств. Место измерительной техники (ИТ) в современном мире могут характеризовать следующие данные (рисунок 1.1). Затраты на измерительную технику в настоящее время составляют 10–15% всех материальных затрат на общественное производство, а в таких отраслях промышленности, как нефтеперерабатывающая, нефтехимическая, радиоэлектронная, самолетостроение и другие, эти затраты достигают 25% [1].

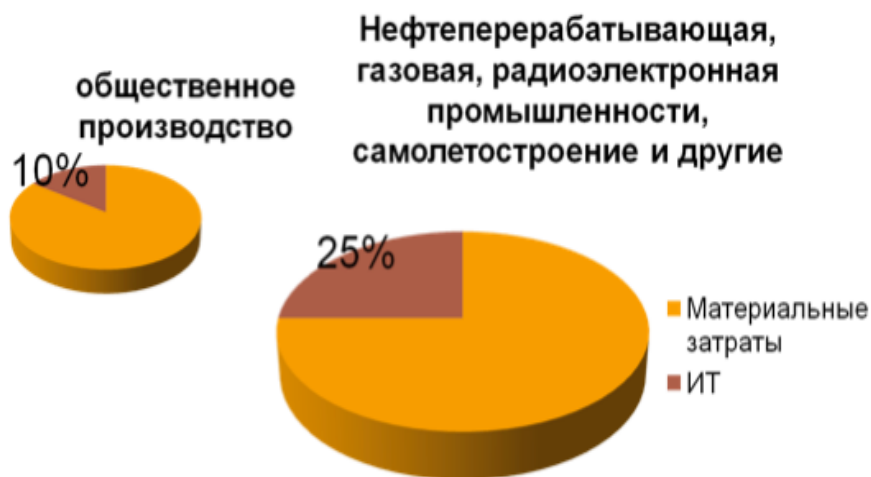


Рисунок 1.1 – Место измерительной техники (ИТ) в современном мире

В настоящее время без измерений не может обойтись ни одна область деятельности человека. Все производства различных отраслей промышленности в зависимости от характера технологического процесса можно подразделить на две группы: производства с непрерывным и производства с дискретным (штучным) характером технологических процессов. К первой группе относятся производства таких отраслей промышленности, как нефтеперерабатывающая, газоперерабатывающая,

нефтехимическая, химическая, металлургическая, теплоэнергетическая и др., ко второй группе – машиностроение, приборостроение, радиоэлектронная, пищевая и др.

На производствах с непрерывным характером технологических процессов измерения таких параметров, как температура, давление, расход, уровень и количество вещества, составляют более 86% от общего числа всех измерений. Остающиеся 14% измерений составляют измерения состава и физико-химических свойств вещества, а также электрических величин.

Работа систем автоматического контроля, автоматических систем регулирования и АСУ ТП строится на измерениях, осуществляемых техническими средствами измерений (СИ). Этим определяется первостепенное значение измерений для систем автоматизации любого уровня и сложности, что в свою очередь делает необходимым приобретение студентами глубоких знаний основ измерительной техники и современных средств автоматизации, их метрологических характеристик.

1.2 Общие сведения о погрешностях измерений

Погрешность измерения – отклонение результата измерения $X_{изм}$ от действительного (истинного) значения $X_{действ}$ измеряемой величины [2–4]:

$$\Delta = X_{изм} - X_{действ} \quad (1.1)$$

Точность измерений характеризует степень приближения погрешности измерений к нулю, то есть приближения полученного при измерении значения к истинному значению измеряемой величины.

Количественно точность может быть выражена:

$$\varepsilon = \left| \frac{X_{ист}}{\Delta} \right| \quad (1.2)$$

При определении погрешностей и точности вместо истинного значения физической величины $X_{ист}$ реально может быть использовано ее действительное значение.

Результат измерения всегда содержит систематическую (θ) и случайную (ψ) погрешности:

$$\Delta = \theta + \psi \quad (1.3)$$

Поэтому в общем случае погрешность результата измерения (Δ) нужно рассматривать как случайную величину, тогда систематическая погрешность есть математическое ожидание этой величины, а случайная погрешность – центрированная случайная величина.

В зависимости от причин возникновения, характера изменений и условий проявления различают погрешности измерений, классификация которых представлена в приложении А на рисунке А.1, подробная информация приведена в учебном пособии автора [4].

В зависимости от характера их проявления различают погрешности *случайные и систематические*.

Случайные погрешности – погрешности, изменяющиеся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины.

Систематическая погрешность – погрешность измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины.

Если систематическая погрешность известна, т.е. имеет определенное значение и знак, то она может быть исключена путем внесения поправки по окончании измерения. Если известна причина (источник) систематической погрешности, то ее необходимо устранить до начала измерения.

1.3 Общие сведения о погрешностях средств измерений

С подробной информацией о погрешностях и метрологических характеристиках средств измерений (СИ) можно ознакомиться в учебных пособиях автора [1, 4].

Классификация погрешностей СИ представлена на рисунке А.2 (приложение А):

а) *от характера проявления*: систематические и случайные составляющие погрешности СИ имеют тот же смысл, что и систематические и случайные погрешности измерений (п. 1.2);

б) *от условий применения*:

1) *основная погрешность СИ* – погрешность СИ, используемого в нормальных условиях (Н.У.);

2) под пределом допускаемой *дополнительной погрешности* понимается наибольшая дополнительная погрешность, вызываемая изменением влияющей величины в пределах расширенной области значений (РОЗ), при которой средство измерений может быть признано годным и допущено к применению;

в) *от режима применения*:

1) *статическая погрешность* – погрешность СИ, возникающая при использовании его для измерения постоянной величины;

2) *динамическая погрешность* – погрешность СИ, возникшая при использовании его для измерения переменной во времени величины;

г) *от формы представления*.

Абсолютная погрешность измерительного прибора – разность между показаниями прибора и действительным значением измеряемой величиной:

$$\Delta = X_n - X_{\text{действ}}, \quad (1.4)$$

где $X_{действ}$ определяется с помощью образцового прибора или воспроизводится мерой.

Относительная погрешность измерительного прибора – отношение абсолютной погрешности измерительного прибора к действительному значению измеряемой величины:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_o} 100\%. \quad (1.5)$$

Приведенная погрешность измерительного прибора – отношение абсолютной погрешности измерительного прибора к нормирующему значению измеряемой величины:

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} 100\% \quad (1.6)$$

В качестве нормирующего значения используется верхний предел измерения или диапазон измерений измерительного прибора;

д) *от значения измеряемой величины.*

Для рассмотрения этой зависимости удобно использовать понятие номинальной и реальной функции преобразования.

Аддитивная погрешность, или погрешность нуля, СИ – погрешность, которая остается постоянной при всех значениях измеряемой величины.

Мультипликативная погрешность, или погрешность чувствительности, СИ – погрешность, которая линейно возрастает (или убывает) с увеличением измеряемой величины.

Погрешность линейности – погрешность, появляющаяся тогда, когда отличие реальной функции преобразования от номинальной вызвано нелинейными эффектами.

Погрешность гистерезиса – погрешность обратного хода (погрешность запаздывания). Это наиболее существенная и трудно устранимая погрешность СИ, выражающаяся в несовпадении реальной функции преобразования при увеличении (прямой ход) и уменьшении (обратный ход) измеряемой величины.

1.4 Основные метрологические характеристики СИ

Метрологические характеристики (МХ) – характеристики свойств СИ, оказывающие влияние на результаты и погрешности измерений [1, 4].

Номенклатура МХ СИ приведена на рисунке А.3. СИ допускаются к применению только в том случае, если установлены нормы на их метрологические характеристики – *нормированные метрологические характеристики (НМХ)*. Сведения о НМХ приводятся в технической документации на СИ.

1.4.1 Класс точности и допускаемые погрешности.

Класс точности – обобщенная метрологическая характеристика (МХ), определяемая пределами основной и дополнительных допускаемых

погрешностей, а также другими свойствами средств измерений, влияющими на точность. Класс точности – *величина безразмерная*.

Пределы допускаемых основной и дополнительных погрешностей устанавливаются в стандартах на отдельные виды средств измерений.

Средствам измерений присваивают классы точности, выбираемые из ряда (ГОСТ 136-68) $(1; 1.5; 2.0; 2.5; 3.0; 4.0; 5.0; 6.0) \cdot 10^n$; $n = 1; 0; -1; -2; \dots$

Конкретные классы точности устанавливаются в стандартах на отдельные виды СИ. Чем меньше число, обозначающее класс точности, тем меньше пределы допускаемой основной погрешности.

Классы точности, нормируемые по приведенным погрешностям, имеют связь с конкретным значением предела погрешности, т.е. класс точности численно равен значению приведенной погрешности, выраженному в процентах.

1.4.2 Статические характеристики СИ.

Режим работы СИ, при котором значения входных X и выходных U сигналов не меняются, называется *статическим (стационарным)*.

Статической характеристикой СИ называется функциональная зависимость выходного сигнала от входного в статическом режиме работы указанного устройства. В общем случае это нелинейная зависимость $U = f(x)$.

Диапазон показаний – область шкалы, ограниченная конечным и начальным значениями шкалы.

Диапазон измерений (рабочая часть шкалы) – область значений измеряемой величины (на шкале), для которой нормированы допускаемые погрешности средств измерений.

Для количественной оценки влияния на выходной сигнал СИ входного сигнала в произвольной точке статической характеристики служит *чувствительность СИ*, определяется как отношение изменения сигнала на выходе СИ в вызвавшем его изменению измеряемой величины.

Цена деления – разность между двумя соседними отметками шкалы.

Порог чувствительности – это наименьшее изменение значения измеряемой величины x , способное вызвать уверенно фиксируемое изменение показания у измерительного прибора или выходного сигнала преобразователя.

Все рассмотренные выше характеристики СИ принято называть метрологическими, так как они влияют на точность осуществляемых с помощью этих устройств измерений.

1.5 Вопросы для самоконтроля

1.5.1 Дать определения «Метрологических характеристик средства измерения», «Класса точности».

1.5.2 Перечислить метрологические характеристики средства измерения.

1.5.3 Дать определение следующим видам погрешностей: систематическая и случайная погрешности, абсолютная, относительная и приведенная погрешности.

1.5.4 Что такое грубые погрешности? Как устранить их влияние на результат измерений? Каковы преимущества и недостатки правила «трех сигм»?

1.5.5 В чем заключается стандартная процедура обработки результатов измерений с многократными наблюдениями?

1.5.6 По каким видам законов распределения случайной величины распределяются случайные погрешности? Оценки основных характеристик законов распределения случайной величины.

1.5.7 Что такое доверительный интервал? Формула доверительного интервала результата измерений.

1.5.8 Правила округления и представления результата измерения.

2 Концепция неопределенности измерения

Цель лекции: изучить причины появления концепции и источники неопределенности измерения.

Содержание лекции:

- причины появления концепции неопределенности измерения;
- создание нормативной базы концепции неопределенности;
- источники неопределенности при измерениях;
- виды неопределенности измерения.

2.1 Причины появления концепции неопределенности измерения

Причина 1 – несостоятельность теории погрешностей.

Появление новых (нетрадиционных) областей измерения (психология, социология, медицина и др.), где постулаты традиционной метрологии (физическая величина, единица измерений, мера, эталон, погрешность измерения) не работают.

Причина 2 – необходимость указания меры доверия к результату.

Раздельная оценка систематических и случайных погрешностей и использование для них разных характеристик (доверительных границ и СКО) дает завышенные оценки погрешности. Кроме того, применение двух характеристик погрешности при определении результата неудобно, особенно при его дальнейшем использовании.

Причина 3 (стандартизация, техническое регулирование) – отсутствие международного единства по вопросу оценивания точности.

Необходимость в простой в применении и общепризнанной универсальной методики для характеристики результата измерения.

Метод оценки выражения неопределенности един во всем мире, результаты измерений, проводимые в разных странах, всем понятны и их можно легко сравнить.

В методе неопределенностей принята точка зрения о том, что все составляющие неопределенности имеют одинаковую природу и должны оцениваться идентично – через дисперсию как меру отклонения от среднего.

2.2 История создания нормативной базы концепции неопределенности

В 1978 году Международный комитет по мерам и весам (МКМВ), в связи с отсутствием единства в вопросе выражения неопределенности измерения, обратился в Международное бюро по мерам и весам (МБМВ) с предложением изучить этот вопрос совместно с национальными метрологическими лабораториями и разработать соответствующую Рекомендацию. Была создана рабочая группа по неопределенности из представителей 11 национальных лабораторий, которая в 1980 году разработала Рекомендацию INC-1 “Выражение экспериментальных неопределенностей”. Эта Рекомендация была одобрена МКМВ в 1981 году и утверждена в 1986 году.

МКМВ поручил Международной организации по стандартизации ИСО разработку на основании этой Рекомендации подробного Руководства по оцениванию неопределенности измерения. Ответственность была возложена на Техническую консультативную группу по метрологии ИСО (TAG 4), в работе которой принимали участие 6 организаций: МЭК (партнер ИСО в области международной стандартизации), МКМВ, МОЗМ (две всемирно признанные организации в области законодательной метрологии), ИЮПАК, ИЮПАП (два международных союза в области теоретической и прикладной химии и физики), МФКХ (Международная федерация клинической химии).

Разработанное данными организациями «Руководство по выражению неопределенности измерений (GUM-93)» было обнародовано в 1993 году [5] и переиздано с исправлениями в 1995 году (GUM:1995) [6].

В настоящий момент действует новая редакция Руководства ИСО/МЭК 98-3, на основании которого в СНГ разработаны нормативные документы [7–9]. Руководство дает универсальный метод для оценки и выражения неопределенности, который применим ко всем видам измерений и различным уровням точности во многих областях измерений. Данный метод должен быть единым во всем мире, чтобы измерения, проводимые в разных странах, можно было легко сравнить.

2.3 Источники неопределенности при измерениях

Источниками неопределенности при измерениях являются:

- метод измерения;
- окружающая среда;

- оператор;
- измерительное оборудование;
- измеряемый объект.

Метод измерения. На появление неопределенности при измерениях влияют:

- число наблюдений – изменение в повторных наблюдениях измеряемой величины при явно одинаковых условиях;
- длительность измерения;
- выбор методики измерения;
- выбор эталона или средства измерений;
- неточные знания констант и других параметров, полученных из внешних источников;
- выбор неподходящего фильтра, стандартного образца и т. д.;
- аппроксимации и предположения, используемые в методе измерения и измерительной процедуре.

Измерительное оборудование. Факторы, влияющие на появление неопределенности при использовании измерительного оборудования при измерениях:

- неопределенность калибровки;
- вариация показаний;
- время, прошедшее с момента последней калибровки;
- применяемое программное обеспечение;
- порог чувствительности или конечная разрешающая способность;
- неполное определение измеряемой величины;
- несовершенная реализация определения измеряемой величины;
- неточные значения, приписанные эталонам, используемым для измерения, и стандартным образцам веществ и материалов.

Окружающая среда (ВФВ – влияющие физические величины) или внешние факторы: температура; влажность; давление; чистота помещения; магнитные и гравитационные поля; вибрация; различные излучения, свет и т.д., неадекватное знание эффектов от условий окружающей среды, влияющих на измерение, или несовершенное измерение условий окружающей среды.

Изменяемый объект. Параметры объекта измерения, влияющие на появление неопределенности при измерениях: температура; поверхность; материал; размеры; взаимодействие измеряемого объекта с условиями измерений; отклонение формы для геометрических измерений и т. д.

Оператор. Человек также является источником появления неопределенности измерений. Учитываются следующие факторы: измерительное усилие; опыт работы; грамотный выбор средства измерения; образование; добросовестность; субъективная систематическая погрешность оператора при снятии показаний аналоговых приборов; манипулирование (ловкость рук) и т. д.

2.5 Вопросы для самоконтроля

2.5.1 Причины появления концепции неопределенности измерения.

2.5.2 Цель оценивания неопределенности измерения.

2.5.3 История создания Руководства по выражению неопределенности измерения.

2.5.4 Нормативные документы.

2.5.5 Источники неопределенности при измерении.

2.5.6 Виды неопределенности измерения.

3 Оценивание неопределенности измерения. Общие сведения

Цель лекции: изучить основные виды и способы оценивания неопределенности измерения.

Содержание лекции:

- определение неопределенности измерения;
- виды неопределенности измерения;
- классификация неопределенности измерения;
- способы выражения неопределенности измерения.

3.1 Термины, определения и виды неопределенности измерения

Неопределенность измерения – неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений величины, приписываемых измеряемой величине на основании измерительной информации [10-VIM, рус. перевод] (рисунок 3.1).

Погрешность измерения (*error*) – измеренное значение минус опорное значение величины (VIM 3, 2.16).

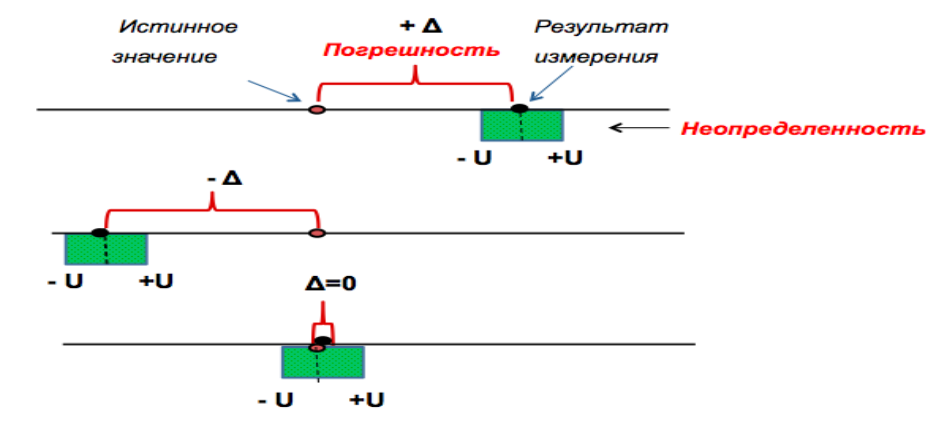


Рисунок 3.1 – Графическое представление понятий «погрешность» и «неопределенность» измерения

Неопределенность измерений можно подразделить на следующие виды (рисунок 3.2):

- неопределенность измеряемой величины;
- неопределенность измерительного эксперимента.

К *неопределенностям измеряемой величины* относятся следующие разновидности.

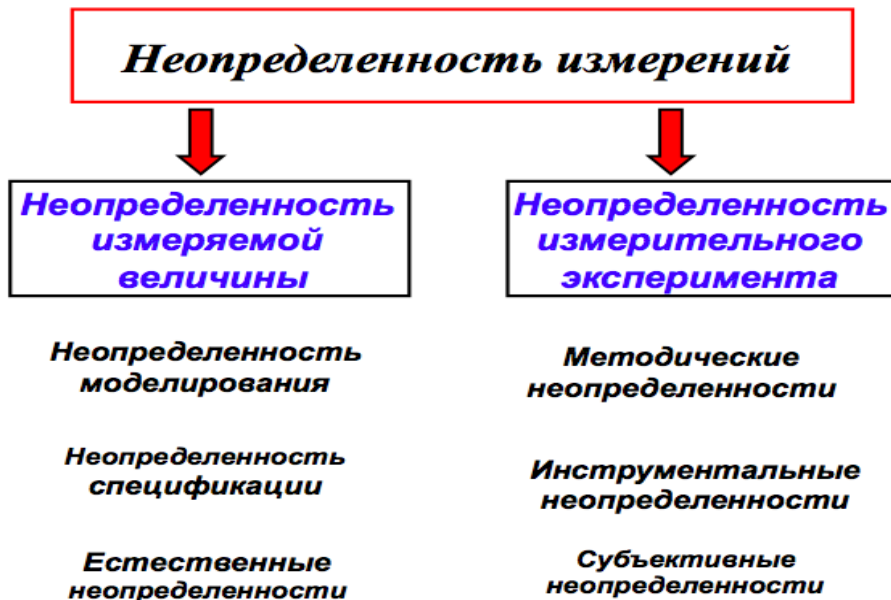


Рисунок 3.2 – Виды неопределенности измерения

Неопределенность моделирования. Любая модель объекта измерения не может быть абсолютной копией оригинала. Отличие модели от оригинала выражается неопределенностью, обусловленной неадекватностью модели измеряемой величине.

Неопределенность спецификации. При корректном подходе к проведению измерений предварительно необходимо составить описание (спецификацию) измеряемой величины. Оценка неопределенности спецификации – это оценка стандартных неопределенностей влияющих величин:

Естественные неопределенности. К источникам естественных неопределенностей относятся:

- дискретность физических величин на квантово-механическом уровне (измерение заряда не точнее заряда электрона);
- шумы и дробовой эффект (броуновское движение, тепловые шумы, дробовой эффект, квантовый шум).

К *неопределенностям измерительного эксперимента* относятся следующие разновидности.

Методические составляющие неопределенности:

- составляющие, обусловленные неадекватностью выбранной модели объекта измерений его свойствам;

- составляющие, обусловленные отклонением от номинальных значений параметров функций, связывающих измеряемую величину с величиной на входе средства измерений;

- составляющие, обусловленные квантованием по уровню (если используются средства измерений с АЦП);

- составляющие, обусловленные вычислительными алгоритмами.

Инструментальные составляющие неопределенности:

- основная погрешность средства измерений;

- дополнительные погрешности средства измерений;

- составляющая, обусловленная вариацией (гистерезисом) средства измерений;

- составляющая, обусловленная взаимодействием средства измерений с объектом измерений;

- динамическая составляющая, обусловленная инерционностью средства измерений;

- составляющие, связанные с отбором и приготовлением проб веществ.

Субъективные составляющие неопределенности:

- составляющие, обусловленные неточностью отсчетов результатов измерений со шкалы или диаграммы средств измерений;

- составляющие, обусловленные воздействием оператора на объект и средства измерений (искажение температурного поля, механические воздействия и т.п.).

3.3 Классификация видов неопределенности измерения

Помимо приведенной в предыдущем разделе классификации видов неопределенности измерений, они могут быть подразделены с целью их оценивания на следующие виды (рисунок 3.3):

1) по методу оценки:

а) неопределенность по типу А;

б) неопределенность по типу В;

2) по способу выражения:

а) стандартная неопределенность;

б) суммарная стандартная неопределенность;

в) расширенная неопределенность;

г) относительная неопределенность.

Рекомендация разделяет неопределенности на две категории в зависимости от метода оценивания: по типу А и типу В [9]. Эта классификация применима только к неопределенности, не к погрешности (случайная и систематическая).

Метод оценивания неопределенности по типу А – u_A – это оценивание неопределенности путем статистического анализа рядов наблюдений.

Метод оценивания неопределенности по типу В – u_B – это оценивание неопределенности иным способом, чем статистический анализ рядов наблюдений.



Рисунок 3.3 – Классификация видов неопределенности измерения

По способу выражения различают в GUM-1995 [6]:

Стандартная неопределенность u – неопределенность результата измерений, выраженная в виде среднего квадратического отклонения.

Суммарная стандартная неопределенность u_C – стандартная неопределенность результата измерений, полученного через значения других величин, равная положительному квадратному корню суммы членов, причем члены являются дисперсиями или ковариациями этих других величин, взвешенными в соответствии с тем, как результат измерений изменяется при изменении этих величин.

