# Оглавление

Вступление

1. Разновидности погрешностей

2. Систематические, прогрессирующие и случайные погрешности

3. Изменение погрешности средств измерений во время их эксплуатации

Заключение

Список использованной литературы

# Вступление

В практической жизни человек всюду имеет дело с измерениями. На каждом шагу встречаются измерения таких величин, как длина, объем, вес, время и др.

Измерения являются одним из важнейших путей познания природы человеком. Они дают количественную характеристику окружающего мира, раскрывая человеку действующие в природе закономерности. Все отрасли техники не могли бы существовать без развернутой системы измерений, определяющих как все технологические процессы, контроль и управление ими, так и свойства и качество выпускаемой продукций.

Отраслью науки, изучающей измерения, является метрология. Слово "метрология" образовано из двух греческих слов: метрон - мера и логос - учение. Дословный перевод слова "метрология" - учение о мерах. Долгое время метрология оставалась в основном описательной наукой о различных мерах и соотношениях между ними. С конца 19-го века благодаря прогрессу физических наук метрология получила существенное развитие. Большую роль в становлении современной метрологии как одной из наук физического цикла сыграл Д.И. Менделеев, руководивший отечественной метрологией в период 1892 - 1907 гг.

Исторически первой системой единиц физических величин была принятая в 1791 г. Национальным собранием Франции метрическая система мер. Она не являлась еще системой единиц в современном понимании, а включала в себя единицы длин, площадей, объемов, вместимостей и веса, в основу которых были положены две единицы: метр и килограмм.

В 1832 г. немецкий математик К. Гаусс предложил методику построения системы единиц как совокупности основных и производных. Он построил систему единиц, в которой за основу были приняты три произвольные, независимые друг от друга единицы - длины, массы и времени. Все остальные единицы можно было определить с помощью этих трех. Такую систему единиц, связанных определенным образом с тремя основными, Гаусс назвал абсолютной системой. За основные единицы он принял миллиметр, миллиграмм и секунду.

В дальнейшем с развитием науки и техники появился ряд систем единиц физических величин, построенных по принципу, предложенному Гауссом, базирующихся на метрической системе мер, но отличающихся друг от друга основными единицами.

Рассмотрим главнейшие системы единиц физических величин.

Система СГС. Система единиц физических величин СГС, в которой основными единицами являются сантиметр как единица длины, грамм как единица массы и секунда как единица времени, была установлена в 1881 г.

Система МКГСС. Применение килограмма как единицы веса, а в последующем как единицы силы вообще, привело в конце XIX века к формированию системы единиц физических величин с тремя основными единицами: метр - единица длины, килограмм-сила - единица силы и секунда - единица времени.

Система МКСА. Основы этой системы были предложены в 1901 г. итальянским ученым Джорджи. Основными единицами системы МКСА являются метр, килограмм, секунда и ампер.

Наличие ряда систем единиц физических величин, а также значительного числа внесистемных единиц, неудобства, связанные с пересчетом при переходе от одной системы единиц к другой, требовало унификации единиц измерений. Рост научно-технических и экономических связей между разными странами обусловливал необходимость такой унификации в международном масштабе.

Требовалась единая система единиц физических величин, практически удобная и охватывающая различные области измерений. При этом она должна была сохранить принцип когерентности (равенство единице коэффициента пропорциональности в уравнениях связи между физическими величинами).

В 1954 г. Х Генеральная конференция по мерам и весам установила шесть основных единиц (метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, кандела + моль). Система, основанная на утвержденных в 1954 г. шести основных единицах, была названа Международной системой единиц, сокращенно СИ (SI - начальные буквы французского наименования Systeme International). Был утвержден перечень шести основных, двух дополнительных и первый список двадцати семи производных единиц, а также приставки для образования кратных и дольных единиц.

# 1. Разновидности погрешностей

Качество средств и результатов измерений принято характеры-вешать указанием их погрешностей. Но так как характер проявления и причины возникновения погрешностей как средств, так и результатов измерений весьма разнообразны, то в практике установилось деление погрешностей на разновидности, за каждой из которых закреплено определенное наименование. Этих наименовании около 30, и тот, кто так или иначе связан с измерениями, должен четко усвоить эту терминологию.