Расширенная неопределенность U – величина, определяющая интервал вокруг результата измерений, в пределах которого, как можно ожидать, находится большая часть распределения значений, которые с достаточным основанием могли бы быть приписаны измеряемой величине.

3.4 Контрольные вопросы

3.5.1 Дать определение неопределенности измерения.

3.5.2 Перечислите классификационные признаки, по которым различаются виды неопределенности измерения.

3.5.3 Какие методы оценивания неопределенности измерения вы знаете?

3.5.4 Как оценивается неопределенность типа А?

3.5.5 Какие источники неопределенности типа В?

4 Методы оценивания неопределенности измерения

Цель лекции: изучить методы и способы оценивания неопределенности измерения.

Содержание лекции:

- методы оценивания неопределенности измерения;
- оценивание неопределенности измерения по типу А;
- оценивание неопределенности измерения по типу В;
- стандартная и расширенная неопределенности результата измерения;
- анализ корреляций.

4.1 Оценивание неопределенности измерения по типу А

Оценивание (стандартной неопределенности) по типу А может основываться на любых обоснованных *методах статистической обработки данных*, таких как:

– расчет стандартного отклонения и среднего значения на основании серии наблюдений;

– использование метода наименьших квадратов для подбора кривой к данным (например, градуировочной кривой) и для получения соответствующих оценок параметров аппроксимации и их стандартных отклонений;

– проведение дисперсионного анализа для идентификации и определения значений отдельных случайных эффектов в измерениях, чтобы эти эффекты могли быть правильно приняты во внимание при оценивании неопределенности и т.п.

Известный из курса «Метрология, стандартизация, сертификация и управление качеством» [4] метод статистической обработки данных можно представить алгоритмом, приведенном на рисунке 4.1 и являющимся алгоритмом расчета неопределенности по типу А.

Результатом расчета стандартной неопределенности измерений по типу А *i*-ой входной величины, при которых результат измерения определяется как среднее арифметическое *n*- числа предварительных измерений, является среднее квадратическое отклонение результата измерений – $u_A(x)$.

	Наилучшая оценка ожидаемого результата		
x_1	$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$	$x_1 - \bar{x}$	$u_A(x) = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$
x_2		$x_2 - \bar{x}$	
\vdots		\vdots	
\vdots		\vdots	
x_n		$x_n - \bar{x}$	

Рисунок 4.1 – Алгоритм расчета неопределенности по типу А

4.2 Оценивание неопределенности измерения по типу В

Оценивание (стандартной неопределенности) по типу В основывается на базе научного суждения, основанного на всей доступной информации о возможной изменчивости X_i .

Доступная информации может включать:

- данные предварительных измерений;
- данные, полученные в результате опыта, или общие знания о поведении и свойствах соответствующих материалов и приборов;
- спецификация изготовителя;
- данные, которые приводятся в свидетельствах о калибровке и других сертификатах;
- неопределенности, приписываемые справочным данным.

Оценивание стандартной неопределенности по типу В – $u_B(x)$ – возможно тремя способами:

1) если известно стандартное отклонение входной величины X , то за неопределенность по типу В принимается стандартная неопределенность $u_B(x)$;

2) если можно оценить лишь верхнюю и нижнюю границы входной величины X , то вычисление стандартной неопределенности по типу В следует производить в зависимости от вида предполагаемого распределения входной величины внутри границ. На рисунке 4.2 приведены формулы для расчета стандартной неопределенности по типу В в зависимости от трех известных распределений входной величины: прямоугольного, нормального и треугольного;

3) если известна расширенная неопределенность $U(x)$ с коэффициентом охвата k , то стандартная неопределенность определяется как:

$$u_B(x) = \frac{U(x)}{k}.$$

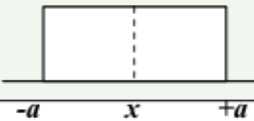
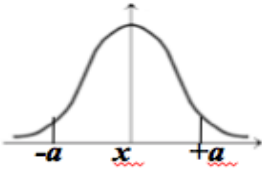
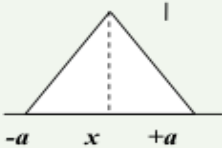
Распределение	Вид	Формулы для расчета стандартной неопределенности
Прямоугольное		$u_B = \frac{a}{\sqrt{3}}$
Нормальное		$u_B = \frac{a}{2}$
Треугольное		$u_B = \frac{a}{\sqrt{6}}$

Рисунок 4.2 – Формулы для расчета стандартной неопределенности по типу В в зависимости от распределения входной величины

4.3 Выражение неопределенности результата измерения

Стандартной неопределенностью *результата измерения* называется *суммарная стандартная неопределенность* – $u_C(Y)$, которая является оценкой стандартного отклонения результата измерения, полученной по правилу, называемому Законом трансформирования неопределенностей [7, 8]:

$$u_C(Y) = \sqrt{\sum(C_i^2 u_A^2 + C_j^2 u_B^2)}. \quad (4.1)$$

Расширенной неопределенностью U является интервал, охватывающий результат измерения, в пределах которого будет находиться большая часть распределения значений, которые могут быть обоснованно приписаны измеряемой величине:

$$U = k u_C(Y). \quad (4.2)$$

Вместе со значением U всегда следует указывать значение коэффициента охвата – k . Это позволит определить значение стандартной неопределенности измеряемой величины.

4.4 Анализ корреляций

Корреляция между входными величинами может существовать, если при их определении используют:

- один и тот же измерительный прибор;

- один и тот же физический эталон измерения;
- справочные данные, имеющие значительную стандартную неопределенность.

Ковариация, связанная с оценками двух входных величин, может устанавливаться равной нулю или рассматриваться как пренебрежимо малая, если:

- обе входные величины являются независимыми друг от друга;
- одна из входных величин может рассматриваться как константа;
- исходя из наших знаний и предположений, просто не имеется никаких оснований для корреляции между входными величинами

Если входные величины коррелированы, то формула для расчета стандартной неопределенности по типу А:

$$u_A(x) = \sqrt{u_{iA}^2(x) + u_{jA}^2(x) + 2r_{ij}u_{iA}^2(x)u_{jA}^2(x)} \quad (4.3)$$

содержит коэффициент корреляции:

$$r_{i,j} = \frac{1}{n(n-1)} \frac{\sum_{j=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_i)(x_{jk} - \bar{x}_j)}{u_A(\bar{x}_i)u_A(\bar{x}_j)}. \quad (4.4)$$

Коэффициент корреляции может принимать значения, больше, меньше и равный нулю (рисунок 4.3). Корреляция отсутствует при коэффициенте корреляции, равном нулю.

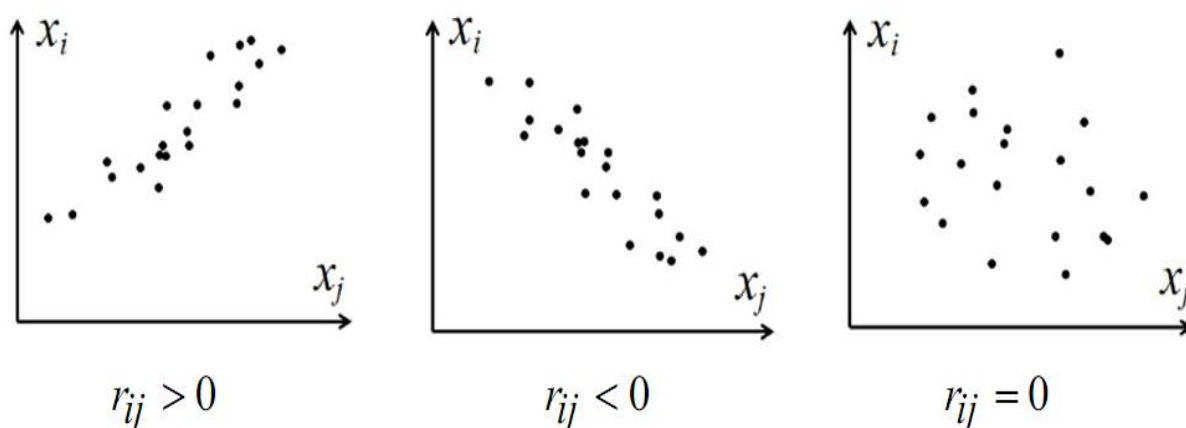


Рисунок 4.3 – Иллюстрация распределения входных величин X_i и X_j при различных значениях коэффициента корреляции r_{ij}

Корреляция между входными величинами часто обусловлена влиянием таких факторов, как температура окружающей среды, атмосферное давление и влажность. При оценивании степени корреляции между входными величинами большую роль играет накопленный опыт, физическая интуиция экспериментатора.

Если между входными величинами имеется значительная корреляция, то ее необходимо учесть. Для оценивания типа В при изменении значений входных величин ковариации оцениваются экспериментально или используется доступная информация о характере изменения входных величин.

4.5 Контрольные вопросы

- 4.5.1 Какие методы оценивания неопределенности измерения вы знаете?
- 4.5.2 Как оценивается неопределенность типа А?
- 4.5.3 Какие источники неопределенности типа В?
- 4.5.4 Формулы для вычисления неопределенности типа В при известных границах входной величины.
- 4.5.5 Что такое ковариация?
- 4.5.6 Учет корреляций при оценивании неопределенности измерения.

5 Стандартный метод оценивания неопределенности измерения

Цель лекции: изучить стандартный метод оценивания неопределенности измерения GUM.

Содержание лекции:

- этапы оценивания неопределенности измерения;
- оценка неопределенности по типу А;
- оценка неопределенности по типу В;
- составление Бюджета неопределенности;
- представление результата измерения.

5.1 Этапы оценивания неопределенности измерения

Основные этапы оценивания неопределенности включают в себя формулирование и трансформирование (вычисление) [5–7].

К трансформированию распределений известны различные подходы:

- а) оценивание неопределенности классическим методом GUM;
- б) аналитические методы, в которых используется математический анализ;
- в) метод Монте-Карло (ММК).

Оценивание неопределенности классическим методом GUM включает следующие этапы оценивания неопределенности измерения:

- 1) описание процесса измерения и составление его модели;

- 2) оценивание значений и неопределенностей входных величин;
- 3) анализ корреляций;
- 4) расчет суммарной стандартной неопределенности;
- 5) составление бюджета неопределенности;
- 6) расчет расширенной неопределенности;
- 7) представление конечного результата измерения.

5.1.1 Описание процесса измерения и составление его модели.

Модельное уравнение выражает зависимость между выходной (измеряемой) величиной Y и входными величинами $X_1, X_2 \dots X_n$:

$$Y = f(X_1, X_2 \dots X_n). \quad (5.1)$$

Рекомендации по составлению модели измерения:

- основными исходными данными для составления модели являются: объект измерения, метод измерения (метод непосредственной оценки – прямое измерение, метод замещения, метод сравнения), методика измерения, схема или принцип измерения прибора;

- необходимо принимать во внимание особенности шкал или таблиц средств измерений, разрешающую способность, а также чувствительность;

- важно представить физический принцип измерения (вплоть до полного устройства средства измерений) и всю цепь преобразования измеряемой величины в процессе ее измерения, при этом может использоваться принцип «Причина–Влияние–Следствие»;

- функция модели f может описывать одновременно метод измерения и алгоритм оценки, если измеряемая величина определяется как расчетное значение;

- математическая модель должна всегда пересматриваться, когда наблюдаемые данные показывают, что модель неадекватна.

Процесс моделирования может быть бесконечным, но всегда нужно находить баланс между тщательностью составления модели и необходимой точностью.

5.1.2 Оценивание значений и неопределенностей входных величин.

Модельное уравнение (5.1) содержит входные величины X_i , которые в свою очередь могут зависеть от других величин:

$$X_1 = g_1(w_1, w_2, \dots, w_k);$$

$$X_2 = g_2(z_1, z_2, \dots, z_l) \text{ и т.д.}$$

Таким образом, сами входные величины X_i можно рассматривать как измеряемые величины, которые могут зависеть от других величин, включая поправки и поправочные коэффициенты на систематические эффекты, что ведет к сложной функциональной зависимости (5.1), которая не может быть записана точно.

Набор входных величин можно разделить на две следующие группы:

1) величины, чьи значения и неопределенности определяются непосредственно в текущем измерении;

2) величины, чьи значения и неопределенности вносятся в измерение из внешних источников, такие как величины, связанные с аттестованными эталонами, стандартными образцами или стандартными справочными данными.

5.2 Оценивание стандартной неопределенности по типу А

В качестве примера оценивания по типу А можно рассмотреть величину q , для которой были получены n независимых наблюдений в одинаковых условиях измерения.

В этом случае оценкой величины q будет *среднее арифметическое значение* или *среднее* из n наблюдений:

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_k \quad (5.2)$$

Таким образом, для входной величины X_i , оцененной из n независимых наблюдений, среднее арифметическое \bar{X}_i , полученное из уравнения (5.2), используется как входная оценка x_i в уравнении (5.1) для определения результата y : т.е. $x_i = \bar{X}_i$.

Отдельные наблюдения q_k отличаются по значению из-за случайных изменений влияющих величин или случайных эффектов. Стандартная неопределенность по типу А, связанная с оценкой, является *экспериментальным стандартным отклонением среднего значения* и равна положительному квадратному корню из *экспериментальной дисперсии среднего значения*:

$$u(\bar{q}) = s(\bar{q}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2} \quad (5.3)$$

5.3 Оценивание стандартной неопределенности по типу В

Правильное использование фонда доступной информации для оценивания стандартной неопределенности *по типу В* требует интуиции, основанной на опыте и общих знаниях, и является мастерством, которое приходит с практикой и опытом.

Оценка стандартной неопределенности по типу В может быть такой же надежной, как и оценка по типу А, особенно, когда неопределенность по типу А основана на небольшом числе статистически независимых наблюдений.

Имеющуюся информацию о входных величинах X_i необходимо правильно описать с помощью функции распределения вероятностей, чтобы затем определить оценки величин и их стандартные отклонения (п. 4.2, рисунок 4.2).

В приложении Б приведена таблица (рисунок Б.1), в которой приведены формулы для расчета стандартной неопределенности по типу В при известных границах входной величины для разных видов распределений входной величины:

1) оценивание стандартной неопределенности по типу В *при прямоугольном законе распределения* входной величины и формула расчета стандартной неопределенности по типу В:

$$u_B(X_i) = \frac{a_+ - a_-}{2\sqrt{3}} = \frac{a}{\sqrt{3}}. \quad (5.4)$$

В документации указаны предельные границы входной величины a_+ , a_- или максимальное значение диапазона ($\pm a$) без указания формы распределения и уровня доверия, то справедлива формула (5.4).

Применение прямоугольного распределения разумно по умолчанию при отсутствии любой другой информации;

2) оценивание стандартной неопределенности по типу В *при треугольном законе* распределения входной величины и формула расчета стандартной неопределенности по типу В примет вид:

$$u_B(X_i) = \frac{a_+ - a_-}{2\sqrt{6}} = \frac{a}{\sqrt{6}}. \quad (5.5)$$

Треугольное распределение является:

- предельным случаем трапецеидального распределения при $\beta = 0$;
- или когда входная величина может являться суммой или разностью двух величин, распределенных равномерно с одинаковыми значениями диапазонов;

3) оценивание стандартной неопределенности по типу В *при нормальном законе распределения* входной величины и для вычисления стандартной неопределенности по типу В входной величины – рекомендуется формула:

$$u_B(X_i) = \frac{a}{k}, \quad (5.6)$$

где k – квантильный множитель для заданной доверительной вероятности для нормального закона распределения (например, $k=2$ для $P=95\%$);

4) оценивание стандартной неопределенности по типу В *при трапецеидальном законе распределения* входной величины. Трапецеидальное распределение эквивалентно свертыванию двух прямоугольных распределений, одного – с полушириной a_1 , другого – с полушириной a_2 :

$$a_1 = a(1+\beta)/2; \quad a_2 = a(1-\beta)/2.$$

Для вычисления стандартной неопределенности по типу В входной величины рекомендуется формула:

$$u_B(X_i) = \frac{a_+ - a_-}{2\sqrt{6}} \sqrt{1 + \beta^2} = \frac{a}{\sqrt{6}} \sqrt{1 + \beta^2}; \quad 0 < \beta < 1. \quad (5.7)$$

Когда β стремится к 1, трапециидальное распределение приближается к прямоугольному. Для $\beta=0$ оно есть треугольное распределение, и уравнение (5.7) преобразуется в (5.5);

5) оценивание стандартной неопределенности по типу В при U-образном (арксинусоидальном) законе распределения входной величины. Для вычисления стандартной неопределенности по типу В входной величины рекомендуется формула:

$$u_B(X_i) = \frac{a_+ - a_-}{2\sqrt{2}} = \frac{a}{\sqrt{2}}. \quad (5.8)$$

5.4 Анализ корреляций и расчет суммарной неопределенности

5.4.1 Понятия корреляции и ковариации изложены в разделе 3.3.

5.4.2 Расчет суммарной стандартной неопределенности выходной величины – $u_c(y)$. Рассматривается расчет $u_c(y)$ в двух случаях [9]:

- в случае некоррелированных оценок входных величин x_1, \dots, x_m ;
- в случае коррелированных оценок входных величин x_1, \dots, x_m .

В первом случае суммарная стандартной неопределенности выходной величины определяется по формуле:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 u^2(x_i)}. \quad (5.9)$$

Во втором случае суммарная стандартной неопределенности выходной величины определяется по формуле:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 u^2(x_i) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} r(x_i, x_j) u(x_i) u(x_j)}, \quad (5.10)$$

где $r(x_i, x_j)$ – коэффициент корреляции по формуле (4.4);

$u(x_i)$ – стандартная неопределенность i -й входной величины, вычисленная по типу А или по типу В;

$u(x_j)$ – стандартная неопределенность j -й входной величины, вычисленная по типу А или по типу В.

Величины x_1, \dots, x_m , которые влияют на измеряемую величину Y , могут не иметь прямого отношения к ней. В самом деле, они могут быть выражены совершенно в других единицах.

Коэффициент чувствительности, связанный с каждой входной оценкой x_i , обозначается c_i и равен частной производной от модельной функции f по входной величине x_i :

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} = \left. \frac{\partial f}{\partial x_i} \right|_{x_i=x_i}. \quad (5.11)$$

Тогда окончательно суммарная стандартная неопределенность выходной величины (5.9) примет вид:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m c_i^2 u^2(x_i)}. \quad (5.12)$$

Следует отметить, что формула (5.12) справедлива только в том случае, если входные величины X_i (в данном случае случайные величины) независимы или некоррелированы.

5.4.3 Расширенная неопределенность рассчитывается по формуле (4.2).

В случае указания расширенной неопределенности результат измерений выражается в виде интервала:

$$Y = y \pm U$$

или

$$(y - U \leq Y \leq y + U). \quad (5.14)$$

Значение коэффициента охвата k выбирается на основе уровня доверия p , требуемого интервалом от $y - U$ до $y + U$, и для этого необходимо полное знание о распределении вероятностей значений выходной величины, характеризуемого оценкой выходной величины и ее стандартной неопределенностью.

В общем виде коэффициент охвата равен:

$$k = t_p(v_{eff}), \quad (5.15)$$

где $t_p(v_{eff})$ – квантиль распределения Стьюдента с эффективным числом степеней свободы v_{eff} и уровнем доверия p .

Значение коэффициента $t_p(v)$ для случайной величины, имеющей распределение Стьюдента с v степенями свободы для уровня доверия 0,95 приведены в таблице на рисунке Б.2. (Приложение Б).

Когда вклад неопределенности по типу А в суммарную неопределенность является значительным, когда он основан на результатах наблюдений $m < 7$, в этом случае рекомендуется устанавливать k равным значению коэффициента

Стьюдента с соответствующим эффективным числом степеней свободы, определяемым по формуле Велча – Саттерсвейта:

$$v_{eff} = \frac{[\sum_{i=1}^N u_i^2(y)]^2}{\sum_{i=1}^N u_i^4(y)/v_i} = \frac{(n-1)[u_A^2 + u_B^2]^2}{u_A^4} \quad (5.16)$$

5.5 Бюджет неопределенности

Бюджет неопределенности представляет собой таблицу, в которой содержится как минимум следующая информация:

- список всех источников неопределенности, то есть входных величин с принятыми в модели обозначениями
- полученные значения входных величин x_i и связанные с ними стандартные неопределенности $u(x_i)$;
- коэффициенты чувствительности c_i ;
- вклады неопределенности каждой выходной величины $u_i(y)$.

На рисунке 5.2 представлен пример заполнения таблицы «Бюджет неопределенности».

Таблица 4 – Схема бюджета неопределенности

Входная величина X_i	Оценка входной величины x_i	Стандартная неопределенность $u(x_i)$	Тип неопределенности	Распределение вероятностей входной величины	Коэффициент чувствительности c_i	Вклад неопределенности $u_i(y)$
X_1	x_1	$u(x_1)$	A (B)		c_1	$u_1(y)$
X_2	x_2	$u(x_2)$	A (B)		c_2	$u_2(y)$
X_N	x_N	$u(x_N)$	A (B)		c_N	$u_N(y)$
Y	Y					$u(y)$

Рисунок 5.2 – Таблица «Бюджет неопределенности»

После составления бюджета неопределенности можно рассчитать оценку выходной величины y и связанную с ней стандартную неопределенность $u(y)$.

Правило записи результата измерения:

- 1) расширенная неопределенность результата измерений представляется числом, содержащим не более двух значащих цифр;
- 2) округление производится лишь в окончательном ответе, а все предварительные вычисления проводят с одним-двумя лишними знаками;

3) если числовое значение неопределенности из-за округления уменьшается более, чем на 5%, то значение неопределенности следует указывать округленным в сторону увеличения (с избытком);

4) результат измерения округляется до того же десятичного разряда, которым оканчивается округленное значение неопределенности.

5.6 Контрольные вопросы

5.6.1 Опишите процесс оценивания неопределенности.

5.6.2 Перечислите этапы оценивания неопределенности.

5.6.3 Какие рекомендации по составлению модели измерения вы знаете?

5.6.4 Формулы для вычисления неопределенности типа В при различных функциях распределения входной величины.

5.6.5 В чем заключается анализ корреляций?

5.6.6 Что такое бюджет неопределенности?

5.6.7 В чем заключается процедура составления бюджета неопределенности?

5.6.8 Расчет суммарной стандартной неопределенности выходной величины.

5.6.9 Расчет расширенной неопределенности.

5.6.10 Как определить величину коэффициента охвата?

5.6.11 Когда применяется формула Велча – Саттерсвейта?

5.6.12 Правила записи результата измерения.

6 Практическое оценивание неопределенности измерения

Цель лекции: рассмотреть примеры практического оценивания неопределенности измерения методом GUM.

Содержание лекции:

- характеристики точности измерений;
- основные требования ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2018;
- практическое оценивание неопределенности измерения.

6.1 Характеристики точности измерений

Существует несколько подходов к оцениванию характеристик точности измерений.

Точность измерений (точность результата измерения) — близость измеренного значения к истинному значению измеряемой величины. Точность измерений описывает качество измерений в целом, объединяя понятия правильности измерений и прецизионности измерений. Понятие точность также используется как качественная характеристика средства измерений, отражающая близость к нулю его погрешности [11].

Понятие точность измерений согласно РМГ 29-2013 описывает качество измерений в целом, объединяя понятия правильность измерений и прецизионность измерений.

Применительно к средству измерений считается, что чем меньше его погрешность, тем точнее средство измерений.

Остановимся на следующих определениях характеристик точности измерений [13, 14]:

– *правильность измерений* – это качество измерений, отражающее близость к нулю систематических погрешностей в результатах измерений;

– *сходимость (повторяемость)* – это качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений одного и того же параметра, выполненных повторно одними и теми же средствами одним и тем же методом в одинаковых условиях и с одинаковой тщательностью;

– *воспроизводимость* – это качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в различных условиях (в различное время, в различных местах, различными методами и средствами).

6.2 Основные требования ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2018

Основные нормативные документы по оцениванию неопределенности измерений приведены в списке литературы [5–16] в конце настоящего конспекта лекций.

Основные требования нормативных документов (ИСО 17025) содержат требования к использованию метода оценивания неопределенностей [15, 16]. Национальный стандарт [15] является идентичным по отношению к международному стандарту ISO/IEC 17025:2017 [16]. Стандарт разработан с целью укрепления доверия к деятельности лабораторий.

Стандарт требует от лабораторий планировать и осуществлять мероприятия для обработки рисков и возможностей. Мероприятия, связанные с рисками и возможностями, служат основой для повышения результативности системы менеджмента, достижения более высоких результатов и предотвращения негативных последствий. Лаборатории несут ответственность за решение, в отношении каких рисков и возможностей должны предприниматься меры.

В Республике Казахстан, наряду с калибровкой средств измерений, широко распространена их поверка. Поэтому положения настоящего стандарта, касающиеся калибровки, могут быть отнесены также и к поверке.

Настоящий стандарт устанавливает общие требования к компетентности, беспристрастности и последовательной деятельности лабораторий. Стандарт применим для всех организаций, осуществляющих лабораторную деятельность, независимо от численности персонала. Стандарт применяется заказчиками лабораторий, регулирующими органами, организациями, использующими взаимную оценку и схемы, органами по аккредитации и

другими лицами при подтверждении или признании компетентности лабораторий.

Калибровочная лаборатория или испытательная, проводящая калибровку самостоятельно, должны иметь и применять процедуру оценивания неопределенности результатов измерений для всех калибровок.

Испытательные лаборатории должны иметь и применять процедуры оценивания неопределенности измерений.

6.3 Практическое оценивание неопределенности измерения

6.3.1 Пример 1. Определение скорости транспортного средства:

$$V = L/T,$$

где L – расстояние движения транспортного средства;

T – время движения.

6.3.1.2 Выявление источников неопределенности.

Соответствующие источники неопределенности показаны на диаграмме “причина – следствие” – диаграмме Ишикаве (рисунок 6.1).

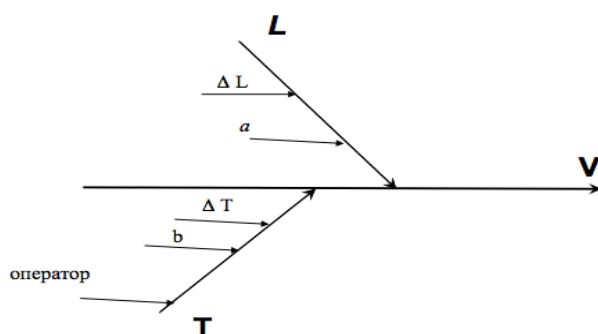


Рисунок 6.1 – Диаграмма Ишикавы

Обозначения на рисунке 6.1:

ΔL – погрешность измерения расстояния движения транспортного средства;

ΔT – погрешность измерения времени движения;

a – измеренное расстояние движения транспортного средства;

b – измеренное время движения.

6.3.1.3 Количественное выражение составляющих неопределенности.

Расчет результата измерений:

$$V = 0,200 / 0,004 = 50,00 \text{ км/ч.}$$

Расчет суммарной стандартной неопределенности:

$$u_c(V) = \sqrt{c_L^2 u^2(L) + c_T^2 u^2(T)}$$

Расчет расширенной неопределенности:

$$U(V) = k \cdot u_c(V).$$

Представление конечного результата измерения:

$$V \pm U(V) \text{ при } k=2 \quad P=95\%.$$

6.3.1.4 Составление бюджета неопределенности.

Для данной задачи составлен бюджет неопределенности согласно п. 5.5 (таблица 6.1).

Таблица 6.1 – Бюджет неопределенности

Величина X_1 ,	Ед.величины	Значение x_1	Тип неопределенности	Распределение вероятностей	Стандартная неопределенность, $u(x_i)$	Кэфф. чувствительности, c_i
L	m	0,200				C_L
ΔL			B	Прямоуг..	$u_{B1}(L) = \frac{\Delta L}{\sqrt{3}}$	C_L
a			B	Прямоуг.	$u_{B2}(L) = \frac{a}{\sqrt{3}}$	C_L
T	$ч$	0,004	A	Нормал.	$u_A(T) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{T})^2}{n(n-1)}}$	C_T
ΔT			B	Прямоуг.	$u_{B1}(T) = \frac{\Delta T}{\sqrt{3}}$	C_T
b			B	Прямоуг..	$u_{B2}(T) = \frac{b}{\sqrt{3}}$	C_T
V	$км/ч$	50			$u_c(V) = \sqrt{c_L^2 u^2(L) + c_T^2 u^2(T)}$	

6.3.2 Пример 2. Расчет неопределенности измерения при поверке манометра с диапазоном измерений 100 МПа класса точности 0,4.

Применяется поверочная установка (ПУ) – эталонный грузопоршневой манометр МП 2500 кл.т.0,05.

6.3.2.1 Модель измерений представлена в виде выражения:

$$\delta_1 = (P_{II} - P_3) / D,$$

где P_n – показания поверяемого манометра = 99,56 МПа;

$P_э$ – показания эталона = 100 МПа;

D – диапазон измерений поверяемого манометра.

Величина P_n вносит в результат измерений неопределенность из-за неточности при снятии показаний с поверяемого манометра – $u_n(y)$ и неточности установки стрелки на 0 – $u_n(0)$.

Величина $P_э$ вносит в результат измерений неопределенность от основной погрешности эталона – $u_э(\delta)$ и неопределенность из-за неточности установки равновесия – $u_э(n)$.

Предполагается, что входные величины *не коррелированы*.

6.3.2.2 Расчет стандартных неопределенностей входных величин.

Стандартные неопределенности из-за неточности при снятии показаний с поверяемого манометра $u_n(y)$ и неточности установки стрелки на 0 – $u_n(0)$ приняты равными с учетом прямоугольного закона распределения вероятности:

$$u_n(0)=u_n(y)=0,4 \text{ МПа}/\sqrt{3}=0,0232 \text{ МПа} ,$$

где 0,4 МПа – абсолютная погрешность поверяемого манометра.

Стандартная неопределенность от основной погрешности эталона $u_э(\delta)$ рассчитывается с учетом прямоугольного закона распределения вероятности по формуле:

$$u_э(\delta)=\delta/\sqrt{3}=0,029\% ,$$

где δ – предел допускаемой относительной погрешности эталонного манометра, равная 0,05 %.

Тогда для поверяемой точки 100 МПа:

$$u_э(\delta)=0,00029 \times 100 \text{ МПа} = 0,029 \text{ МПа}.$$

Стандартная неопределенность из-за неточности установки равновесия $u_э(n)$ принята равной 0,2 стандартной неопределенности от основной погрешности эталона:

$$u_э(n)=0,2 \times 0,029 = 0,0058 \text{ МПа}.$$

Вклад в стандартную неопределенность, связанный с оценкой выходной величины – y , который получается из стандартной неопределенности, связан с оценкой входной величины x_i , по следующей формуле:

$$u_i(y) = c_i * u(x_i).$$

В то время как стандартная неопределенность $u(x_i)$ всегда положительна, вклад неопределенности $u_i(y)$ в зависимости от знака коэффициента чувствительности может принимать положительное или отрицательное значение.

6.3.2.3 Расчет суммарной стандартной неопределенности.

Суммарная стандартная неопределенность рассчитывается по формуле:

$$u_c(\delta) = \sqrt{C(P_n)^2 [u_n(y)^2 + u_n(0)^2] + C(P_3)^2 [u_3(\delta)^2 + u_3(n)^2]}.$$

Коэффициенты влияния (чувствительности) для всех переменных рассчитываются как частные производные от модельного уравнения измерений:

$$C(P_n) = 1/D;$$

$$C(P_3) = -1/D.$$

6.3.2.4 Бюджет неопределенности представлен на рисунке 6.3.

Величина	Оценка величины	Распределение	Стандартная неопределенность $u(x_i)$ МПа	Коэффициент чувствительности	Вклад неопределенности u_i
P_n	99,56 МПа	Прямоуг.	$u_n(y) = 0,0232$	$1/100 \text{ МПа}^{-1}$	0,000232
		Прямоуг.	$u_n(0) = 0,0232$	$1/100 \text{ МПа}^{-1}$	0,000232
P_3	100 МПа	Прямоуг.	$u_3(\delta) = 0,029$	$-1/100 \text{ МПа}^{-1}$	-0,00029
		Прямоуг.	$u_3(n) = 0,0058$	$-1/100 \text{ МПа}^{-1}$	-0,000058
δ	-0,4 %	Нормальн.	$u_c(\delta) = 0,0442 \%$		

Рисунок 6.3 – Бюджет неопределенности

6.3.2.5 Расчет расширенной неопределенности.

Расширенная неопределенность рассчитывается для нормального закона распределения при коэффициенте охвата 2 при доверительной вероятности 95% по формуле (4.2):

$$U(\delta) = 2 * u_c = 0,088 \%$$

6.3.2.6 Результат измерения.

В случае указания расширенной неопределенности результат измерений выражается в виде интервала:

$$\delta = \delta \pm U(\delta) = (0,4 \pm 0,09) \%;$$

$$0,31\% < \delta < 0,49\%.$$

6.4 Контрольные вопросы

6.4.1 Дайте определение характеристикам точности измерений.

6.4.2 Основные требования ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2019 к использованию метода оценивания неопределенностей

6.4.3 Рассчитайте неопределенность измерения скорости транспортного средства.

6.4.4 Рассчитайте неопределенность измерения при поверке манометра.

6.4.5 Как составляется бюджет неопределенности?

6.4.6 Как записывается результат измерения?

7 Принятие решения о соответствии требованиям с учетом неопределенности измерения

Цель лекции: изучить основные термины и определения в области принятия решения о соответствии требованиям.

Содержание лекции:

- основные понятия из области оценки соответствия;
- основные международные документы по вопросу использования неопределенности измерений при оценке соответствия;
- правила принятия решения о соответствии требованиям. Общие сведения.

7.1 Основные понятия из области оценки соответствия

Оценка соответствия – доказательство того, что заданные требования к продукции, процессу, системе, лицу или органу выполнены [10].

Максимальная допускаемая погрешность измерения (МРЕ) – крайнее значение погрешности измерения относительно известного опорного значения величины, разрешенное спецификацией или нормативными документами для данного измерения, средства измерения или измерительной системы (VIM 3, 4.26) [10].

Поле допуска – интервал допустимых значений свойства.

Согласно ГОСТ Р ИСО 10576-1-2006, область допустимых значений количественного параметра может быть ограничена только с одной стороны или с двух сторон [17]. Границы области поэтому бывают двух видов: двусторонние, состоящие из верхней и нижней границ, и односторонние, состоящие из верхней или нижней границы (рисунок 7.1).



Рисунок 7.1 – Графическое представление интервала допуска или допускаемого интервала

На рисунке 7.1 изображены три вида области допустимых значений, которые возможно представить следующими примерами:

- первый вид (a) допускаемого интервала: прибор считается выдержавшим испытания, если его сопротивление изоляции не менее 10 МОм;
- второй вид (b) допускаемого интервала: прибор считается выдержавшим испытания, если его сопротивление изоляции не более 10 МОм;
- третий вид (c) допускаемого интервала: термометры электронные медицинские типа OMRON имеют абсолютную погрешность $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

Правило принятия решения – задокументированное правило, которое описывает для заданного требования и результата измерения способ учета неопределенности измерения при приемке или браковке объекта (JCGM 106:2012, 3.3.12) [18].

Правила принятия решений дают рекомендации с учетом измеренного значения величины, его неопределенности, установленных допускаемых пределов с учетом приемлемого риска принятия неверного решения.

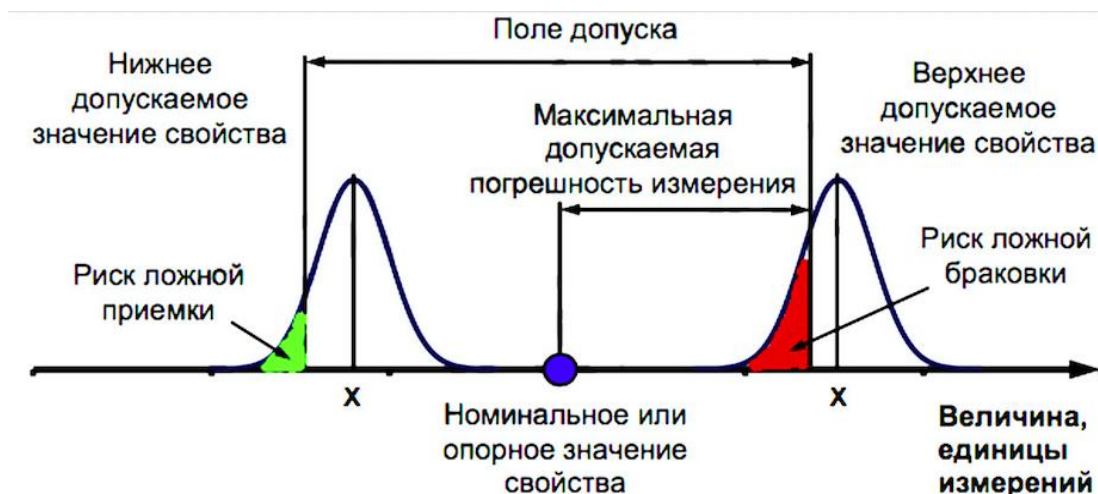
Существуют следующие виды рисков принятия неверного решения.

Риск ложной приемки – вероятность того, что конкретный принятый объект окажется несоответствующим (OIML G 19, 2.18) [19].

Риск ложной браковки – вероятность того, что конкретный забракованный объект окажется соответствующим (OIML G 19, 2.19) [19].

Совместный риск – риск, основанный на соглашении между сторонами, заинтересованными в результате испытания, о том, что ни одна из сторон не получит преимущество или не будет нести убытки из-за учета неопределенности измерений (OIML G 19, 2.20) [19].

Графическое пояснение приведенных выше понятий приведено на рисунке 7.2.



X - измеренное значение величины

Рисунок 7.2 – Графическое пояснение понятий

Рассмотрим на примере измерения массовой концентрации нитратов в пробе питьевой воды правила принятия решения о соответствии требованиям: массовая концентрация нитратов не превышает верхний предел, равный 45 мг/дм³ (рисунок 7.3).

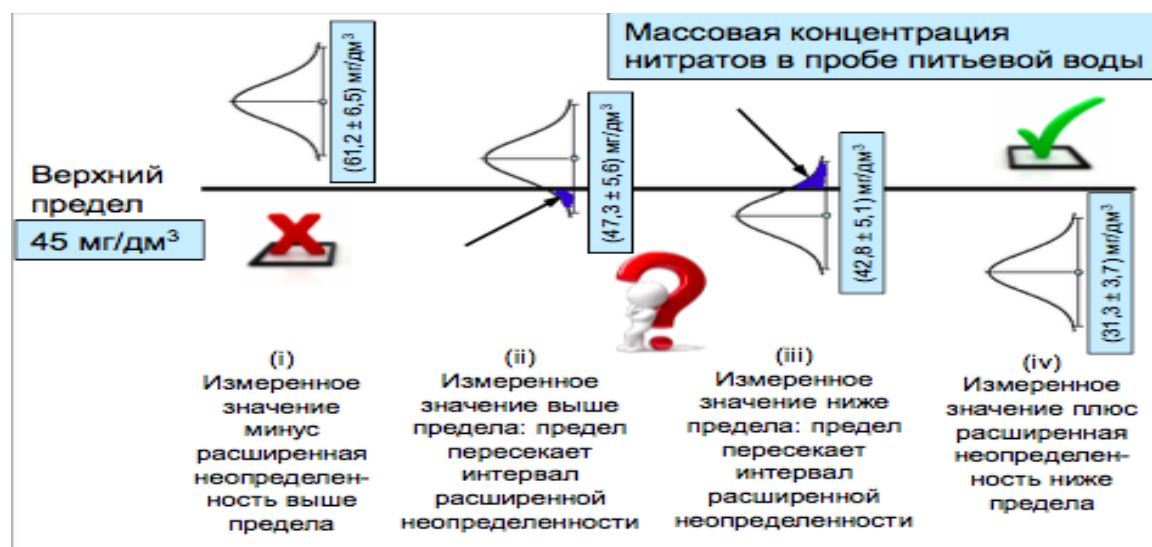


Рисунок 7.3 – Иллюстрация использования правила принятия решения о соответствии требованиям

В случаях (ii) и (iii) нет возможности однозначно принять решение о соответствии пробы воды заданным требованиям, поскольку измеренное значение массовой концентрации нитратов в пробе воды изменяется в пределах поля допуска и как превышает установленный верхний предел (ii), так и не превышает верхний предел (iii).

В случае (ii) на рисунке 7.3 показан возможный риск ложной приемки, в случае (iii) – возможный риск ложной браковки.

7.2 Основные международные документы по вопросу использования неопределенности измерений при оценке соответствия

Основные международные документы по вопросу использования неопределенности измерений при оценке соответствия приведены в списке литературы [17–20].

7.2.1 Нормативный документ Объединенного комитета руководств по метрологии – JCGM 106:2012 (Joint Committee for Guides in Metrology) [18].

Оценивание данных измерений – Роль неопределенности измерений при оценке соответствия (BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP).

7.2.2 Нормативный документ Международной организации по законодательной метрологии – OIML G 19:2017 (International Organization of Legal Metrology). Роль неопределенности измерений при принятии решений об оценке соответствия в законодательной метрологии [19].

7.2.3 Руководство EURACHEM/CITAC. Использование информации о неопределенности при оценке соответствия [20].

EURACHEM — это сеть организаций в Европе, целью которых является создание системы международной прослеживаемости химических измерений и продвижение практики хорошего качества. Он обеспечивает форум для обсуждения общих проблем и разработки информированного и взвешенного подхода как к техническим, так и к политическим вопросам.

7.2.4 ISO 10576-1:2003. Statistical methods – Guidelines for the evaluation of conformity with specified requirements – Part 1: General principles. Данный нормативный документ имеет русскоязычную версию. ГОСТ Р ИСО 10576-1-2006. Статистические методы. Руководство по оценке соответствия установленным требованиям. Часть 1. Общие принципы [17]. Важная информация из статей данного стандарта:

- при сравнении результатов измерений или испытаний с предельными значениями необходимо учитывать неопределенность результатов измерений;
- результаты измерений параметра и неопределенность измерений должны быть зарегистрированы. *Неопределенность измерений* следует представлять в виде интервала неопределенности. Если этот интервал является доверительным интервалом, необходимо указывать доверительную вероятность, соответствующую интервалу. В противном случае следует указывать коэффициент охвата интервала неопределенности.

7.3 Правила принятия решений о соответствии требованиям. Общие сведения

Правила принятия решений могут быть установлены:

- нормативным актом, например ГОСТ 27384 «Вода. Нормы погрешности измерений показателей состава и свойств»;
- спецификацией на продукцию;
- документально оформленными специальными соглашениями между поставщиком и потребителем (например, в контракте на поставку).

В идеальном случае правила принятия решений должны быть прописаны в документе, устанавливающем требования к объекту контроля.

Прежде чем установить правила принятия решений соответствия требованиям, должна быть определена *оценка соответствия*.

Оценка соответствия – это систематическая экспертиза (посредством измерений) соответствия объекта установленным требованиям.

Цель оценки соответствия – обеспечить уверенность в том, что объект соответствует установленным требованиям.

Решение о соответствии требованиям может быть принято только в том случае, если интервал неопределенности окончательного результата измерений находится внутри области допустимых значений.

На рисунке 7.3 рассмотрены три возможных результата принятия решений о соответствии требованиям [17]:

- «Соответствие установлено» (случай (iv)), если интервал неопределенности результатов измерений находится внутри области допустимых значений, принимают решение о соответствии.

Решение о соответствии формулируется следующим образом: *оценка соответствия продемонстрировала, что значение контролируемого параметра соответствует требованиям*.

- «Несоответствие установлено» (случай (i)), если интервал неопределенности результатов измерений находится внутри области недопустимых значений, то принимают решение о несоответствии.

Решение о несоответствии формулируется следующим образом: *оценка соответствия продемонстрировала, что значение контролируемого параметра не соответствует требованиям*.

- «Неокончателный результат» (случаи (ii) и (iii)), если не может быть принято решение ни о соответствии, ни о несоответствии требованиям, результат оценки соответствия является неокончательным.

Результат неокончательной оценки может иметь следующую формулировку: *оценка соответствия не способна продемонстрировать, что значение контролируемого параметра соответствует или не соответствует требованиям*.

7.3.1 Правила принятия решений с высокой вероятностью несоответствия.

Результат предполагается несоответствующим требованиям, если результат измерения превышает предел (только в случае (i) будет предполагаться несоответствие) (рисунок 7.4).

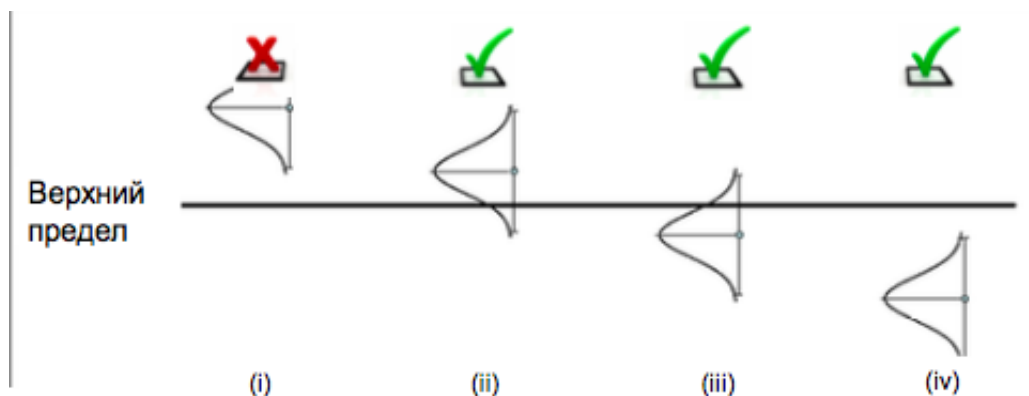


Рисунок 7.4 – Иллюстрация правила принятия решений с высокой вероятностью несоответствия

7.3.2 Правила принятия решений с высокой вероятностью соответствия.

Результат предполагается соответствующим требованиям, если результат измерения не превышает предел (только в случае (iv) будет предполагаться соответствие) (рисунок 7.4).

7.3.3 Правила принятия решений с совместным риском.

Результат предполагается соответствующим требованиям, если измеренное значение не превышает заданного предела (в случаях (iii) и (iv) будет предполагаться соответствие требованиям) (рисунок 7.4).

7.3.4 Правила принятия решений с ограничением неопределенности измерений (рисунок 7.5).