**Погрешность средств измерений и погрешность результата измерения.** Погрешность результата измерения — это число, указывающее возможные границы неопределенности полученного значения измеряемой величины. Погрешность же прибора — это его определенное свойство, для описания которого приходится использовать соответствующие правила. Поэтому полагать, что» воспользовавшись, например, вольтметром класса точности 1,0, т. е. имеющим предел приведенной погрешности, равный 1 %, мы получаем и результат измерения с погрешностью» равной 1%, — грубейшая ошибка. Естественно погрешности средств измерений и погрешности результатов измерений — понятия не идентичные.

**Инструментальные и методические погрешности.** Инструментальными (приборными или аппаратурными) погрешностями средств измерений называются такие, которые принадлежит данному средству измерении, могут быть определены при его испытаниях н занесены в его паспорт.

Однако, кроме инструментальных погрешностей, при измерениях возникают еще и такие погрешности, которые не могут быть приписаны данному прибору, не могут быть указаны в его паспорте и называются методическими т. е. связанными не с самим прибором, а с методом проведения намерений.

Очень часто причиной возникновения методической погрешности является то, что, организуя измерения, нередко измеряют или вынуждены измерять не ту величину, которая в принципе должна быть измерена, а некоторую другую, близкую, но не равную ей.

Наглядный пример этого — выбор метода построения прибора для измерения запаса горючего в баке автомобиля. Ясно, что суммарная энергия, запасенная в топливе, определяется его массой (а не объемом) и для ее измерения нужны весы. Но совмещение топливного бака с весовым механизмом резко усложняет конструкцию. Поэтому разработчик заменяет весы простейшим поплавковым уровнем, хотя уровень топлива зависит и от наклона бака, и от температуры и лишь весьма приближенно отражает массу топлива.

Если же погрешности вызваны тем, что пользователь сам измеряет не ту величину, которая в действительности его интересует, и вследствие этого возникают погрешности, которые не могли быть изучены разработчиком и внесены в паспорт прибора, то ответственность за установление размера этих уже чисто методических погрешностей целиком лежит на пользователе средств измерений.

Примером такой методической погрешности может служить погрешность, возникающая при измерении напряжения вольтметром. Вследствие шунтирования входным сопротивлением вольтметра того участка цепи, на котором измеряется напряжение, оно оказывается меньшим, чем было до присоединений вольтметра. Поэтому для одного и того же вольтметра, присоединяемого поочередно к разным участкам исследуемой цепи, зга погрешность различна; на низкоомных участках — ничтожна, а на высокоомных — может быть очень большой. Естественно, размер этой переменной погрешности не может быть указан в паспорте прибора и она является методической.

**Основная и дополнительная погрешности.** Любой датчик, измерительный прибор или регистратор работают в сложных, изменяющихся во времени условиях. Это прежде всего обусловлено тем, что процесс измерения — это сложное многогранное явление, характеризующееся множеством воздействующих на прибор (как со стороны объекта» так и внешней среды, источников питания и т. д.) отдельных факторов. Каждый из этих факторов может быть измерен в отдельности, но в реальных условиях прямых измерений действует на измерительный прибор или датчик совместно со всеми остальными факторами. Интересующий нас единственный фактор из всего множества воздействующих мы называем измеряемого, величиной. Мы требуем от прибора или датчика, чтобы он выглядел из всего множества действующих на него величин только ту, которую мы назвали измеряемой, и отстроился от действия на него всех остальных величин, которые мы именуем влияющими мешающими или помехами.

Естественно, что в этих условиях прибор наряду с чувствительностью к измеряемой величине неминуемо имеет некоторую чувствительность и к неизмеряемым, влияющим величинам. Прежде всего это температура, тряска и вибрации, напряжение источников питания прибора и объекта, коэффициент содержания гармоник питающих напряжений и т. п.