Целевая неопределенность измерений – неопределенность измерений, заранее установленная как верхний предел и принятая исходя из предполагаемого использования результатов измерений (VIM3, 2.34) [10].

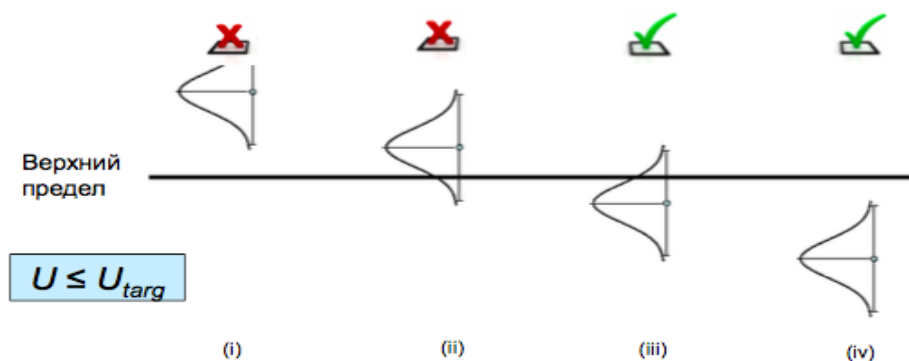


Рисунок 7.5 – Иллюстрация правила принятия решений с ограничением неопределенности измерений

Согласно данному правилу, результат измерения предполагается несоответствующим требованиям, если *измеренное значение* лежит выше допускаемого предела, заданного как целевая неопределенность, (случаи (i) и (ii)), и соответствующим требованиям, если измеренное значение лежит ниже допускаемого предела (случаи (iii) и (iv)), при условии, что расширенная неопределенность ниже заданного значения.

7.4 Контрольные вопросы

7.4.1 Определение оценки соответствия, области применения.

7.4.2 Поле допуска, его связь с допускаемым интервалом.

7.4.3 Основные понятия: Риск ложной приемки, Риск ложной браковки, Совместный риск. Приведите графическое пояснение этих понятий.

7.4.4 Перечислите основные международные документы по вопросу использования неопределенности измерений при оценке соответствия.

7.4.5 Правила принятия решения о соответствии требованиям, определение.

7.4.6 Графическое представление результата измерения и допускаемых значений.

7.4.7 Как устанавливаются правила принятия решений?

7.4.8 Правила принятия решений с высокой вероятностью несоответствия,

7.4.9 Правила принятия решений с высокой вероятностью соответствия.

7.4.10 Правила принятия решений с совместным риском.

7.4.11 Правила принятия решений с ограничением неопределенности измерений.

8 Принятие решения о соответствии требованиям с учетом неопределенности измерения (продолжение)

Цель лекции: изучить правила принятия решения о соответствии требованиям с учетом неопределенности измерения и их практические применения.

Содержание лекции:

- правила принятия решения с использованием защитной полосы;
- правила принятия решений с использованием показателя измерительных возможностей;
- правила принятия решений с вычислением рисков;
- примеры решения задач.

8.1 Правила принятия решений с использованием защитной полосы

Защитная полоса (guard band) – g – интервал между границей поля допуска и соответствующей приемочной границей (JCGM 106, 3.3.11) [18].

Рассчитав защитную полосу по известным заданным пределам и неопределенности измерений, строится *область соответствия* (приемочный интервал) и *область несоответствия* (браковочный интервал) (рисунок 8.1).

Результат считается соответствующим требованиям, если *измеренное значение находится в области соответствия*, и несоответствующим требованиям, если *измеренное значение находится в области несоответствия*.

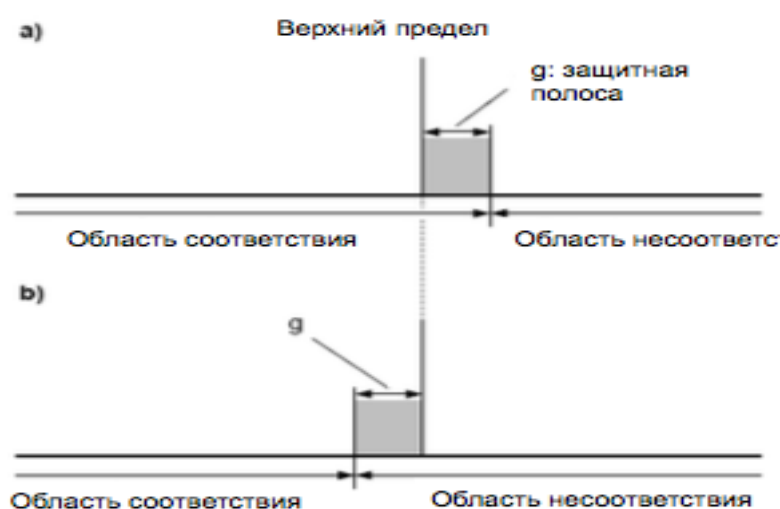


Рисунок 8.1 – Иллюстрация расположения защитной полосы

Защитная полоса рассчитывается по формуле:

$$g = k_{\alpha} \cdot u, \quad (8.1)$$

где k_{α} – множитель, значение которого зависит от заданной вероятности ошибочного решения α и вида функции распределения измеряемой величины.

На рисунке 8.1 показаны области соответствия и несоответствия при высокой вероятности верного отклонения принятия решения (а) и при высокой вероятности правильного принятия решения (б). Рассмотрены случаи, когда задана или известна одна граница допуска – задан верхний предел допуска. Если задана высокая вероятность принятия правильного решения, то защитная полоса отнимается от верхнего предела, сужая область соответствия и расширяя область несоответствия. Если задана высокая вероятность неверного принятия решения, то защитная полоса прибавляется к величине верхнего предела, сужая область несоответствия и расширяя область соответствия.

Если заданы нижний и верхний пределы поля допуска (рисунок 8.2), то защитная полоса прибавляется к нижнему пределу и отнимается от верхнего предела. В этом случае задан низкий риск ошибочного принятия решений.

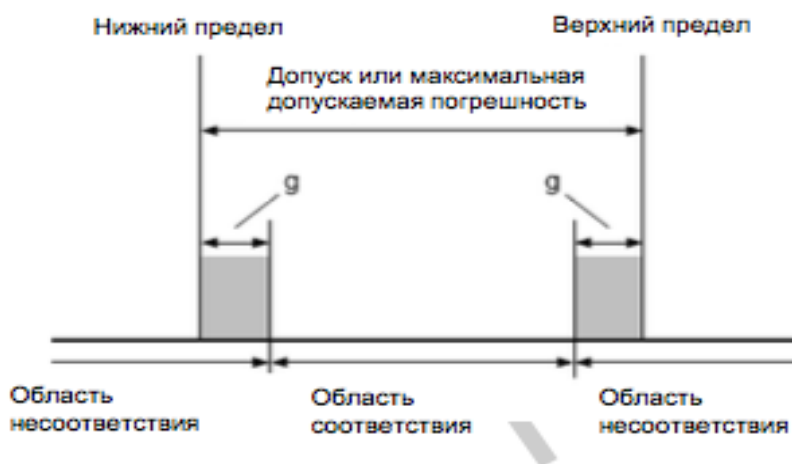


Рисунок 8.2 – Области соответствия и несоответствия при низком риске ошибочного принятия решений

8.2 Правила принятия решений с использованием показателя измерительных возможностей

Показателем измерительных возможностей называется параметр, который характеризует качество измерения относительно требования, заданного с помощью допуска.

Показатель измерительных возможностей – допуск, разделенный на число, кратное стандартной неопределенности измерений, соответствующей измеренному значению свойства объекта (JCGM 106, 3.3.17) [18]:

$$C_m = \frac{T_U - T_L}{2U} = \frac{T}{2U} = \frac{T}{4u}.$$

При калибровке или поверке средства измерений заданное требование часто выражается с помощью максимальной допускаемой погрешности.

В общем случае симметричного интервала $[-E_{max}, +E_{max}]$ допуск составляет:

$$T = 2E_{max},$$

а показатель измерительных возможностей будет составлять:

$$C_m = \frac{2E_{max}}{2U} = \frac{E_{max}}{U} = \frac{E_{max}}{2u},$$

где U – расширенная неопределенность для коэффициента охвата $k = 2$, связанная с погрешностью показания средства измерений.

Если измеряемую величину можно описать нормальной функцией плотности вероятности (PDF), то вероятность соответствия p_c при заданных границах поля допуска (T_L , T_U) и определенном результате измерения, представленном в виде (y , u), можно вычислить как:

$$p_c = \Phi(4C_m(1 - \tilde{y})) - \Phi(-4C_m\tilde{y}) = p_c(\tilde{y}, C_m),$$

где $\tilde{y} = \frac{y - T_L}{T}$ – вспомогательная величина, значения которой находятся в интервале $0 \leq \tilde{y} \leq 1$, если измеренное значение величины y лежит внутри соответствующего поля (рисунок 8.3).

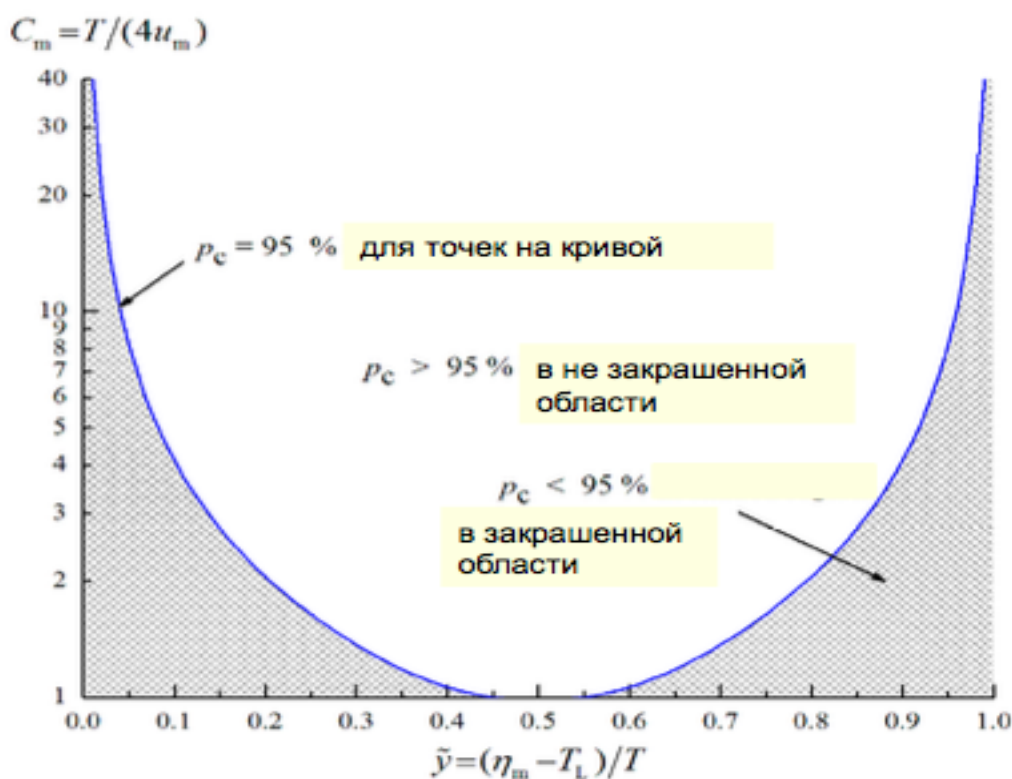


Рисунок 8.6 – Вероятность соответствия в зависимости от значений показателя измерительных возможностей

8.3 Правила принятия решений с вычислением рисков

Основное правило для вычисления вероятности соответствия: объект соответствует заданному требованию, если *истинное значение его свойства Y лежит внутри поля допуска*. Знания об Y представляются с помощью функции плотности вероятности (PDF) $f(x_i)$ таким образом, что заявление о соответствии всегда является заключением, имеющим некоторую вероятность того, что оно является истинным.

Если обозначить набор соответствующих требованию значений Y через C , вероятность соответствия, обозначаемая через p_C , будет вычисляться как:

$$p_C = \Pr(Y \in C|x_i) = \int_C f(x_i)dx.$$

Так как объект либо соответствует требованию, либо нет, вероятность того, что он не соответствует, составляет:

$$\bar{p}_C = 1 - p_C.$$

Предположим, что PDF $f(x_i)$ для измеряемой величины Y хорошо аппроксимируется нормальным распределением, которое определено измеренным значением величины (математическим ожиданием) y и стандартной неопределенностью (стандартным отклонением) u .

Тогда вероятность нахождения значения величины в границах от a до b рассчитывается как:

$$\Pr(a \leq Y \leq b|x_i) = \Phi\left(\frac{b-y}{u}\right) - \Phi\left(\frac{a-y}{u}\right).$$

Значения функции PDF $\Phi(x)$ определяют по справочной таблице.

8.3.3 Пример задания принятия решений с вычислением рисков.

Задание: образец моторного масла класса вязкости 40 по SAE должен иметь кинематическую вязкость Y при 100 °C не менее 12,5 мм²/с (нижнее поле допуска) и не более 16,3 мм²/с (верхнее поле допуска). Кинематическая вязкость образца измеряется при 100 °C.

Измеряемая величина – кинематическая вязкость моторного масла.

Результат измерения (13,6 ± 3,6) мм²/с, $k = 2$, $P = 95$ %.

Результат измерения представлен с расширенной неопределенностью. Рассчитаем суммарную стандартную неопределенность:

$$u = U/k = U/2 = 3,6/2 = 1,8 \text{ мм}^2/\text{с}.$$

Вероятность нахождения значения величины в границах поля допуска от 12,5 мм²/с до 16,3 мм²/с рассчитывается как:

$$\begin{aligned} p_C &= \Pr(12,5 \leq Y \leq 16,3|13,6) = \\ &= \Phi\left(\frac{16,3 - 13,6}{1,8}\right) - \Phi\left(\frac{12,5 - 13,6}{1,8}\right) = \\ &= \Phi(1,5) - \Phi(-0,6) = 0,93 - 0,27 = 0,66. \end{aligned}$$

Заключение: вероятность того, что образец моторного масла соответствует техническим требованиям, составляет 66 %.

8.4 Основные положения о соответствии требованиям

1. Оценка неопределенности крайне необходима, чтобы результаты измерений были метрологически прослеживаемы.

2. Заключение о соответствии требованиям делается на основании результата измерения (измеренного значения и неопределенности измерений).

3. Исходя из вероятностного подхода, положенного в основу концепции неопределенности, при сравнении результата измерения с установленными требованиями (особенно вблизи допускаемых значений) существует вероятность принять неверное решение.

4. Риски принятия неверных решений могут иметь серьезные последствия, поэтому должны всегда анализироваться и оцениваться.

5. Приемлемые уровни рисков устанавливаются через правила принятия решений, которые должны быть задокументированы.

8.5 Вопросы для самоконтроля

8.5.1 Основные понятия: Риск ложной приемки, Риск ложной браковки, Совместный риск. Приведите графическое пояснение этих понятий.

8.5.2 Перечислите основные международные документы по вопросу использования неопределенности измерений при оценке соответствия.

8.5.3 Правила принятия решения о соответствии требованиям, определение.

8.5.4 Как устанавливаются правила принятия решений?

8.5.5 Правила принятия решений с высокой вероятностью несоответствия.

8.5.6 Правила принятия решений с высокой вероятностью соответствия.

8.5.7 Правила принятия решений с совместным риском.

8.5.8 Правила принятия решений с ограничением неопределенности измерений.

8.5.9 Правила принятия решений с использованием защитной полосы.

8.5.10 Правила принятия решений с использованием показателя измерительных возможностей.

8.5.11 Правила принятия решений с вычислением рисков.

9 Трансформирование распределений и метод Монте-Карло

Цель лекции: изучить трансформирование неопределенности и распределений и оценку неопределенности измерений методом Монте-Карло.

Содержание лекции:

- трансформирование неопределенности по методу GUM;
- методы Монте-Карло. Определение. Примеры;
- трансформирование распределений по методу Монте-Карло.

9.1 Трансформирование неопределенностей по GUM

Согласно Руководству ИСО/МЭК 98-3 GUM «...устанавливает общую методологию оценивания неопределенности...», основанную на использовании закона *трансформирования неопределенностей*, когда выходная величина подчиняется *нормальному распределению* или масштабированному *смещенному t-распределению* [21].

В настоящем ГОСТ [21] термин «закон *трансформирования неопределенностей*» используется в смысле аппроксимации функции измерения рядом Тейлора первого порядка. Этот термин также применяется при использовании рядов более высокого порядка.

Для GUM закон *трансформирования неопределенностей* (рисунок 9.1) учитывает неопределенности входных величин и позволяет вычислить стандартную неопределенность оценки выходной величины на основе:

- наилучших оценок входных величин;
- стандартных неопределенностей оценок входных величин;
- числа степеней свободы для стандартных неопределенностей оценок входных величин;
- всех ненулевых ковариаций пар этих оценок.

Полученная плотность распределения вероятностей выходной величины позволяет определить для выходной величины интервал охвата с заданной вероятностью.

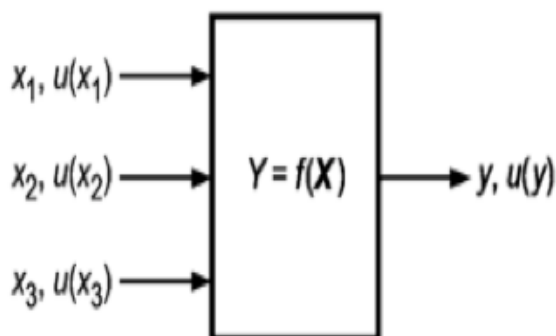


Рисунок 9.1 – Трансформирование неопределенностей по GUM для трех независимых входных величин

В случае *линейной модели* применение закона трансформирования неопределенностей *по GUM* всегда корректно.

Условия применимости способа оценивания неопределенности по GUM в случае *нелинейной модели* [21]:

- а) функция f имеет непрерывную производную по компонентам X_i вектора X в окрестностях оценок x_i ;
- б) условие а) справедливо в отношении производных всех порядков, используемых в законе трансформирования неопределенностей;
- в) величины X_i , входящие в значимые члены разложения функции $f(X)$ в ряд Тейлора высших порядков, независимы;

- г) величины X_i , входящие в значимые члены разложения функции $f(X)$ в ряд Тейлора высших порядков, подчиняются нормальному распределению;
- д) члены высших порядков, не включенные в аппроксимацию $f(X)$ рядом Тейлора, пренебрежимо малы.

9.2 Методы Монте-Карло. Определение. Примеры

Методы Монте-Карло — это численные методы решения математических задач при помощи моделирования случайных величин [22].

Согласно этому определению, к методам Монте-Карло можно отнести такие методы, как, например, стохастические приближения или случайный поиск, которые, как правило, рассматриваются отдельно. Специалисты по этим методам сами называют свои приемы методами Монте-Карло (ММК):

- речь идет о численных методах (и конкурировать они могут с классическими численными методами, а не с аналитическими методами решения задач);
- ММК может решать любые математические задачи, а не только связанные со случайными величинами.

Развитию ММК способствовало бурное развитие компьютерной техники. В настоящее время методы Монте-Карло используются для решения задач в различных областях науки и техники: математике, физике, химии, экономике, теории управления и других.

Суть метода метод Монте-Карло заключается в следующем: процесс описывается математической моделью с использованием генератора случайных чисел, модель многократно обчисляется, на основе полученных данных вычисляются вероятностные характеристики рассматриваемого процесса.

Большим преимуществом метода Монте-Карло является то, что он позволяет учесть в модели элемент случайности и сложность реального мира. Кроме того, метод является робастным по отношению к изменению различных параметров, таких, как распределение случайной величины. В его основе лежит *закон больших чисел*. Согласно закону, среднее значение конечной выборки из фиксированного распределения близко к математическому ожиданию этого распределения.

Основные проблемы, которые встречаются при использовании ММК:

- генерация независимых случайных величин. Это не такая простая задача, как может показаться на первый взгляд;
- обеспечить сходимость ошибки.

Первая проблема решается использованием «хороших» генераторов случайных чисел (равномерного распределения), которые, как правило, поставляются с ОС компьютера. Для решения второй проблемы в приложениях метода Монте-Карло используются очень большие выборки.

Одним из типичных примеров использования метода Монте-Карло являются задачи, в которых необходимо найти математическое ожидание

некоторой случайной величины. Для этого нужно сгенерировать набор случайных значений данной величины и найти среднее. Случайная величина обычно характеризуется определенным распределением вероятностей.

9.2.1 Расчет числа π методом Монте-Карло.

Суть задачи заключается в том, что согласно формуле:

$$\frac{S_{\text{круга}}}{S_{\text{квадрата}}} = \frac{\pi R^2}{(2R)^2} = \frac{\pi}{4},$$

для определения числа π необходимо заполнить квадрат, очерченный вокруг круга с радиусом R , точками со случайными координатами (рисунок 9.2).

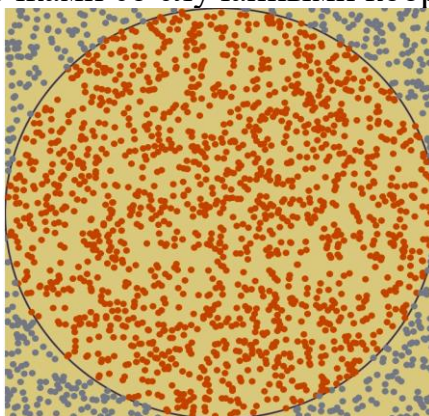


Рисунок 9.2 – Иллюстрация расчета числа π методом Монте-Карло

Далее рассчитать отношение количества точек, попавших в круг, к общему количеству точек и умножить результат на 4, чтобы получить значение числа π . Чем больше количество точек, тем ближе полученное значение к истинному значению числа π . При вычислении числа π ошибка перестала уменьшаться уже при выборке 2000 измерений. Рекомендуемое число выборки для метода Монте-Карло рассмотрено в [22].

9.3 Трансформирование распределений и метод Монте-Карло

Трансформирование распределений (propagation of distributions) – метод, используемый для определения функции распределения выходной величины на основе функции распределения входных величин, от которых выходная величина зависит функционально [21].

Трансформирование распределений может быть аналитическое или численное, точное или приближенное.

Существуют следующие способы трансформирования распределений:

а) аналитическими методами, обеспечивающими определение плотности распределения вероятностей для Y за счет математических преобразований;

б) применением закона трансформирования неопределенностей, основанного на замене функции измерения ее аппроксимацией рядом Тейлора с членами первого порядка;

с) применением того же закона трансформирования неопределенностей (п. б), но с учетом членов разложения более высокого порядка;

д) численными методами, в том числе с использованием метода Монте-Карло.

Метод МК применим к моделям с произвольным числом входных величин и *единственной* выходной величиной.

Метод МК имеет особое значение, когда [21]:

1) линеаризация модели не обеспечивает ее адекватного представления;

2) распределение выходной величины, например вследствие своей выраженной асимметрии, не может быть описано нормальным распределением или масштабированным смещенным t-распределением.

При использовании ММК для оценки неопределенности результата измерения:

- в случае 1) оценки выходной величины и соответствующей стандартной неопределенности, полученные в соответствии с GUM, могут оказаться недостоверными;

- в случае 2) при оценке неопределенности могут быть получены недостоверные интервалы охвата (обобщение понятия расширенной неопределенности, используемого в GUM).