Погрешность прибора в реальных условиях его эксплуатации называется эксплуатационной и складывается из его основной погрешности и всех дополнительных и может быть, естественно, много больше его основной погрешности. Таким образом, деление погрешностей на основную и дополнительные является чисто условным и оговаривается в технической документации на каждое средство измерений.

**Статические и динамические погрешности,** присущие как средствам, так и методам измерений, различают по их зависимости от скорости изменения измеряемой величины во времени. Погрешности, не зависящие от этой скорости, называются статическими. Погрешности же, отсутствующие, когда эта скорость близка к нулю, и возрастающие при ее отклонении от нуля, называются динамическими. Таким образом, динамические погрешности являются одной из разновидностей дополнительных погрешностей, вызываемой влияющей величиной в виде скорости изменения во времени самой измеряемой величины.

# 2. Систематические, прогрессирующие и случайные погрешности

Систематическими называются погрешности, не изменяющиеся с течением времени или являющиеся не изменяющимися во времени функциями определенных параметров. Основной отличительный признак систематических погрешностей состоит в том, что они могут бить предсказаны и благодаря этому почти полностью устранены введением соответствующих поправок.

Особая опасность постоянных систематических погрешностей заключается в том, что их присутствие чрезвычайно трудно обнаружить, В отличие от случайных, прогрессирующих или являющихся функциями определенных параметров погрешностей постоянные систематические погрешности внешне себя никак не проявляют и могут долгое время оставаться незамеченными. Единственный способ их обнаружения состоит в поверке прибора путем повторной аттестации по образцовым мерам или сигналам,

Примером систематических погрешностей второго вида служит большинство дополнительных погрешностей, являющихся не изменяющимися во времени функциями вызывающих их влияющих величин (температур, частот, напряжения и т.п.). Эти погрешности благодаря постоянству во времени функций влияния также могут быть предсказаны и скорректированы введением дополнительных корректирующих преобразователей воспринимающих влияющую величину и вводящих соответствующую поправку в результат измерения.

Прогрессирующими (или дрейфовыми) называются непредсказуемые погрешности, медленно изменяющиеся во времени. Эти погрешности, как правило, вызываются процессами старения тех или иных деталей аппаратуры (разрядкой источников питания, старением резисторов, конденсаторов, деформацией механических деталей, усадкой бумажной ленты в самопишущих приборах и т.п.). Особенностью прогрессирующих погрешностей является то, что они могут быть скорректированы введением поправки лишь в данный момент времени, а далее вновь непредсказуемо возрастают. Поэтому в отличие от систематических погрешностей» которые могут быть скорректированы поправкой, найденной один раз на весь срок службы прибора, прогрессирующие погрешности требуют непрерывного повторения коррекции и тем более частой, чем меньше должно быть их остаточное значение. Другая особенность прогрессирующих погрешностей состоит в том, что их изменение во времени представляет собой нестационарный случайный процесс и поэтому в рамках хорошо разработанной теории стационарных случайных процессов они могут быть описаны лишь с оговорками.

Случайными погрешностями называют непредсказуемые ни по знаку, ни по размеру (либо недостаточно изученные) погрешности. Они определяются совокупностью причин, трудно поддающихся анализу. Присутствие случайных погрешностей (в отличие от систематических) легко обнаруживается при повторных измерениях в виде некоторого разброса получаемых результатов. Таким образом, главной отличительной чертой случайных погрешностей является их непредсказуемость от одного отсчета к другому. Поэтому описание случайных погрешностей может быть осуществлено только на основе теории вероятностей в математической статистики.

Тем не менее, так как большинство составляющих погрешностей средств и результатов измерений являются случайными погрешностями, то единственно возможным разработанным способом их описания является использование положений теории вероятностей и ее дальнейшего развития применительно к процессам передачи информации б виде теории информации, а для обработки получаемых экспериментальных данных, содержащих случайные погрешности, — методов математической статистики. Поэтому именно эта группа фундаментальных разделов математики является основой для развития современной теории оценок погрешностей средств, процессов и результатов измерений.

Примерами систематических аддитивных погрешностей являются погрешности от постороннего груза на чашке весов, от неточной установки прибора на нуль перед измерением, от термо-ЭДС в цепях постоянного тока и т. п. Для устранения таких погрешностей во многих СИ предусмотрено механическое или электрическое устройство для установки нуля (корректор нуля).

Примерами случайных аддитивных погрешностей являются погрешность от наводки переменной ЭДС на вход прибора, погрешности от тепловых шумов, от трения в опорах подвижной части измерительного механизма, от ненадежного контакта при измерении сопротивления, погрешность от воздействия порога строгания приборов с ручным или автоматическим уравновешиванием и т. п.

Причинами возникновения мультипликативных погрешностей могут быть:

* изменение коэффициента усиления усилителя;
* измерение жесткости мембраны датчика манометра или пружинки прибора;
* изменение опорного напряжения в цифровом вольтметре и т.д.

#

# 3. Изменение погрешности средств измерений во время их эксплуатации

Как бы тщательно ни был изготовлен и отрегулирован прибор к моменту выпуска его па приборостроительном заводе, с течением времени в элементах схемы и механизме неизбежно протекают разнообразные процессы старения к погрешность его неуклонно возрастает. Поэтому нормирование гарантированных в паспорте СИ пределов допускаемой погрешности производится заводом-изготовителем с 1,25— 2,5-кратным запасом на старение. Такое превышение пределов допускаемой погрешности над фактическим значением погрешности СИ в момент их выпуска с производства или из ремонта является по существу единственным практическим способом обеспечения долговременной метрологической стабильности средств измерений.

Это обстоятельство должно быть четко известно потребителю средств измерений, так как его приходится принимать во внимание при решении многих вопросов организации процессов измерений, поддержания СИ в работоспособном состоянии, оценки допускаемых при измерении погрешностей и т. д,

У нового, только что изготовленного прибора полоса его погрешностей располагается симметрично относительно нуля в границах ±0,09%. Систематическая погрешность отсутствует, так как она устранена благодаря только что проведенной на заводе регулировке или градуировке шкалы прибора, а случайная погрешность составляет одну пятую часть от нормированного предела.

Изменение погрешности с возрастом прибора, наблюдаемое при последующих ежегодных поверках, происходит в виде прогрессирующего смещения и поворота полосы погрешностей, т. е. в виде непрерывного возрастания систематической составляющей погрешности прибора, в то время как размер случайной составляющей определяется шириной полосы погрешностей и остается практически неизменным.

Аналогичный характер имеет и процесс накопления прогрессирующей погрешности с возрастом цифровых приборов и измерительных каналов измерительных информационных систем (ИИС) или измерительно-вычислительных комплексов (ИВК). Как правило, ИИС и ИВК выполняются достаточно высококачественно, однако накопление прогрессирующей погрешности приводит, как и у других СИ к смещению и повороту их полосы погрешностей, т. е, к постепенному расходованию запаса погрешности, созданного при изготовлении.

Таким образом, характер проявления прогрессирующей погрешности с возрастом СИ является единым для всех СИ и пользователь средств измерений не может его игнорировать.

Возрастающая со временем прогрессирующая погрешность СИ для каждого конкретного результата измерения является систематической. На протяжении ремонтного интервала она возрастает.

Индивидуальная оценка погрешностей всех результатов прямые однократных измерений особенно важна при автоматизации измерений, когда эти результаты без участия экспериментатора вводятся в ЭВМ и используются для дальнейших вычислений, При ручных измерениях экспериментатор интуитивно оценивает качество получаемых данных (по наблюдаемому разбросу по тому, получен ли результат в конце шкалы прибора или на первых ее отметках, и другим признакам). При автоматических измерениях такой субъективный контроль отсутствует.

Однако использование ИВК открывает возможность автоматического вычисления погрешности для каждого отдельного однократного измерения по приведенным выше простейшим формулам. Благодаря простота этих вычислений они занимают очень малую часть машинного времени, а исходные данные (метрологические характеристики измерительных каналов) требуют ничтожную часть памяти ЭВМ. Итог же получается очень эффективным — каждой выводимый на печать результат измерений в соседнем столице таблицы снабжается указанием погрешности с которой он получен, или границами интервала его неопределенности.