В то время как для применения способа оценивания неопределенности по GUM существуют некоторые ограничения (п.9.1), *трансформирование распределений* всегда позволяет получить плотность распределения вероятностей выходной величины на основе распределений входных величин (рисунок 9.3).

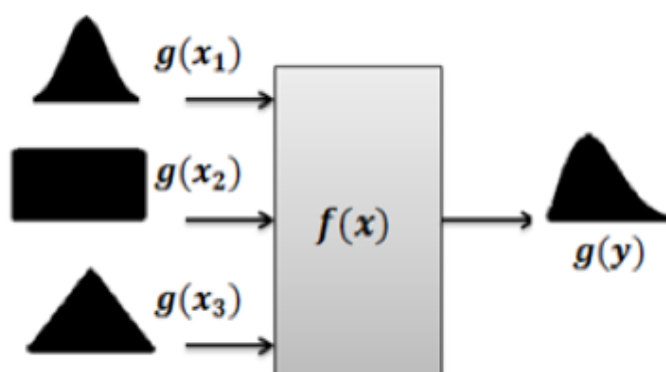


Рисунок 9.3 – Иллюстрация закона трансформирования распределений

Этот подход заключается в получении повторных выборок из плотностей распределения вероятностей для входных величин X_i и получение соответствующей выборки на выходе модели.

После получения плотности распределения вероятностей выходной величины могут быть определены математическое ожидание (как оценка выходной величины), стандартное отклонение (в качестве стандартной неопределенности этой оценки), интервал охвата, соответствующий заданной вероятности. Для определения интервала охвата *необходимо предварительно* выходную выборку упорядочить по возрастанию.

Условия применимости ММК для трансформирования распределений с получением результатов оценивания неопределенности:

- функция измерения f непрерывна по всем X_i вектора \mathbf{X} в окрестностях наилучших оценок x_i входных величин X_i ;
- функция распределения для Y непрерывна и строго возрастающая;
- плотность распределения вероятностей для Y :
 - а) непрерывна на интервале, где ее значения строго положительны;
 - б) унимодальна (имеет единственный максимум);
 - в) равна нулю или монотонно возрастает слева от моды и монотонно убывает или равна нулю справа от моды;
- выбранное значение числа испытаний M является достаточно большим.

Если данные условия выполнены, то результаты оценивания неопределенности с использованием ММК можно считать достоверными. Эти условия менее жесткие, чем те, выполнение которых необходимо для оценивания неопределенности по GUM.

Реализация ММК представлена в виде алгоритма на схеме в приложении В.

9.4 Вопросы для самоконтроля

- 9.4.1 Дать определение методам Монте-Карло.
- 9.4.2 Как вы понимаете, в чем суть метода Монте-Карло?
- 9.4.3 Какой нормативный документ рекомендован для изучения метода Монте-Карло?
- 9.4.4 Трансформация распределений, что это?
- 9.4.5 Способы трансформирования распределений.
- 9.4.6 Когда применяется метод Монте-Карло при оценке неопределенности измерения?
- 9.4.7 Трансформирование неопределенностей по методу GUM.
- 9.4.8 Трансформирование распределений по методу Монте-Карло.
- 9.4.9 Этапы трансформирования распределений по методу Монте-Карло.
- 9.4.10 Схема реализации метода Монте-Карло.

10 Оценивание неопределённости измерения методом Монте-Карло и методом Крагтена

Цель лекции: изучить оценку неопределенности измерений методами Монте-Карло и Крагтена.

Содержание лекции:

- алгоритм моделирования случайных величин методом Монте-Карло;
- недостатки и достоинства метода Монте-Карло;
- метод электронных таблиц для вычисления неопределенности (метод Крагтена);
- связь и различия между методами Монте-Карло, GUM и Крагтена.

10.1 Алгоритм моделирования случайных величин методом Монте-Карло

Алгоритм моделирования случайных величин ММК разработан в соответствии с этапами трансформирования распределений по ММК и представлен на рисунке 10.1:

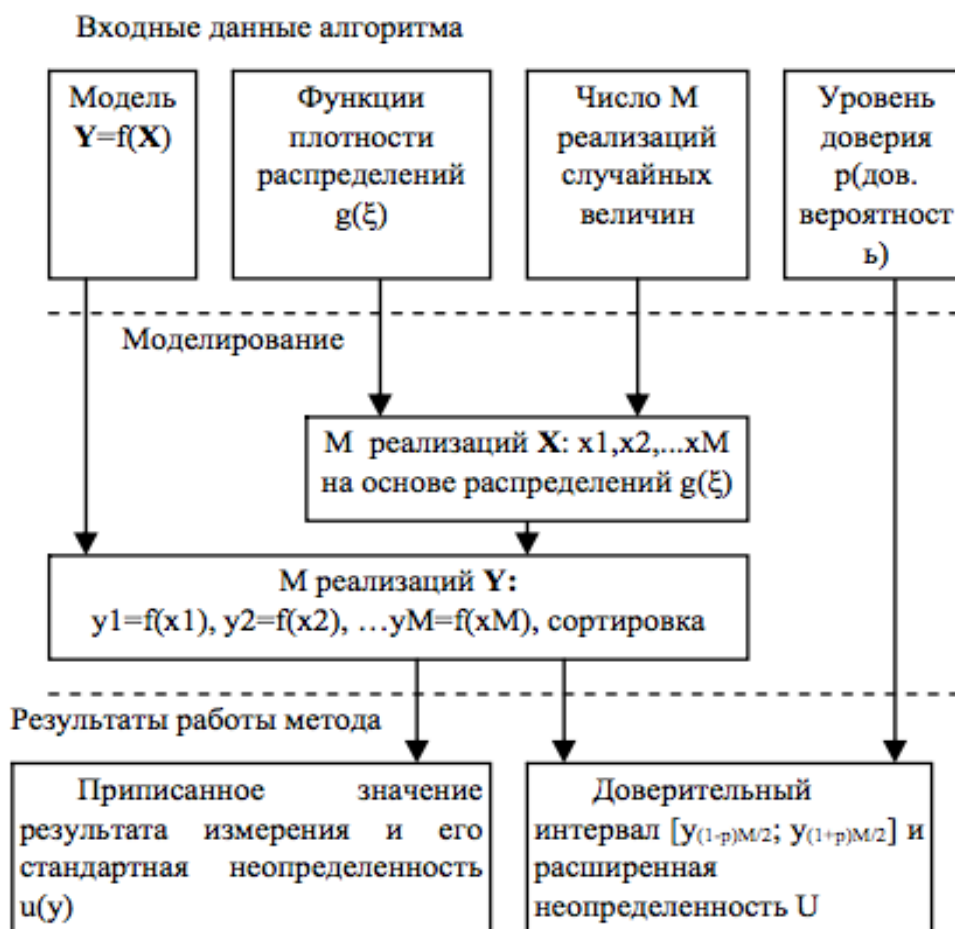


Рисунок 10.1 - Алгоритм моделирования случайных величин ММК

– согласно заданным функциям плотности распределений входных величин $g(\xi)$ генерируется M реализаций наборов входных величин. Для этого используются стандартные генераторы псевдослучайных чисел с периодом гораздо больше M ;

– используя математическую модель измерения $Y=f(X)$, вычисляется M значений y_1, \dots, y_M ; а также приписанное значение результата измерения – среднее арифметическое набора y_1, \dots, y_M ; стандартная неопределенность – оценка стандартного отклонения;

– отсортировать полученные y_1, \dots, y_M по возрастанию. Доверительный интервал с уровнем доверия p : $[Y_{M(1-p)/2}; Y_{M(1+p)/2}]$, соответственно расширенная неопределенность U вычисляется из этого интервала. Например, для $p=0,95$: $[Y_{0.025*M}; Y_{0.975*M}]$.

10.1.1 Пример реализации ММК. Калибровка переносного цифрового мультиметра на $E_X = 100$ В постоянного тока.

Применяя метод Монте-Карло и следуя алгоритму, моделируем 10^6 реализаций E_X , отсортированные значения и построенная гистограмма изображены на рисунке 10.2.

Как наглядно видно из гистограммы, закон распределения E_X – трапецевидный. Доверительный интервал для $p=95\%$: $[Y_{0.025*M}; Y_{0.975*M}] = [0.0494; 0.1505]$ В, расширенная неопределенность $U=0.0505$ В.

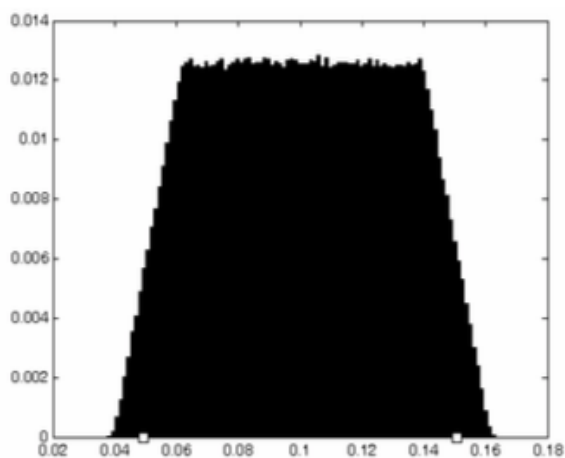


Рисунок 10.2 – Гистограмма реализаций E_X по результатам калибровки переносного цифрового мультиметра

Неверный закон распределения сказывается при вычислении расширенной неопределенности с более высоким уровнем доверия.

Например, результаты расчетов для $p=99\%$, или $p=99.73\%$:

- методом *GUM*: $U_{0.99}=k*u=1.715*0.03=0,05145\approx 0.05$ В, $U_{0.9973}=k*u=1.727*0.03=0,05181\approx 0.05$ В, предполагая равномерный закон распределения E_X ;

- методом *Монте-Карло*: $U_{0.99}=0.0564\approx 0.06$ В, $U_{0.9973}=0.0588\approx 0.06$ В.

Вывод: несмотря на то, что закон распределения E_X трапецепоподобный, результаты вычисления расширенной неопределенности методами GUM и ММК для $p=95\%$ совпадают до значащих цифр.

Для высоких уровней доверия получается существенная разница в результатах именно по причине ложного предположения о равномерном законе распределения и поэтому заниженную оценку расширенной неопределенности.

10.1.2 Недостатки метода Монте-Карло:

– должны быть доступны эффективные генераторы псевдослучайных чисел с длинным периодом. Любые современные математические программные пакеты содержат в себе такие генераторы;

– сложные модели могут забирать много вычислительного времени для M реализаций;

– коэффициенты чувствительности модели не доступны (но и не нужны для работы алгоритма);

– математическая модель должна быть численно стабильной в связи с оцениванием не только в окрестности приписанного значения, но и на всех интервалах всех распределений входных величин. Данный недостаток можно рассматривать только, если сама математическая модель измерения оценивалась численно.

10.1.3 Достоинства метода Монте-Карло:

– доступна оценка плотности и функции распределения, а не одна статистика (такая, как стандартное отклонение). Любая необходимая статистика может быть вычислена;

– возможность использования для поэтапного оценивания неопределенности, где выход одной модели есть вход другой модели. На вход подается M смоделированных точек. Метод допускает любое количество таких этапов;

– применение для любых типов математических моделей измерений: линейных, слабо линейных и сильно нелинейных. Никакого анализа и/или предположений не надо делать о необходимом количестве членов ряда Тейлора для аппроксимации функции f ;

– неопределенность входных величин может быть сколь угодно велика;

– не нужно делать никаких допущений и/или предположений о законе распределения выходной величины математической модели измерения Y ;

– не нужно делать никаких допущений о симметричности либо приводить входные величины к симметрически распределенным;

– нет необходимости оценивать коэффициенты чувствительности, т.е. частные производные первого порядка (также и высших порядков для явно нелинейных моделей);

– нет необходимости применять принцип числа эффективных степеней свободы и формулу Велча – Статерсвейта для их вычисления;

– линейная вычислительная сложность – зависит от произведения числа M и времени вычисления функции f .

10.2 Оценка неопределенности измерения методом электронных таблиц Крагтена

Для упрощения расчетов повсеместно используются компьютерные программы для работы с электронными таблицами.

Метод электронных таблиц основывается на работе Крагтена, поэтому носит название «Метод Крагтена» [23].

Практически метод Крагтена представляет собой оценку неопределенности измерения по методу GUM с использованием электронных таблиц Excel. Различие заключается в выполнении пятого этапа по оцениванию неопределенности измерения по методу GUM: «Расчет суммарной стандартной неопределенности» (рисунок 10.3).

Этап	Описание этапа	GUM	Метод Крагтена
1	Определение измеряемой величины	+	+
2	Определение методики измерений и функции измерения	+	+
3	Выявление источников неопределенности	+	+
4	Количественный расчет составляющих неопределенности по типам А и Б	+	+
5	Вычисление суммарной стандартной неопределенности	С коэффициентом чувствительности	Без коэффициента чувствительности
6	Вычисление расширенной неопределенности	+	+
7	Формирование бюджета неопределенности	+	+

Рисунок 10.3 – Сравнительный анализ методов GUM и Крагтена

На данном этапе при вычислении коэффициентов чувствительности требуется расчет частных производных от функции измерений, что часто вызывает трудности у метрологов. Метод Крагтена упрощает этот расчет, для чего используется таблица Excel.

В выражении:

$$u\left(y\left(x_1, x_2, \dots, x_n\right)\right) = \sqrt{\sum_{i=1, n} \left(\frac{\partial y}{\partial x_i}\right)^2 u\left(x_i\right)^2 + \sum_{i, k=1, n} \frac{\partial y}{\partial x_i} \frac{\partial y}{\partial x_k} u\left(x_i, x_k\right)} \quad (10.1)$$

при условии, что либо $y(x_1, x_2, \dots, x_n)$ является линейной функцией от x_i , либо $u(x_i)$ мало по сравнению с x_i , частные производные можно аппроксимировать:

$$\frac{\Delta y}{\Delta x_i} \gg \frac{y(x_i + u(x_i)) - y(x_i)}{u(x_i)} ; \quad (10.2)$$

$$u(x_i) \frac{\Delta y}{\Delta x_i} \gg y(x_i + u(x_i)) - y(x_i) = u(y, x_i) \quad (10.3)$$

Таким образом, неопределенность $u(y, x_i)$ представляет собой разность значений Y , вычисленных для $[x_i + u(x_i)]$ и x_i соответственно.

Допущение о линейности или малости $u(x_i)/x_i$ не будет выполняться строго во всех случаях. Несмотря на это, данный метод обеспечивает точность, приемлемую для практических целей, учитывая другие допущения при оценке значений $u(x_i)$.

10.2.1 Метод Крагтена для вычисления неопределенности заключается в определенном правиле заполнения электронной таблицы Excel (таблица 10.1).

Таблица 10.1 – Итоговая электронная таблица Крагтена

	A	B	C	D	E
1		$u(p)$	$u(q)$	$u(r)$	$u(s)$
2					
3	p	$p+u(p)$	p	p	p
4	q	q	$q+u(q)$	q	q
5	r	r	r	$r+u(r)$	r
6	s	s	s	s	$s+u(s)$
7					
8	$y=f(p, q, r, s)$	$y=f(p', q, r, s)$	$y=f(p, q', r, s)$	$y=f(p, q, r', s)$	$y=f(p, q, r, s')$
9		$u(y, p)$	$u(y, q)$	$u(y, r)$	$u(y, s)$
10	$u(y)$	$u(y, p)^2$	$u(y, q)^2$	$u(y, r)^2$	$u(y, s)^2$
11	$U(y)$				

Предположим, что результат y является функцией четырех параметров p, q, r, s . Для данных параметров электронная таблица строится следующим образом:

1) вносятся исходные данные: значения p, q, r, s и формула f для вычисления y в столбец А таблицы 10.1.

Значения неопределенностей $u(p), u(q), u(r)$ и $u(s)$, предварительно рассчитанные, размещаются в строке 1;

2) столбец А копируется в последующие столбцы В, С, D, Е последовательно для каждой переменной p, q, r, s со следующими изменениями: значение неопределенности из ячейки В1 - $u(p)$ суммируется к значению p из А3 в ячейке В3, значение $u(q)$ - к значению q в ячейке С4 и т.д.

В ячейке А8 установлено значение формулы измерений $f(p, q, r, s)$ с параметрами p, q, r, s . В ячейках В8, С8, D8, Е8 рассчитываются значения формулы измерений с соответствующими параметрами из выше расположенных ячеек столбцов В, С, D, Е. Таким образом, после расчета в ячейке В8 установлено значение $f(p+u(p), q, r, s)$, в таблице обозначено как $f(p',$

q, r, s). Ячейка С8 рассчитывается $f(p, q+u(q), r, s)$, в таблице обозначено как $f(p, q', r, s)$ и так далее;

3) в строке 9 столбцов В, С, D, Е рассчитываются значения $u(y, x_i)$ по формуле (10.3), где x_i – значения p, q, r, s ;

4) для получения стандартной неопределенности $u(y)$ значения ячеек В9, С9, D9, Е9 возводятся в квадрат, суммируются и затем извлекается квадратный корень: $u(y, x_i)^2$ заносятся в строку 10, а квадратный корень суммы – суммарная стандартная неопределенность $u(y)$ - в А10;

б) для получения расширенной неопределенности $U(y)$ значение суммарной стандартной неопределенности умножается на коэффициент охвата и заносится в ячейку А11.

Если какие-либо из переменных являются коррелированными, к SUM в А10 добавляется необходимый в таких случаях дополнительный член.

Например, если p и q коррелируются и коэффициент корреляции равен $r(p,q)$, то тогда до того, как извлекается квадратный корень, к вычисленной сумме в А10 добавляется дополнительный член $2*r(p,q)*u(y,p)*u(y,q)$. Поэтому корреляцию можно легко включать в рассмотрение, добавляя в таблицу соответствующие дополнительные члены.

При кажущейся простоте реализации электронной таблицы Крагтена в Excel ее построение вызывает множество вопросов у метрологов.

Автоматизация расчета по данному методу в виде готового ПО позволила добиться еще большего упрощения расчетов при оценивании неопределенности измерения. Автором, совместно с магистрантом Сериковой А., разработана программа автоматизированного расчета неопределенности измерения методом Крагтена [24], получено Свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объект, охраняемый авторским правом [25].

10.3 Связь и различия между методами Монте-Карло, GUM и подходом Крагтена

1. В большинстве случаев методы GUM, Крагтена и Монте-Карло дают практически одно и то же значение для стандартной неопределенности, связанной с оценкой измеряемой величины. Различия становятся заметными, когда распределения далеки от нормального и в случаях, когда зависимость результата измерения от одной или нескольких входных величин нелинейна.

2. Базовый подход GUM плохо применим там, где есть существенная нелинейность. Нелинейность учитывается в GUM включением в рассмотрение членов более высокого порядка.

3. Если эта проблема имеет место, подход Крагтена, вероятно, даст более реалистичную оценку неопределенности, чем уравнение первого порядка, поскольку подход Крагтена учитывает действительные изменения результата при изменении входных величин на величину стандартной неопределенности.

4. Метод Монте-Карло (при достаточно большом числе имитаций) даст все же лучшее приближение, потому что он дополнительно исследует экстремумы входных и выходного распределений.

5. В тех случаях, когда распределения существенно отличаются от нормального, подход Крагтена и базовый подход GUM дают оценку стандартной неопределенности, в то время как метод Монте-Карло может предоставить информацию о виде распределения и, соответственно, лучше обозначить действительный 'интервал охвата', чем просто интервал $y \pm U$.

6. Тем не менее, совместное применение базового метода GUM, подхода Крагтена и метода Монте-Карло почти всегда полезно в разработке подходящей стратегии, так как каждый из трех подходов освещает разные стороны проблемы.

7. Существенные различия между результатами, полученными по GUM и методу Крагтена, часто указывают на заметную нелинейность, в то время как большие различия между подходами Крагтена или GUM, с одной стороны, и методом Монте-Карло с другой – могут свидетельствовать о значительных отклонениях от нормальности.

8. Если различные методы дают существенно разные результаты, то причина этого различия должна быть исследована.

10.4 Вопросы для самоконтроля

10.4.1 Как вы понимаете, в чем суть метода Монте-Карло?

10.4.2 Алгоритм метода Монте-Карло при оценке неопределенности измерения.

10.4.3 Недостатки метода Монте-Карло.

10.4.4 Достоинства метода Монте-Карло.

10.4.5 Метод электронных таблиц для вычисления неопределенности (метод Крагтена).

10.4.6 Как оценить вклад неопределенностей по методу Крагтена?

10.4.7 Как учитывается коррелированность составляющих по методу Крагтена?

10.4.8 Связь и различия между методами Монте-Карло, GUM и подходом Крагтена.

11 Законодательная метрология

Цель лекции: изучить основные статьи Закона РК «Об обеспечении единства измерений»

Содержание лекции:

- основные понятия современной метрологии: единство измерений;
- закон РК «Об обеспечении единства измерений» (главы 1–3);

- состав Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ).

11.1 Основные понятия современной метрологии. Единство измерений

Обеспечение единства измерений – одна из основных задач метрологии.

Для обеспечения единства измерений в масштабе от небольшого предприятия до государства в целом метрология наделена законодательными функциями [26].

Законодательная метрология [26]:

- разрабатывает и внедряет нормы и правила выполнения измерений;
- устанавливает требования, направленные на достижение единства измерений;
- устанавливает порядок разработки и испытаний средств измерений;
- устанавливает термины и определения в области метрологии;
- устанавливает единицы физических величин и правила их применения.

К области законодательной метрологии относятся испытания и утверждение типа средств измерений (СИ), государственный метрологический контроль (ГМК) за СИ, а также мероприятия по реальному обеспечению единства измерений.

Единство является главным, определяющим признаком измерений, принципиально отличающим их от других видов экспериментального оценивания. Если единство обеспечено, то это значит, что рассматриваемый процесс экспериментальной оценки можно отнести к измерениям. Если единство не обеспечено, то это говорит о несостоятельности этого процесса как измерительного, вследствие чего он им и не является. Поэтому, в силу своей важности, обеспечение единства измерений является главной целью и основным содержанием теоретической и практической деятельности метрологов.

Единство измерений – состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах, а погрешности известны с заданной вероятностью и не выходят за установленные пределы [26].

Два основных условия обеспечения единства измерения:

1) *«все результаты измерений должны быть выражены в допущенных к применению единицах»*. В Республике Казахстан применяются единицы величин Международной системы единиц СИ, принятые Генеральной конференцией по мерам и весам и рекомендованные к применению Международной организацией законодательной метрологии;

2) *«показатели точности измерений не выходят за установленные границы»*. Однако это условие в приведенной формулировке на практике можно трактовать неоднозначно из-за неопределенностей понятий «показатели точности» и «установленные границы», а также существования изученных ранее «концепции погрешности» (основанной на понятиях «истинное

значение» и «погрешность») и «концепции неопределенности» (основанной на понятии «неопределенность результата измерения»).

11.2 Закон Республики Казахстан «Об обеспечении единства измерений»

Существующая в Республике Казахстан нормативно-правовая база метрологии, стандартизации и сертификации представлена на рисунке 11.1 и включает в себя четыре Закона РК.

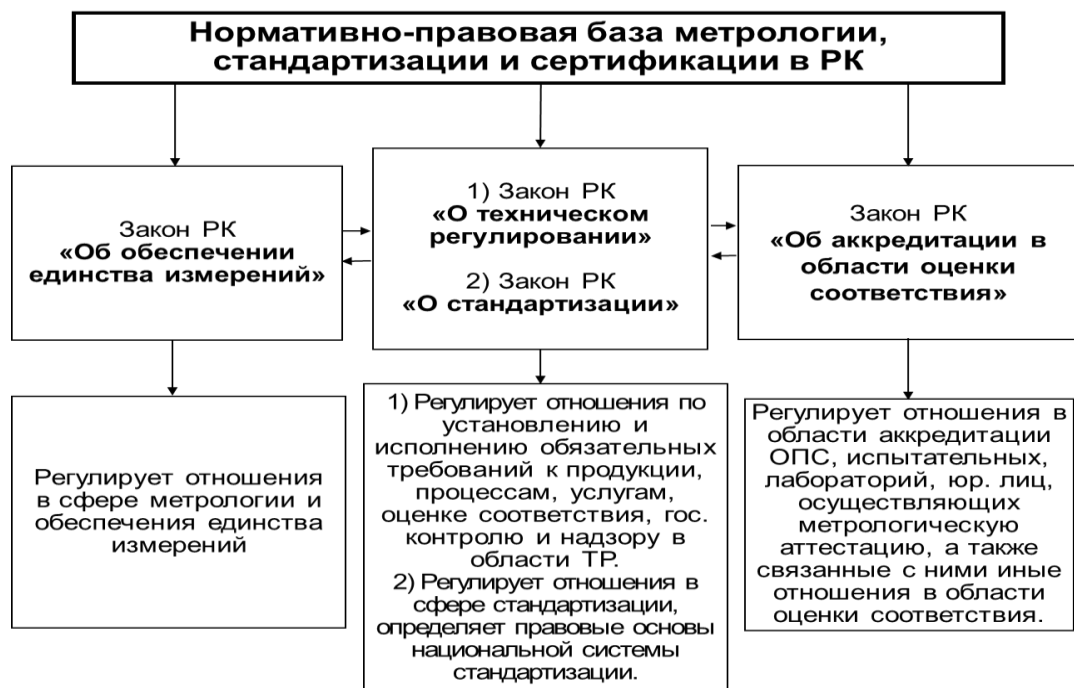


Рисунок 11.1 – Нормативно-правовая база метрологии, стандартизации и сертификации в Республике Казахстан

Один из Законов – Закон Республики Казахстан «Об обеспечении единства измерений» был принят от 7 июня 2000 года № 53, с дополнениями и изменениями от 05.10.2018 года № 184-VI) [27].

Настоящий Закон устанавливает правовые, экономические и организационные основы обеспечения единства измерений в Республике Казахстан, регулирует отношения между государственными органами управления, физическими и юридическими лицами в сфере метрологической деятельности и направлен на защиту прав и законных интересов граждан и экономики Республики Казахстан от последствий недостоверных результатов измерений [27].

11.2.2 Глава 1. Общие положения.

Законодательство Республики Казахстан об обеспечении единства измерений основывается на Конституции Республики Казахстан и состоит из настоящего Закона и иных нормативных правовых актов.

Если международным договором, ратифицированным Республикой Казахстан, установлены иные правила, чем те, которые содержатся в настоящем Законе, то применяются правила международного договора.

Сфера действия настоящего Закона: действие настоящего Закона распространяется на органы государственного управления, а также на физические и юридические лица, осуществляющие деятельность, связанную с обеспечением единства измерений на территории Республики Казахстан.

Цели обеспечения единства измерений:

- 1) защита интересов граждан и экономики Республики Казахстан от последствий недостоверных результатов измерений;
- 2) обеспечение безопасности и качества отечественной и импортируемой продукции, процессов (работ) и услуг;
- 3) обеспечение достоверного учета всех видов материальных и энергетических ресурсов;
- 4) обеспечение достоверности измерений при фундаментальных исследованиях и научных разработках;
- 5) обеспечение достоверных результатов измерений при диагностике и лечении заболеваний, контроле безопасности условий труда и быта людей, обеспечении безопасности движения, охраны окружающей среды.

Государственное управление деятельностью по обеспечению единства измерений осуществляет уполномоченный орган РК.

Уполномоченный орган – государственный орган, осуществляющий государственное регулирование в области технического регулирования и метрологии.

11.2.3 Глава 2. Государственная система обеспечения единства измерений.

Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ) – совокупность объектов, органов государственного управления, физических и юридических лиц, осуществляющих в пределах своей компетенции работы в области обеспечения единства измерений. Структура ГСИ представлена на рисунке 11.2. Государственная система обеспечения единства измерений включает в себя *организационную, техническую и нормативную основы*. Техническая и нормативная основы ГСИ включают *объекты ГСИ*.



Рисунок 11.2 – Структура ГСИ

Единица величины – физическая величина фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное 1.

На территории Республики Казахстан к применению допускаются единицы величин Международной системы единиц СИ, принятой ГКМВ и рекомендованной МОЗМ. По решению уполномоченного органа к применению допускаются единицы величин, не входящие в Международную систему единиц.

Характеристики и параметры продукции, поставляемой на экспорт, включая средства измерений, могут быть выражены в единицах величин, установленных заказчиком.

Эталон единицы величины – средство измерений, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы величины (кратных либо дольных значений единицы величины) в целях передачи ее размера другим средствам измерений данной величины, утвержденное в порядке, установленном уполномоченным органом.

Государственный эталон единицы величины – эталон единицы величины, признанный решением уполномоченного органа в качестве исходного на территории Республики Казахстан;

Входящая в техническую основу *эталонная база Республики Казахстан* включает в себя более 100 единиц эталонов и эталонного оборудования. С учетом развития промышленности в регионах Казахстана эталоны и эталонное оборудование распределены по 5 регионам республики в филиалах РГП «КазСТАНДАРТ»:

- эталонный центр, г. Астана;
- Актюбинский филиал;
- Восточно-Казахстанский филиал;
- Западно-Казахстанский филиал;
- Южно-Казахстанский филиал, г. Алматы;
- Карагандинский филиал.

Средство измерений (СИ) – техническое средство, предназначенное для измерений и имеющее нормированные метрологические характеристики

В нормативную основу ГСИ входят нормативные правовые акты, нормативные документы по обеспечению единства измерений, методики поверки средств измерений, методики выполнения измерений.

Нормативные документы по обеспечению единства измерений – положения, инструкции и иные нормативные и методические документы, определяющие требования и порядок проведения работ по обеспечению единства измерений.

Методика поверки средств измерений – совокупность операций и правил, выполнение которых позволяет определить и подтвердить соответствие средств измерений установленным техническим и метрологическим требованиям.

Методика выполнения измерений – совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с

точностью, установленной данной методикой выполнения измерений.

Метрологическая аттестация методики выполнения измерений – установление (подтверждение) соответствия методики выполнения измерений предъявляемым к ней метрологическим требованиям.

В организационную основу ГСИ входят Правительство РК, уполномоченный орган и метрологическая служба РК.

В настоящее время уполномоченным органом является *Комитет технического регулирования и метрологии РК*.

Метрологическая служба – совокупность субъектов, деятельность которых направлена на обеспечение единства измерений. Структура метрологической службы представлена на рисунке 11.4.

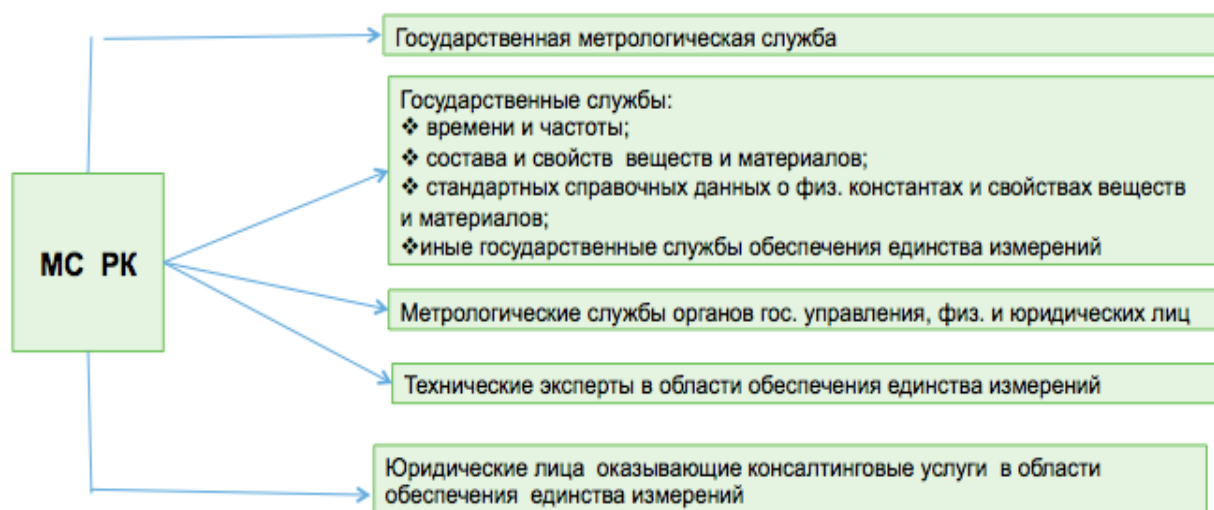


Рисунок 11.4 – Структура метрологической службы РК

11.3 Вопросы для самоконтроля

11.3.1 Основные понятия современной метрологии: метрология, единство измерений, обеспечение единства измерений.

Что относится к области законодательной метрологии?

11.3.2 Когда был принят закон РК «Об обеспечении единства измерений»?

Структура закона РК «Об обеспечении единства измерений».

Определение государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ).

11.3.3 Метрологическая основа ГСИ.

11.3.4 Техническая основа ГСИ.

11.3.5 Нормативная основа ГСИ.

11.3.6 Определение единиц величин, эталонов единиц величин, государственных эталонов единиц величин, средств измерений.

11.3.7 Определение методики выполнения измерений, методики поверки средств измерений.

11.3.8 Структура метрологической службы РК.

12 Закона РК «Об обеспечении единства измерений»

Цель лекции: изучить основные статьи Закона РК «Об обеспечении единства измерений».

Содержание лекции:

- Закон РК «Об обеспечении единства измерений» (главы 4–7);
- Государственный метрологический контроль.

12.1 Утверждение типа, производство, ремонт, поверка и калибровка средств измерений [27]

Средства измерений, предназначенные для серийного производства или ввоза на территорию Республики Казахстан партиями и применяемые в сфере ГМК, подлежат испытаниям с последующим утверждением типа этих средств измерений.

Испытание средств измерений – совокупность операций, проводимых для определения степени соответствия средств измерений установленным нормам с применением к объектам испытаний различных испытательных воздействий.

Средства измерений, изготовленные или ввозимые в единичных экземплярах и подлежащие ГМК, подвергаются метрологической аттестации.

Метрологическая аттестация средств измерений – установление (подтверждение) соответствия средств измерений, изготовленных или ввозимых в единичных экземплярах, требованиям нормативных документов по обеспечению единства измерений.

Утвержденный тип средств измерений и средства измерений, прошедшие метрологическую аттестацию, вносятся в реестр ГСИ.

Запрещаются выпуск в обращение, применение, реализация и реклама средств измерений, подлежащих ГМК, не прошедших испытания для целей утверждения типа или метрологическую аттестацию.

Средства измерений, находящиеся в эксплуатации и на хранении после окончания срока действия сертификата об утверждении типа, применяются до полного физического износа.

12.1.1 Поверка средств измерений (лекция 13).

Средства измерений, применяемые в сфере осуществления ГМК, подвергаются поверке при выпуске из производства или ремонта, эксплуатации и ввозе по импорту после утверждения их типа или метрологической аттестации и регистрации в реестре государственной системы обеспечения единства измерений.

Технические средства (индикаторы), применяемые для наблюдения за изменением физических величин без оценки их значений в единицах величин с

нормированной точностью, *поверке не подлежат*. Контроль за исправностью таких технических средств осуществляют их пользователи.

12.1.2 Калибровка средств измерений (лекция 13).

Средства измерений, не предназначенные для применения при измерениях в сфере ГМК, могут в добровольном порядке подвергаться калибровке или поверке в соответствии со статьей 19 настоящего Закона.

12.2 Государственный метрологический контроль

Государственный метрологический контроль (ГМК) [27] – деятельность уполномоченного органа и его территориальных подразделений по контролю за выпуском, состоянием и применением средств измерений, применением методик выполнения измерений, эталонами единиц величин, соблюдением метрологических правил и норм, за количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций, а также за количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке, продаже и импорте.

ГМК осуществляется уполномоченным органом и его территориальными подразделениями с целью проверки соблюдения физическими и юридическими лицами требований настоящего Закона, других нормативных правовых актов РК, международных договоров и нормативных документов по обеспечению единства измерений.

12.2.1 Объектами ГМК являются:

- 1) государственные эталоны единиц величин;
- 2) эталоны единиц величин и средства измерений;
- 3) стандартные образцы;
- 4) нормативные правовые акты, технические регламенты;
- 5) методики выполнения измерений и методики поверки средств измерений;
- 6) количество продукции, отчуждаемой при совершении торговых операций;
- 7) количество фасованной продукции в упаковках любого вида при ее реализации.

12.2.2 ГМК относительно объектов, указанных выше, распространяется на измерения, результаты которых используются при:

- 1) работах по обеспечению защиты жизни и здоровья граждан;
- 2) осуществлении деятельности в области охраны окружающей среды, геологии и гидрометеорологии;
- 3) осуществлении деятельности по оценке соответствия согласно законодательству Республики Казахстан о техническом регулировании;
- 4) государственных учетных операциях, торгово-коммерческих операциях между покупателем (потребителем) и продавцом (поставщиком, производителем, исполнителем), в том числе в сферах бытовых и коммунальных услуг и услуг связи;
- 5) работах по обеспечению безопасности труда и движения транспорта;

- 6) производстве вооружения, военной техники;
- 7) проведении научных исследований;
- 9) испытаниях, метрологической аттестации, поверке, калибровке средств измерений;
- 10) регистрации национальных и международных спортивных рекордов;
- 11) добыче, производстве, переработке, транспортировании, хранении и потреблении всех видов энергетических ресурсов;
- 12) работах, выполняемых по поручению государственных органов, суда и правоохранительных органов.

12.2.3 ГМК в области обеспечения единства измерений осуществляется в форме проверки и иных формах. Проверка осуществляется в соответствии с Законом Республики Казахстан "О государственном контроле и надзоре в Республике Казахстан". Иные формы государственного контроля осуществляются в соответствии с настоящим Законом.

12.2.4 Права и обязанности должностных лиц, осуществляющих ГМК.

ГМК осуществляют должностные лица уполномоченного органа и его территориальных подразделений в соответствии с законами РК. Должностные лица, осуществляющие ГМК, в целях определения их соответствия занимаемой должности и оценки их профессиональной подготовки подлежат обязательной аттестации в порядке, установленном законодательством РК. Должностные лица имеют право:

- 1) беспрепятственного доступа при предъявлении задания (направления) на проверку и служебного удостоверения на объекты, определенные для ГМК в соответствии с законодательством РК;
- 2) запрашивать и получать от физических и юридических лиц документы и сведения, необходимые для проведения ГМК;
- 3) использовать технические средства и получать информацию от специалистов проверяемых объектов;
- 4) запрещать применение, реализацию, выпуск из производства и ремонта СИ, не прошедших испытания и утверждение типа, поверку, метрологическую аттестацию, не соответствующих утвержденному типу;
- 5) гасить оттиски поверительных клейм или аннулировать сертификат о поверке СИ, если они неработоспособны, погрешность их показаний превышает допустимые нормы или истек срок действия сертификата о поверке СИ;
- 5-1) проводить инспекционные поверки средств измерений для установления их соответствия требованиям нормативных документов по обеспечению единства измерений;
- 6) давать обязательные для исполнения предписания об устранении нарушений метрологических норм и правил, изъятии из эксплуатации непригодных к применению средств измерений и стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов;

7) запрещать реализацию партий фасованного товара при установлении несоответствия величины, указывающей количество содержащегося в упаковке товара, обозначенной на упаковке;

8) обращаться в суд в порядке, установленном законами РК.

В то же время должностные лица, осуществляющие ГМК, обязаны:

1) проводить в ходе мероприятий по ГМК разъяснительную работу по применению законодательства Республики Казахстан об обеспечении единства измерений;

2) сохранять коммерческую и иную охраняемую законом тайну;

3) соблюдать порядок осуществления ГМК, установленный законами РК;

4) принимать меры по устранению выявленных нарушений на основании результатов проведенного ГМК.

12.3 Ответственность за нарушение законодательства РК об обеспечении единства измерений и разрешение споров [27]

Лица, виновные в нарушении законодательства РК об обеспечении единства измерений, несут ответственность в соответствии с законами РК.

Споры, связанные с нарушением норм настоящего Закона и нормативных документов по обеспечению единства измерений, разрешаются в порядке, установленном законодательством РК.

12.4 Финансирование работ по обеспечению единства измерений и государственному метрологическому контролю [27]

Финансирование работ по обеспечению единства измерений и ГМК осуществляется:

- за счет бюджетных средств:

1) участие Республики Казахстан в работе международных организаций, осуществляющих свою деятельность в области обеспечения единства измерений, и уплата членских взносов;

2) расходы на создание и содержание государственных эталонов единиц величин Республики Казахстан, эталонов единиц величин, находящихся в государственной собственности;

3) расходы на проведение обязательной метрологической экспертизы нормативных правовых актов, технических регламентов и их проектов;

- метрологические работы и услуги, предусмотренные настоящим Законом и не указанные в пункте 1 настоящей статьи, финансируются на договорной основе или за счет других источников, не запрещенных законодательством Республики Казахстан.

12.5 Вопросы для самоконтроля

12.5.1 В чем отличие между утверждением типа и метрологической аттестацией средств измерений?

12.5.2 Дайте определение поверки СИ.

12.5.3 Дайте определение калибровки СИ.

12.5.4 Цель государственного метрологического контроля.

12.5.5 Определение государственного метрологического контроля.

12.5.6 Перечислите объекты ГМК.

12.5.7 Что входит в сферу ГМК?

12.5.8 Перечислите должностные лица, осуществляющие ГМК.

12.5.9 Каковы права и обязанности должностных лиц, осуществляющих ГМК?

12.5.10 Как осуществляется разрешение споров в отношении нарушения норм настоящего Закона?

12.5.11 Как осуществляется финансирование работ по обеспечению единства измерений и ГМК?

13 Поверка и калибровка в Республике Казахстан

Цель – изучить организацию и проведение поверки и калибровки в Республике Казахстан

Содержание:

- поверка средств измерений;
- калибровка средств измерений;
- метрологическая прослеживаемость.
- поверочные схемы.

13.1 Поверка средств измерений

Поверка средств измерений – совокупность операций, выполняемых государственной метрологической службой или аккредитованными юридическими лицами в целях определения и подтверждения соответствия средства измерений установленным техническим и метрологическим требованиям.

Поверке подлежат средства измерений, применяемые в сфере ГМК (п. 12.2), при выпуске из производства или ремонта, эксплуатации и ввозе по импорту после утверждения их типа или метрологической аттестации и регистрации в реестре государственной системы обеспечения единства измерений Республики Казахстан. Перечень сфер действия ГМК согласно Статье 23 в редакции Закона РК от 05.07.2008 г., которая исключена Законом «о внесении изменений... в некоторые гос. акты... от 30 декабря 2020 года № 397-VI ЗРК», отсутствует в Законе. В настоящее время *поверке подлежат*

средства измерений, к которым *установлены метрологические требования перечнями измерений, относящихся к государственному регулированию*, и нормативными правовыми актами.

В новой редакция Закона РК «Об обеспечении единства измерений» от 11.04.2019 в целом изменилась система государственного регулирования в области обеспечения единства измерений. В Законе приняты нормы применения новых изменений, а именно *приоритетность использования калибровки СИ*. В соответствии с внесенными изменениями, государственное регулирование осуществляется через Перечни измерений отраслевых уполномоченных государственных органов. На сегодняшний день утверждены и действуют порядка десяти отраслевых Перечней измерений.

Поверка средств измерений осуществляется государственной метрологической службой, а также метрологическими службами аккредитованных юридических лиц на соответствие требованиям ИСО/МЭК 17025-2019 [15, 16].

При поверке должна быть обеспечена *прослеживаемость* применяемых для поверки эталонов.

13.1.1 Виды поверок СИ.

Первичная поверка СИ – поверка, выполняемая при выпуске СИ из производства или ремонта, а также при ввозе СИ из-за границы партиями.

Периодическая поверка СИ – поверка СИ, находящихся в эксплуатации или на хранении, выполняемая через установленные межповерочные интервалы времени.

Внеочередная поверка СИ – поверка СИ, проводимая до наступления срока его очередной периодической поверки.

Инспекционная поверка СИ – поверка СИ, проводимая органом государственной метрологической службы при проведении государственного контроля за состоянием и применением СИ.

Экспертная поверка СИ – поверка СИ, проводимая по письменному требованию государственных органов, физических и юридических лиц при возникновении спорных вопросов.

13.1.2 Оформление результатов поверки СИ.

Положительный результат поверки.

Если СИ по результатам поверки признано пригодным к применению, то это удостоверяется:

- оттиском поверительного клейма (наносится на средства измерений и (или) на эксплуатационную документацию);
- и (или) сертификатом о поверке.

Отрицательный результат поверки.

Если средство измерений по результатам поверки признано непригодным к применению, то оттиск действующего поверительного клейма гасится и делается соответствующая запись в эксплуатационной документации, действующий сертификат о поверке аннулируется и выписывается извещение о непригодности к применению.

По заявке заявителя результаты поверки представляются с указанием оценки неопределенности измерений на договорной основе.

13.2 Калибровка средств измерений

Калибровка средства измерений – совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного средства измерений, и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона, в целях определения действительных значений метрологических характеристик средства измерений, *не подлежащего ГМК* [15,16].

Калибровке подвергаются средства измерений, не подлежащие государственному метрологическому контролю и поверке.

13.2.1 Система калибровки Республики Казахстан [28–30].

Основная *цель системы калибровки* (СК) РК – обеспечение единства измерений вне сферы государственного метрологического контроля.

СК РК является составной частью государственной системы обеспечения единства измерений ГСИ Республики Казахстан.

Основная задача СК – контроль и управление за деятельностью по калибровке СИ.

13.2.2 Структура системы калибровки РК.

Система калибровки РК включает правовую, техническую и организационную основы, обеспечивающие комплексное решение задач по калибровке СИ.

Правовая основа – это комплекс нормативных правовых актов и нормативных документов, регламентирующих требования к организации и проведению калибровки средств измерений.

Техническая основа – исходные и подчиненные эталоны единиц величин государственной метрологической службы и метрологических служб юридических лиц, соподчиненные с государственными эталонами республики и вспомогательные средства измерений, используемые при калибровке средств измерений.

Организационная основа – это организационная структура СК РК, включающая субъекты деятельности:

- уполномоченный государственный орган по техническому регулированию и метрологии;
- Государственный научно-метрологический центр;
- орган по аккредитации осуществляет деятельность по аккредитации юридических лиц;
- Совет метрологов;
- метрологические службы государственных органов управления и юридических лиц, прочие заинтересованные лица, осуществляющие работы по калибровке средств измерений, применяющие калибруемые средства измерений, на основе которых создаются калибровочные лаборатории.

13.2.3 Организация калибровки средств измерений.

Основные требования к организации и порядку проведения калибровки средств измерений, установлены в СТ РК 2.11-2013 «Система калибровки Республики Казахстан. Основные положения» [28] и СТ РК 2.12-2013 «СК РК. Калибровка средств измерений. Организация и порядок проведения» [29]. Ответственность за состояние и применение калиброванных СИ при выпуске из производства несут изготовители, при эксплуатации – пользователи этих СИ. Перечень средств измерений, подлежащих калибровке, определяется организациями-изготовителями или пользователями средств измерений исходя из сферы их применения.

Интервал между калибровками средств измерений устанавливается калибровочной лабораторией по согласованию с пользователями СИ в зависимости от стабильности метрологических характеристик, сферы применения, условий срока эксплуатации СИ.

13.2.4 Оформление результатов калибровки.

По результатам калибровки при необходимости оформляется протокол калибровки, который подписывается исполнителем калибровки. Содержание протокола калибровки должно соответствовать требованиям ИСО/МЭК 17025 [15, 16].

Если по результатам калибровки СИ признано пригодным к применению, то на СИ наносится калибровочный знак и оформляется сертификат о калибровке в соответствии с требованиями ИСО/МЭК 17025 [15, 16].

Непригодные к применению по результатам калибровки СИ должны быть изъяты из обращения для проведения мероприятий по их восстановлению или списанию.

13.3 Метрологическая прослеживаемость

Метрологическая прослеживаемость – свойство результата измерения, в соответствии с которым результат измерения может быть соотнесен с основой для сравнения через документированную непрерывную цепь калибровок, каждая из которых вносит вклад в неопределенность измерений.

Прослеживаемость (привязка к эталонам) подразумевает, что измерение может быть соотнесено с национальным или международным эталоном, и что это соотношение задокументировано.

Концепция прослеживаемости является важной, потому что дает возможность сравнить точность измерений в соответствии со стандартизированной процедурой оценки неопределенности измерения.

Прослеживаемость характеризуется следующими чертами:

- непрерывная цепь калибровок, приводящая к национальному или международному эталону;
- неопределенность результата калибровок должна быть оценена на каждом этапе цепи в соответствии с утвержденными правилами. Оценка

должна позволять рассчитать суммарную неопределенность всей цепи передачи размера единицы;

- документация – каждый шаг в цепи должен выполняться согласно документально зафиксированным общепринятым процедурам, методика калибровки на каждом этапе цепи должна опираться на утвержденные стандарты и методики;

- компетенция – лаборатория или органы, выполняющие один или несколько шагов в цепи должны предоставить свидетельство технической компетентности;

- ссылки на единицы СИ – цепь сравнений должна, где возможно, заканчиваться на первичных эталонах для реализации единиц СИ;

- интервалы при калибровке – должен быть выдержан межкалибровочный интервал, продолжительность интервала будет зависеть от многих факторов (например: требуемая точность, частота использования, способ использования, стабильность оборудования).

13.4 Поверочные схемы

Поверочная схема устанавливает порядок передачи размера одной или нескольких взаимосвязанных единиц или шкал физических величин от эталонов рабочим СИ.

Виды поверочных схем в зависимости от области распространения:

- *межгосударственные поверочные схемы* (для стран СНГ) утверждаются Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации;

- *государственная поверочная схема* распространяется на все СИ данной физической величины, применяемые в стране;

- *локальная поверочная схема* распространяется на СИ, подлежащие поверке в данном предприятии, ведомстве, республике, регионе и др. Локальные поверочные должны конкретизировать требования государственных поверочных схем применительно к своей области распространения.

Пример государственной поверочной схемы приведен в приложении Г на рисунке Г.1, пример компоновки локальной поверочной схемы приведен в приложении Г на рисунке Г.2. Единица физической величины передается от государственного эталона другим средствам измерений по «многоэтажной» системе эталонов. На поверочной схеме указывается метод передачи размера единицы физической величины.

13.5 Вопросы для самоконтроля

13.5.1 Дать определение поверки средств измерений.

13.5.2 Какие средства измерений подлежат поверке?

13.5.3 Новая редакция Закона «Об обеспечении единства измерений». Как изменилась система государственного регулирования?

13.5.4 Перечень измерений отраслевых уполномоченных государственных органов.

13.5.5 Виды поверок средств измерений.

13.5.6 Как оформляются результаты поверок?

13.5.7 Дать определение калибровке средств измерений.

13.5.8 Какие средства измерений подлежат калибровке?

13.5.9 Основная цель системы калибровки РК.

13.5.10 Основные задачи системы калибровки РК.

13.5.11 Структура системы калибровки РК.

13.5.12 Организация и порядок проведения калибровки СИ.

13.5.13 Содержание методик калибровок СИ.

13.5.14 Как оформляются результаты калибровок СИ?

13.5.15 Дать определение метрологической прослеживаемости измерений.

13.5.16 Нормативные документы о прослеживаемости измерений.

13.5.17 Организации, компетентные обеспечить прослеживаемость измерений.

13.5.18 Что представляет собой поверочная схема?

13.5.19 Виды поверочных схем.

14 Закон РК «О техническом регулировании»

Цель лекции: изучить основные статьи Закона РК «О техническом регулировании»

Содержание лекции:

- роль технического регулирования;
- содержание Закона РК «О техническом регулировании»;
- общие сведения о техническом регулировании.

14.1 Роль технического регулирования

Основным нормативным документом, дающим определение и толкование технического регулирования, является *Закон «О техническом регулировании» [31]*. Согласно данному закону, техническое регулирование подразумевает под собой «правовое регулирование отношений в области установления, применения и исполнения обязательных требований к продукции или к продукции и связанным с ней процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, а также в области оценки соответствия».

Термин «техническое регулирование» появился относительно недавно, в связи с подготовкой ряда стран СНГ, в том числе и Республики Казахстан, к вступлению во Всемирную торговую организацию (World Trade Organization). В одном из важнейших документов ВТО — Соглашении по техническим барьерам в торговле – ставится условие о недопустимости создания излишних препятствий в международной торговле. В оригинале этого документа на английском языке используется термин «technical regulation».

В мировой практике под термином «техническое регулирование» также понимается некоторая деятельность, направленная на устранение технических барьеров в торговле.

14.2 Закон РК «О техническом регулировании»

В 2020 году вместо действовавшего с 2004 года закона «О техническом регулировании», в который до этого неоднократно вносились изменения и поправки, был принят новый закон Республики Казахстан «О техническом регулировании» [31].

Закон основан на положениях «Соглашения по техническим барьерам в торговле ВТО», направленного на создание механизма свободного перемещения товаров в рамках единого мирового рынка.

Закон направлен на обеспечение создания современной системы технического регулирования на основе гармонизации казахстанского технического законодательства с международным.

Законодательство РК о техническом регулировании основывается на Конституции РК и состоит из настоящего Закона и иных нормативных правовых актов

Настоящий Закон устанавливает правовые основы государственной системы технического регулирования, направленного на обеспечение безопасности продукции, процессов в Республике Казахстан. Закон состоит из 8 глав.

В главе 1, в статье 1 приведены основные понятия, используемые в настоящем Законе. Приведем некоторые из них:

1) *технический барьер* – препятствие, возникающее в торговле между странами вследствие различия или изменчивости требований, содержащихся в технических регламентах и (или) документах по стандартизации;

3) *технический регламент* – нормативный правовой акт, устанавливающий требования к продукции или к продукции и связанным с ней процессам ее жизненного цикла, разрабатываемый и применяемый в соответствии с законодательством Республики Казахстан в области технического регулирования или международным договором, ратифицированным Республикой Казахстан;

4) *оценка соответствия* – прямое или косвенное определение соблюдения требований, предъявляемых к объекту технического регулирования;

5) *подтверждение соответствия* – процедура, результатом которой является документальное удостоверение (в виде декларации о соответствии или сертификата соответствия) соответствия объекта технического регулирования требованиям, установленным техническими регламентами и (или) документами по стандартизации;

6) *обязательное подтверждение соответствия* – процедура, посредством которой осуществляется подтверждение соответствия продукции требованиям, установленным техническими регламентами;

7) *добровольное подтверждение соответствия* – процедура, посредством которой осуществляется подтверждение соответствия продукции, процессов и услуги, проводимая по инициативе заявителя на соответствие документам по стандартизации и (или) требованиям заявителя;

8) *сертификат соответствия* – документ, удостоверяющий соответствие объектов технического регулирования требованиям, установленным техническими регламентами и (или) документами по стандартизации;

9) *декларация о соответствии* – документ, которым изготовитель, импортер, уполномоченное изготовителем лицо или продавец удостоверяют соответствие выпускаемой в обращение продукции, процессов и услуги требованиям технических регламентов и документов по стандартизации;

10) *знак соответствия* – обозначение, служащее для информирования покупателей о прохождении продукции и услуги через процедуры подтверждения соответствия требованиям, установленным техническими регламентами и (или) национальными стандартами.

Сфера применения настоящего Закона регулирует общественные отношения по определению, установлению, применению и исполнению обязательных и добровольных требований к продукции, услуге, процессам жизненного цикла продукции (далее – процессы), подтверждению соответствия, аккредитации и государственному контролю в области технического регулирования [31].

14.3 Общие сведения о техническом регулировании

14.3.1 Цели и задачи технического регулирования [31, 32].

Основные цели технического регулирования:

1) обеспечение безопасности продукции, процессов и услуг для жизни и здоровья человека и окружающей среды, в том числе растительного и животного мира;

2) предупреждение действий, вводящих в заблуждение приобретателей (потребителей) относительно безопасности и качества продукции, услуги, в том числе через обеспечение достоверности их оценки соответствия, прослеживаемости продукции или продукции и связанных с ней процессов;

3) устранение технических барьеров в торговле;

4) содействие приобретателям, в том числе потребителям, в компетентном выборе продукции, процессов и услуг.

Объектами технического регулирования являются продукция, услуги и процессы.

Субъектами технического регулирования являются государственные органы, физические и юридические лица.

В *структуру государственной системы технического регулирования* входят:

- 1) Правительство Республики Казахстан;
- 2) уполномоченный орган, его ведомство, территориальные подразделения ведомства;
- 3) государственные органы в пределах своей компетенции;
- 4) система оценки соответствия, основными элементами которой являются орган по аккредитации в области оценки соответствия, органы по подтверждению соответствия, испытательные лаборатории;
- 5) национальный орган по стандартизации;
- 6) экспертные советы в области технического регулирования при государственных органах;
- 7) информационный центр по техническим барьерам в торговле, санитарным и фитосанитарным мерам;
- 8) эксперты-аудиторы по подтверждению соответствия и аккредитации.
- 9) упорядоченная совокупность объектов технического регулирования, для каждого из которых определены набор обязательных и добровольных требований, формы оценки соответствия этим требованиям, а также возможности их скоординированного использования в данной и смежных отраслях;
- 10) фонд нормативных технических документов, совокупность технических регламентов и взаимосвязанных с ними стандартов, обеспечивающих выполнение их требований.

В статье 6 Закона перечислены *компетенции* Правительства Республики Казахстан в области технического регулирования, в статье 7 – компетенции *уполномоченного органа*. В настоящее время уполномоченным органом является *Комитет технического регулирования и метрологии РК*. Компетенции уполномоченного органа осуществляются в области технического регулирования, в области стандартизации, в сфере подтверждения соответствия.

Экспертные советы в области технического регулирования создаются при государственных органах. Состав и положение об экспертных советах утверждаются государственными органами. В состав входят представители госорганов, технических комитетов по стандартизации и других заинтересованных сторон.

Информационный центр создается и функционирует в порядке, определяемом Правительством РК, для взаимодействия с Секретариатом ВТО, странами-членами ВТО, международными организациями, с целью

предоставления заинтересованным сторонам и иностранным государствам по их запросам копии документов и информации о действующих или разрабатываемых технических регламентах, стандартах и процедурах подтверждения соответствия продукции, услугах, процессах; о членстве или участии РК в международных организациях и международных договорах в области технического регулирования; об источниках и другая информация.

Технические комитеты по стандартизации – это консультативно-совещательный орган, которые создаются в отраслях экономики по предложениям государственных органов и заинтересованных сторон для проведения работ по стандартизации на межотраслевом уровне.

Органы по подтверждению соответствия – это организации независимо от форм собственности, независимые от производителей (исполнителей) продукции (услуг), изготовителей и потребителей продукции (услуги), имеющие в штате экспертов-аудиторов по подтверждению соответствия и в случаях, предусмотренных законодательством РК, *лаборатории* по закрепляемым направлениям деятельности, аккредитованные в установленном порядке. Аттестация экспертов-аудиторов осуществляется один раз в 5 лет. Комиссия по аттестации экспертов-аудиторов должна состоять не менее, чем из пяти человек. Эксперты-аудиторы по подтверждению соответствия осуществляют свою деятельность в составе только одной экспертной организации.

Экспертная организация удостоверяет и выдает акты экспертизы об определении страны происхождения товара, статуса товара таможенного союза или иностранного государства, составленные экспертами-аудиторами.

Государственный фонд технических регламентов и стандартов формируется уполномоченным органом и государственными органами в пределах их компетенции.

Единый государственный фонд нормативных технических документов (ЕГФНД) – это совокупность стандартов, классификаторов технико-экономической информации и нормативных технических документов, за исключением сведений, составляющих государственные секреты и иную охраняемую законом тайну, формируемых в порядке, установленном законодательством РК в области технического регулирования.

Информация о принятии этих документов, за исключением стандарта организации и стандартов консорциума и один их экземпляр направляются лицом, принявшим документ, в ЕГФНД.

14.4 Вопросы для самоконтроля

- 14.4.1 Когда был принят Закон РК «О техническом регулировании»?
- 14.4.2 Дайте определение технического регулирования.
- 14.4.3 Основные цели и принципы технического регулирования.
- 14.4.4 Сфера применения Закона.
- 14.4.5 Объекты и субъекты технического регулирования.

14.4.6 Структура государственной системы технического регулирования.

14.4.7 Что входит в компетенции Правительства РК в области технического регулирования?

14.4.8 Компетенции уполномоченного органа в области технического регулирования.

14.4.9 Компетенции государственных органов в области технического регулирования.

14.4.10 Кто входит в состав экспертных советов в области технического регулирования?

14.4.11 Какие документы и информация хранятся в информационном центре?

14.4.12 Что входит в компетенции технических комитетов по стандартизации?

14.4.13 Какие организации являются органами по подтверждению соответствия?

14.4.14 Функции органов по подтверждению соответствия.

14.4.15 Какие услуги не вправе оказывать органы по подтверждению соответствия?

14.4.16 Какие услуги оказывают лаборатории по подтверждению соответствия?

14.4.17 Что входит в Единый государственный фонд нормативных технических документов?

14.4.18 Перечислите компетенции экспертов-аудиторов по подтверждению соответствия.

14.4.19 Комиссия по аттестации экспертов-аудиторов.

15 Технические регламенты и подтверждение соответствия

Цель лекции: изучить основные статьи Законов РК «О техническом регулировании» и «О стандартизации».

Содержание лекции:

- технические регламенты;
- оценка и подтверждение соответствия;
- особенности технического регулирования в Евразийском экономическом союзе;
- Закон «О стандартизации».

15.1 Технические регламенты

Регламент – это документ, в котором содержатся обязательные правовые нормы. Принимает регламент *орган власти*, а не орган по стандартизации, как в случае других НД [31].

Технический регламент (ТР) – нормативный правовой акт, устанавливающий требования к продукции или к продукции и связанным с ней процессам ее жизненного цикла, разрабатываемый и применяемый в соответствии с законодательством Республики Казахстан в области технического регулирования или международным договором, ратифицированным Республикой Казахстан.

Требования, установленные ТР, являются *обязательными*, имеют прямое действие на всей территории РК. Только в ТР устанавливаются требования, обеспечивающие безопасность продукции, процессов.

15.1.1 Основными целями разработки и применения ТР являются:

- обеспечение национальной безопасности РК;
- обеспечение безопасности жизни и здоровья и наследственности людей;
- защита жизни и здоровья животных и растений, охрана окружающей среды, рациональное использование природных и энергетических ресурсов;
- предупреждение действий, вводящих в заблуждение потребителей продукции относительно её назначения, качества и безопасности;
- обеспечение выполнения требований международных конвенций, ратифицированных РК, в части исключения промышленных аварий трансграничного воздействия.

15.1.2 Технический регламент должен содержать:

- исчерпывающий перечень продукции, процессов;
- требования к характеристикам продукции, процессам;
- правила отбора проб и испытаний продукции;
- правила и формы подтверждения соответствия и (или) требования к терминологии, упаковке, маркировке или этикетированию и правилам их нанесения.

Могут содержаться специальные требования к объектам технического регулирования:

- 1) обеспечивающие защиту отдельных категорий граждан (несовершеннолетних, беременных женщин, кормящих матерей, инвалидов);
- 2) к трансграничным опасным производственным объектам, которые в случае чрезвычайных ситуаций техногенного характера представляют угрозу жизни и здоровью человека, окружающей среде РК и других сопредельных государств.

Функции государственного органа, разрабатывающего проект ТР:

- организует публичное обсуждение проекта – 60 дней;
- дорабатывает проект с учетом полученных замечаний и размещает в официальном печатном издании УО и информационной системе общего пользования;
- предоставляет по запросу заинтересованным сторонам полученные замечания к проекту ТР.

Уведомление о принятом ТР должно быть опубликовано в официальном печатном издании УО и информационной системе общего пользования, а также направлено в Секретариат ВТО.

15.2 Оценка и подтверждение соответствия

В соответствии с современной методологией технического регулирования одним из основных ее элементов является *система оценки соответствия требованиям*, предъявляемых к объекту (продукции, процессу, услуге) [31–34].

Определены следующие *формы оценки соответствия* [33–34]:

1) *подтверждение соответствия* (декларирования соответствия и сертификации);

2) *испытания*, если они, согласно техническим регламентам, являются самостоятельной формой оценки соответствия;

3) *иные формы, установленные техническими регламентами и (или) национальными стандартами*.

Оценка соответствия не тождественна подтверждению соответствия. Оценка соответствия может охватывать различные процедуры, например подтверждение соответствия, испытания, аккредитация, приемка и др. Подтверждение соответствия является финальной частью оценки соответствия, которой предшествуют различные доказательства (испытания, проверка производства и т.п.).

В Республике Казахстан подтверждение соответствия продукции требованиям, установленным техническими регламентами, проводится в формах:

– *принятия декларации о соответствии*. Декларация о соответствии, т.е. письменная гарантия изготовителя в том, что продукция соответствует заданным требованиям;

– и (или) в форме *проведения сертификации* и выдачи сертификата соответствия. Сертификация – процедура, посредством которой третья сторона дает письменную гарантию того, что продукция, процесс, услуга соответствуют заданным требованиям.

Подтверждение соответствия продукции и процессов на территории Республики Казахстан носит обязательный или добровольный характер.

Обязательное подтверждение соответствия – это процедура установления соответствия объекта совокупности требований, установленных техническим регламентом. Обязательное подтверждение соответствия проводится только в случаях, установленных соответствующим техническим регламентом и исключительно на соответствие его требованиям.

Добровольное подтверждение соответствия – процедура, посредством которой осуществляется подтверждение соответствия продукции, процессов и услуги, проводимая по инициативе заявителя на соответствие документам по стандартизации и (или) требованиям заявителя. Добровольное подтверждение

соответствия не заменяет обязательного подтверждения соответствия продукции.

Продукция, подлежащая обязательному подтверждению соответствия, определяется техническими регламентами. Не относится к объектам обязательного подтверждения соответствия продукция, бывшая в употреблении, ввозимая для выставки и без ее целевого использования, а также поставляемая по линии гуманитарной помощи, если иное не установлено техническими регламентами.

Сертификат соответствия выдается заявителю органом по подтверждению соответствия на продукцию при условии положительных результатов выполнения всех процедур согласно выбранной схеме подтверждения соответствия.

Декларация о соответствии оформляется изготовителем (исполнителем) продукции, подлежащей обязательному подтверждению соответствия в случае, если это предусмотрено техническими регламентами, а также в добровольном порядке в отношении любой продукции, не подлежащей обязательному подтверждению соответствия.

Декларация о соответствии принимается на срок, установленный изготовителем (исполнителем) продукции, исходя из планируемого срока выпуска данной продукции, но не более чем на один год.

Декларирование соответствия может осуществляться:

- 1) принятием декларации о соответствии на основании собственных доказательств;
- 2) принятием декларации о соответствии на основании доказательств, полученных с участием органа по подтверждению соответствия.

Перечень материалов, которые могут использоваться в качестве доказательств для подтверждения соответствия, определяется соответствующим техническим регламентом [35].

15.3 Особенности технического регулирования в Евразийском экономическом союзе

В настоящее время в Казахстане существуют параллельно две системы технического регулирования (ТР) — *национальная и наднациональная (система технического регулирования Евразийского экономического союза – ЕАЭС).*

Все основные функции по организации ТР в рамках межгосударственного экономического объединения были переданы из национального на надгосударственный уровень — в *Евразийскую экономическую комиссию*. Техническое регулирование в ЕАЭС, членом которого является Республика Казахстан, осуществляется в соответствии с Договором о Евразийском экономическом союзе от 29 мая 2014 года [36].

Принципы технического регулирования в рамках ЕАЭС:

- установление обязательных требований к продукции или к процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации;
- установление единых обязательных требований в технических регламентах ЕАЭС, включенной в единый перечень продукции;
- соответствие технического регулирования в рамках ЕАЭС уровню экономического развития государств-членов и уровню научно-технического развития;
- единство применения требований технических регламентов ЕАЭС независимо от видов и (или) особенностей сделок;
- единство правил и методов исследований (испытаний) и измерений при проведении процедур обязательной оценки соответствия;
- осуществление государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов ЕАЭС на основе гармонизации законодательства государств-членов;
- добровольность применения стандартов;
- разработка и применение межгосударственных стандартов;
- гармонизация межгосударственных стандартов с международными и региональными стандартами;
- единство правил и процедур проведения обязательной оценки соответствия;
- проведение согласованной политики в области обеспечения единства измерений в рамках Союза.

15.4 Закон «О стандартизации». Общие положения

Стандартизация – деятельность, направленная на разработку и установление требований, норм, правил, характеристик как обязательных для выполнения, так и рекомендуемых, обеспечивающая право потребителя на приобретение товаров надлежащего качества за приемлемую цену, а также право на безопасность и комфортность труда [37].

Руководство международных организаций по стандартизации ИСО/МЭК рекомендует следующие *виды нормативных документов (НД)*:

- стандарты,
- документы технических условий,
- своды правил,
- регламенты (технические регламенты),
- положения.

15.4.1 Виды нормативных документов РК.

Стандарт – документ, который в целях многократного и добровольного использования устанавливает правила, общие принципы и характеристики к объектам технического регулирования.

Основополагающий стандарт – стандарт, имеющий широкую область применения или содержащий общие положения для определенной области технического регулирования.

Международный стандарт – стандарт, принятый международной организацией по стандартизации и доступный широкому кругу потребителей.

Региональный стандарт – стандарт, принятый региональной организацией по стандартизации и доступный широкому кругу потребителей.

Гармонизированный стандарт – стандарт, обеспечивающий выполнение требований, установленных техническими регламентами.

Нормативный документ по стандартизации – документ, устанавливающий нормы, правила, характеристики, принципы, касающиеся различных видов деятельности по стандартизации или ее результатов.

Нормативный технический документ – нормативный документ, содержащий технические и технологические нормы.

15.4.2 К НД по стандартизации, действующим на территории РК, относятся [38]:

- 1) международные стандарты;
- 2) региональные стандарты и классификаторы технико-экономической информации, правила и рекомендации по стандартизации;
- 3) национальные стандарты и классификаторы технико-экономической информации РК;
- 4) стандарты организаций;
- 5) рекомендации по стандартизации РК;
- 6) стандарты иностранных государств, стандарты организаций, классификаторы технико-экономической информации, правила, нормы и рекомендации по стандартизации иностранных государств;
- 7) неправительственный стандарт;
- 8) стандарт консорциума;
- 9) предварительный национальный стандарт.

Стандарт иностранного государства – стандарт, принятый УО по стандартизации иностранного государства и доступный широкому кругу потребителей.

Предварительный национальный стандарт – стандарт для временного применения, предназначенный для накопления необходимого опыта в процессе его применения и доступный широкому кругу потребителей.

Национальный стандарт – стандарт, утвержденный УО и доступный широкому кругу потребителей. Национальные стандарты являются обязательными в случае, если законы РК или ТР содержат указания об этом.

Неправительственный стандарт – стандарт, разработанный и утвержденный некоммерческой РК.

Стандарт организации – стандарт, утвержденный организацией самостоятельно.

Стандарт консорциума – стандарт, разработанный и утвержденный консорциумом, применяемый его членами.

15.5 Вопросы для самоконтроля

- 15.5.1 Дайте определение Техническому регламенту.
- 15.5.2 Основные цели разработки и применения ТР.
- 15.5.3 Особенности разработки, экспертизы, принятия, изменения и отмены ТР.
- 15.5.4 Какие НД по стандартизации действуют на территории РК?
- 15.5.5 Какой НД называется Гармонизированный стандарт?
- 15.5.6 В каких случаях национальные стандарты являются обязательными для исполнения?
- 15.5.7 Какие виды национальных стандартов вы знаете?
- 15.5.8 Какие формы подтверждения вы знаете?
- 15.5.9 Какой характер подтверждения соответствия принят в РК?
- 15.5.10 Какие объекты подлежат обязательному подтверждению соответствия?
- 15.5.11 Какие объекты не подлежат обязательному подтверждению соответствия?
- 15.5.12 В каких случаях выдается сертификат соответствия и каким органом?
- 15.5.13 На какой срок выдается сертификат соответствия?
- 15.5.14 Кем оформляется декларация о соответствии?
- 15.5.15 Какую информацию содержит декларация о соответствии?
- 15.5.16 На какой срок выдается декларация о соответствии?
- 15.5.17 Как организуется добровольное подтверждение соответствия?

Список использованной литературы

- 1 Хан С.Г., Тлеубаева Ж.С. Технические средства измерений: Учебное пособие. – Warsaw: RS Global Sp.z O.O., 2020. –117 с.
- 2 Иванов И. А. Метрология, стандартизация и сертификация: Учебник. – М.: Лань, 2019. – 356 с.
- 3 Шишмарев В.Ю. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник. – М.: Феникс, 2018. – 429 с.
- 4 Хан С.Г. Метрология стандартизация, сертификация и управление качеством: Учебное пособие (для студентов специальности «Автоматизация и управление»). – Алматы: АУЭС, 2018. – 118 с.
- 5 Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement: First Edition. – ISO (GUM:1993), Switzerland, 1993.
- 6 JCGM 100:2008. GUM 1995 with minor corrections. Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement.
- 7 ГОСТ Р 54500.1-2011 / Руководство ИСО/МЭК 98-1:2009. Неопределенность измерения. Часть 1. Введение в руководства по неопределенности измерения.
- 8 ГОСТ Р 54500.3-2011 / Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения».
- 9 РМГ 43-2001. ГСИ. Применение «Руководства по выражению неопределенности в измерениях».
https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30368277&pos=6;-106#pos=6;-106
- 10 Международный словарь по метрологии: основные и общие понятия и соответствующие термины: пер. с англ. И фр. / Всерос. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д. И. Менделеева, Белорус. Гос. Ин-т метрологии. Изд. 2-е, испр. – СПб.: НПО «Профессионал», 2010. — 84 с.
- 11 РМГ 29-2013 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения».
https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=34491355
- 12 СТ РК 2.185-2010 «ГСИ РК. Результаты и характеристики погрешности измерений».
- 13 СТ РК ИСО 21748-2010. Руководство по использованию оценок повторяемости, воспроизводимости и точности при оценивании неопределенности измерений».
- 14 ГОСТ ИСО 5725-1-2003 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения. – М.: Стандартиформ, 2003
- 15 ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2018 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
- 16 ISO/IEC 17025:2017 «General requirements for the competence of testing and calibration laboratories», IDT
- 17 ГОСТ Р ИСО 10576-1-2006. Статистические методы. Руководство по оценке соответствия установленным требованиям. Часть 1. Общие принципы.

18 JCGM 106:2012 «Evaluation of measurement data - The role of measurement uncertainty in conformity assessment / Оценивание данных измерений. – Роль неопределенности измерений при оценке соответствия. – COOMET, 2012.

19 OIML G 19:2017 «The role of measurement uncertainty in conformity assessment decisions in legal metrology».

20 EURACHEM/CITAC Guide CG4. Quantifying uncertainty in analytical measurement, 3rd ed./ Ed.S.L.R. Ellison (LGC,UK), A.Williams (UK), 2012 – 141p.

21 ГОСТ 34100.3-2017.Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. (ISO/IEC Guide 98-3:2008, IDT).

22 JCGM 101:2008. Evaluation of measurement data—Supplement 1 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement”—Propagation of distributions using a Monte Carlo method. Joint Committee for Guides in Metrology. 2008.

23 Kragten J. Calculating standard deviations and confidence intervals with a universally applicable spreadsheet technique, Analyst, 119, 2161-2166 (1994).

24 Khan S., Serikova A., «Development of an Automated Program for Calculating Measurement Uncertainty by the Kragten Method» // VII Международная научно-практическая конференция «Европа и тюркский мир: наука, техника и технологии». – Мерсин, Турция, 2022г.

25 Хан С.Г., Серикова А. Программное обеспечение (ПО ЭВМ) Автоматизированный расчет неопределенности измерения методом Крагтена. Свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объект, охраняемый авторским правом. № 11322 от 10.07.2020.

26 Хан С.Г. Основы единства измерений и техническое регулирование. Учебное пособие. – Алматы: АУЭС, 2015.

27 Закон Республики Казахстан «Об обеспечении единства измерений» от 7 июня 2000 года № 53-ІІ (с изменениями и дополнениями). – Астана, 2019.

28 СТ РК 2.11-2013 «Система калибровки Республики Казахстан. Основные положения».

29 СТ РК 2.12-2013 «СК РК. Калибровка средств измерений. Организация и порядок проведения».

30 СТ РК 7.13-2008 «Оценка неопределенности результатов измерений при калибровке».

31 Закон Республики Казахстан «О техническом регулировании» от 30 декабря 2020 года № 396-VІ ЗРК). – Астана, 2020.

32 Хан С.Г. Основы единства измерений и техническое регулирование. Учебное пособие. – Алматы: АУЭС, 2015.

33 Аронов И.З., Саламатов В.Ю., Дудко В.Д. Оценка соответствия: терминология. Глоссарий. – М.: Изд. ООО «Альянс Медиа Стратегия», 2013.

34 ГОСТ ISO/IEC 17000-2012. Оценка соответствия. Словарь и общие принципы. – М.: Стандартинформ, 2020.

35 Технический регламент «Процедуры подтверждения соответствия». URL: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/P080000090> (дата обр.: 29.06.2022).

36 Договор о Евразийском экономическом союзе от 29 мая 2014 года (раздел X, приложение № 9).

37 Закон Республики Казахстан «О стандартизации» от 5 октября 2018 года № 183-VI ЗРК. – Астана, 2018.

38 СТ РК 1.9-2019. Национальная система стандартизации Республики Казахстан. Общие требования к применению международных, региональных стандартов и стандартов иностранных государств на территории Республики Казахстан. – Астана: Мемстандарт. 2019.

Приложение А

Классификация погрешностей измерений и средств измерений



Рисунок А.1 – Классификация погрешностей измерений

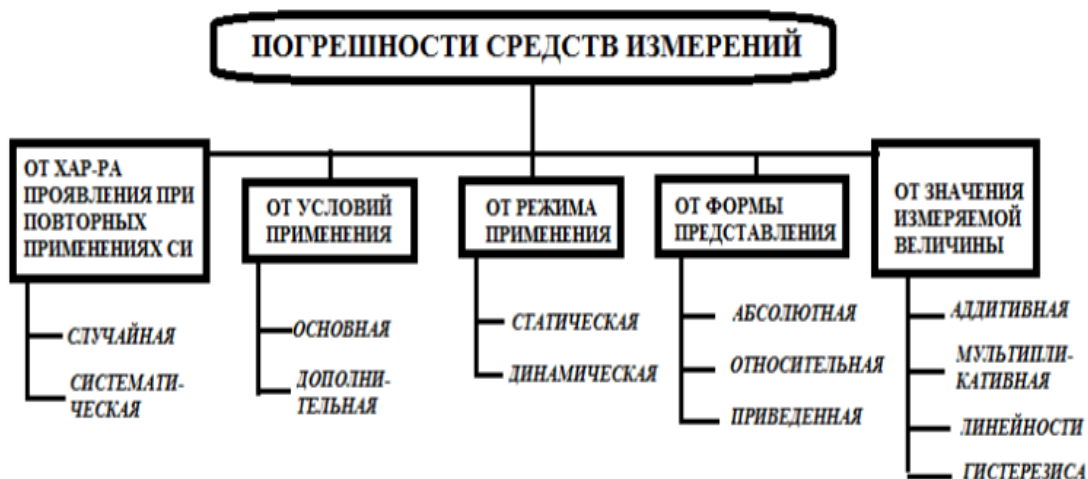


Рисунок А.2 – Классификация погрешностей средств измерений



Рисунок А.3 – Номенклатура метрологических характеристик средств измерений

Приложение Б

Формулы для вычисления стандартной неопределенности по типу В в зависимости от вида распределения входной величины

Таблица 3 – Формулы для вычисления стандартной неопределенности типа В при известных границах входной величины a_+ , a_-

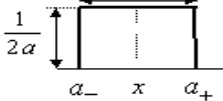
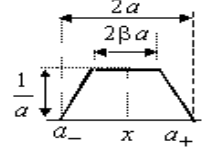
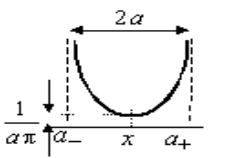

Вид функции распределения	Формулы для расчета стандартной неопределенности	Случаи применения
<p>Прямоугольная</p> 	$u_B(X_i) = \frac{(a_+ - a_-)}{2\sqrt{3}} = \frac{a}{\sqrt{3}}$	<p>В документации указаны предельные границы входной величины a_+, a_- или максимальное значение диапазона ($\pm a$) без указания формы распределения и уровня доверия.</p>
<p>Трапецидальная</p> 	$u_B(X_i) = \frac{(a_+ - a_-)}{2\sqrt{6}} \sqrt{1 + \beta^2} = \frac{a}{\sqrt{6}} \sqrt{1 + \beta^2}$ $0 < \beta < 1$	<ol style="list-style-type: none"> 1. В документации указаны максимальное значение диапазона ($\pm a$) симметричного распределения (без указания уровня доверия), у которого значения входной величины возле границ менее вероятны, чем те, которые находятся возле центра. 2. Когда входная величина может являться суммой или разностью двух величин, распределенных равномерно с разными значениями диапазонов.
<p>Треугольная</p> 	$u_B(X_i) = \frac{(a_+ - a_-)}{2\sqrt{6}} = \frac{a}{\sqrt{6}}$	<ol style="list-style-type: none"> 1. Предельный случай трапецидального распределения при $\beta = 0$. 2. Когда входная величина может являться суммой или разностью двух величин, распределенных равномерно с одинаковыми значениями диапазонов.
<p>Арксинусная</p> 	$u_B(X_i) = \frac{(a_+ - a_-)}{2\sqrt{2}} = \frac{a}{\sqrt{2}}$	<p>Входная величина связана синусоидальной функцией с аргументом, распределенным равномерно в интервале $[-\pi, \pi]$.</p>
<p>Асимметричная экспоненциальная</p>  <p style="text-align: center;">$\lambda > 0$ $\lambda < 0$</p>	$u_B(X_i) = \left[(a_+ - x)(x - a_-) - (a_+ - 2x + a_-) / \lambda \right]^{0,5}$	<p>В случае асимметрии функции плотности вероятности, аппроксимируемой выражением $p(X_i) = A \exp[-\lambda(X_i - x)]$.</p>

Рисунок Б.1

Продолжение приложения Б

v	t_p(v)	v	t_p(v)
1	12,71	11	2,20
2	4,30	12	2,18
3	3,18	13	2,16
4	2,78	14	2,15
5	2,57	15	2,13
6	2,45	16	2,12
7	2,37	17	2,11
8	2,31	18	2,10
9	2,26	19	2,09
10	2,23	20	2,09

Рисунок Б.2 – Значение коэффициента $t_p(v)$ для случайной величины, имеющей распределение Стьюдента с v степенями свободы для уровня доверия 0,95

Приложение В

Структурная схема реализации ММК

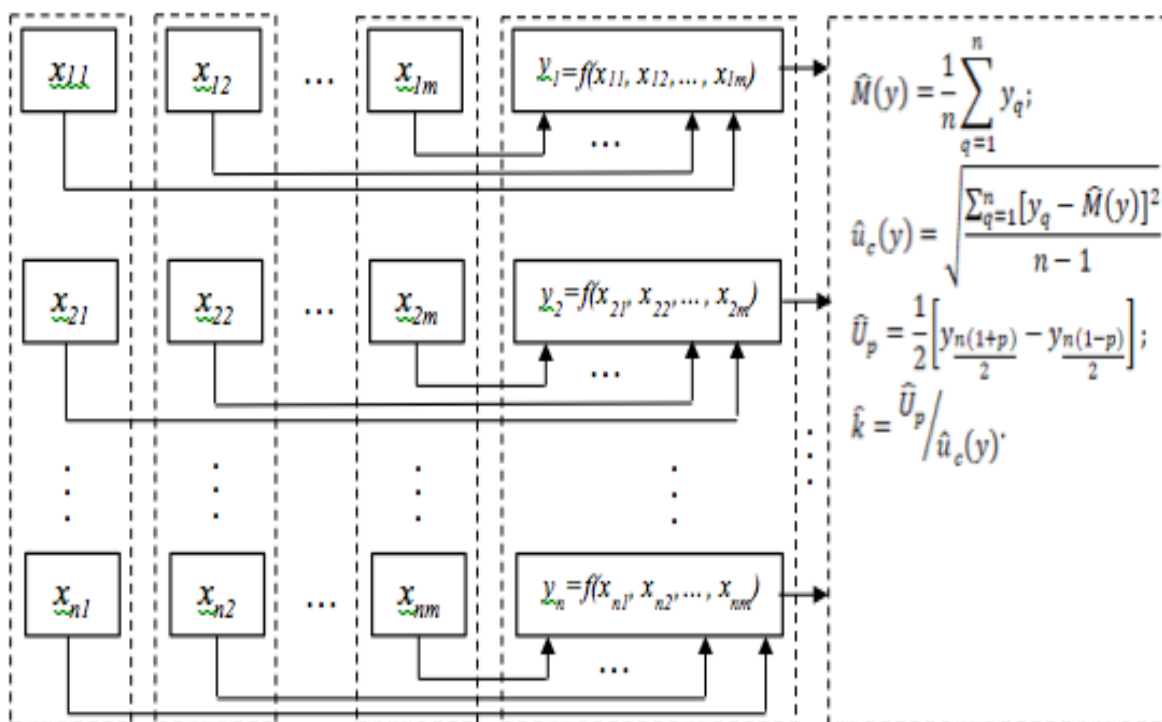
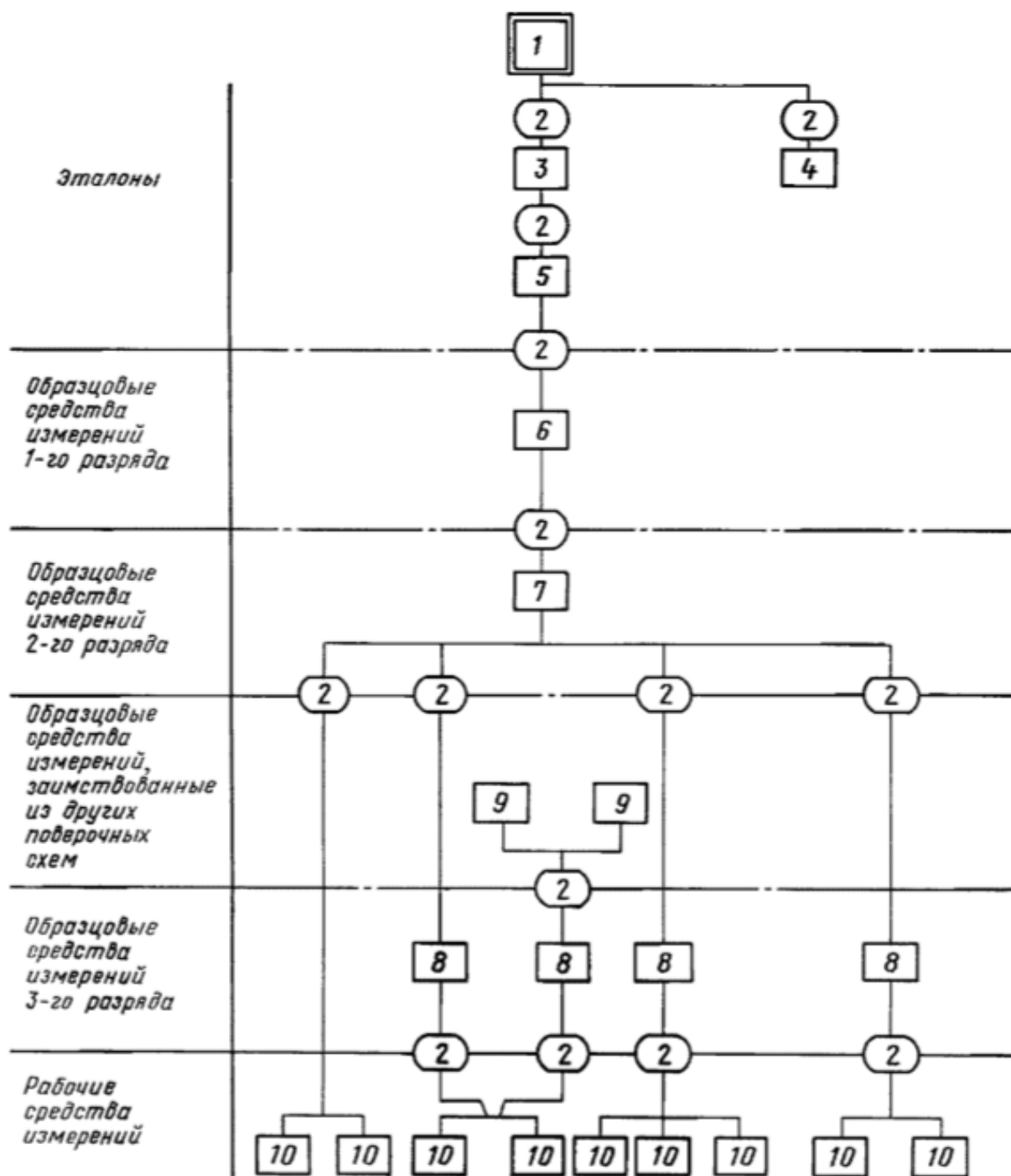


Рисунок В.1

Приложение Г

Поверочные схемы



1 – государственный эталон; 2 – метод передачи размера единицы; 3 – эталон-копия; 4 – эталон сравнения (для международных сличений); 5 – рабочий эталон; 6-8 – образцовые средства измерений соответствующих разрядов; 9 – образцовые средства измерений, заимствованные из других поверочных схем; 10 – рабочие средства измерений

Рисунок Г.1 – Государственная поверочная схема

ПРИМЕР КОМПОНОВКИ ЭЛЕМЕНТОВ ВЕДОМСТВЕННОЙ (ЛОКАЛЬНОЙ) ПОВЕРОЧНОЙ СХЕМЫ

Поверочная схема для средств измерений времени и частоты

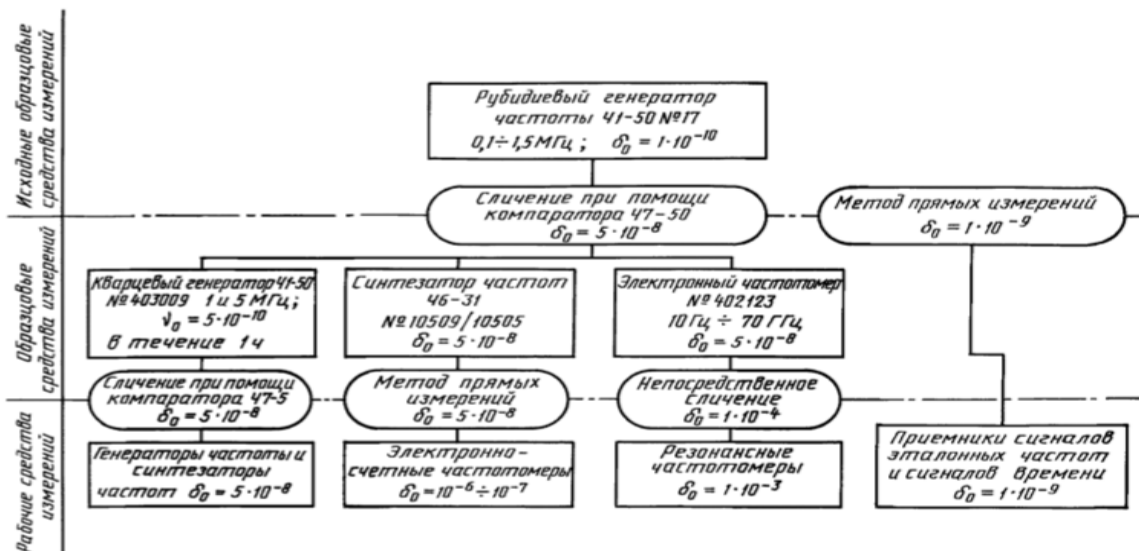


Рисунок Г.2 – Локальная поверочная схема

Светлана Гурьевна Хан

МЕТОДЫ ОЦЕНИВАНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Конспект лекций для магистрантов образовательной программы
7М07105 – «Автоматизация и управление»

Редактор:
Специалист по стандартизации:

Жанабаева Е.Б.
Ануарбек Ж.А.

Подписано в печать __.2022
Тираж 100 экз.
Объем 6,0 уч.-изд. л.

Формат 60×84 1/16
Бумага типографская №1
Заказ ____ Цена 3000 тг.

Копировально-множительный центр
Некоммерческое акционерное общество
«Алматинского университета энергетики и связи»
050013 г. Алматы, ул. Байтурсынова, 126/