Сообщаемый потребителю интервал неопределенности каждого из полученных результатов оперативно информирует его о качестве измерений, хотя, строго говоря, вычисленная по нормируемым метрологическим характеристикам СИ погрешность результата может быть как больше, так и меньше ее действительного значения.

При использовании новых, только что изготовленных СИ в зависимости от размера запаса на старение вычисленная погрешность может быть в 2,5—1,25 раза больше ее фактического значения и приближается к нему только за конце межремонтного интервала. А меньше может быть потому, что погрешность результата измерения определяется не столько инструментальной погрешностью СИ, но и методическими погрешностями, допускаемыми самим экспериментатором. Анализ размера методических погрешностей лежит на ответственности экспериментатора.

Исключение прогрессирующих погрешностей. Скорость изменения во времени прогрессирующих погрешностей носит случайный характер. Поэтому методом обнаружения их накопившихся значений является поверка приборов или измерительных каналов ИИС по образцовым сигналам и мерам. При этом исключение прогрессирующих погрешностей может выполняться как вручную, так и автоматически.

Приборы с не стабильной во времени чувствительностью (электронные, цифровые приборы, потенциометры и т. п.) имеют, кроме корректора нуля, также приспособления для проверки и коррекции чувствительности. Казалось бычто в результате этих двух операций как аддитивные, так и мультипликативные погрешности устраняются и остается лишь случайная составляющая погрешности. Но это не совсем так.

Во-первых, у многих приборов есть локальные отклонения их характеристики от номинальной. Поэтому при совмещении их характеристики с номинальной в двух точках (в пуле и в конце или в другой точке диапазона измерений) она может отклоняться от этой прямой в остальных точках диапазона и возникающая погрешность будет повторяться при каждом измерении т, е. является систематической.

Во-вторых, производя коррекцию нуля или чувствительности, мы пользуемся для этого показаниями того же самого прибора с присущей ему случайной погрешностью, т, е, фиксируем данную реализацию случайной составляющей в качестве систематической составляющей для последующих измерений, Вследствие этого размер остаточной систематической составляющей погрешности прибора всегда имеет тот же порядок, что н случайная составляющая погрешности.

Такая коррекция исключает все накопившиеся прогрессирующие погрешности вне зависимости от причин их возникновения, Но после проведения коррекции идет новое накопление погрешностей. Поэтому для поддержания погрешности в определенных пределах операция коррекции должна периодически повторяться. Путем ежегодных поверок поддерживается точность всех средств измерений. Если период поверок уменьшить до одного дня, часа, минуты или секунды, то точность можно существенно повысить, но для этого весь процесс - коррекции должен быть полностью автоматизирован. Однако необходимо иметь в виду, что исключение прогрессирующих погрешностей сопровождается удвоением дисперсии случайных погрешностей.

Для проверки этого соотношения в поверочной лаборатории ЛПЗО «Электросила» был поставлен следующий эксперимент. Опытному доверителю было предложено провести многократную поверку прибора на одной и той же числовой отметке шкалы один раз, устанавливая заново корректором указатель на нулевую отметку перед каждой поверкой, а другой раз — с однажды установленным и заклеенным корректором. Во втором случае дисперсия отсчетов по образцовому потенциометру оказалась ровно в два раза меньшей, чем в первом. Следовательно, устанавливая каждый раз заново указатель на нулевую отметку, поверитель вносит точно такую же случайную погрешность, какая характерна для данного прибора, и общая дисперсия удваивается. Это особенно важно иметь в виду при использовании методов автоматической коррекции. Поэтому вопрос о возможном снижении погрешности результатов измерения требует анализа соотношения случайных и систематических составляющих погрешностей.

# Заключение

Очень широко среди практиков распространено мнение, что все затруднения с вероятностной оценкой погрешности объясняются лишь их слабой подготовкой в области математической статистики и теории вероятностей. Бее необходимые для этого задачи, дескать, давно решены в теории вероятностей и теории случайных процессов. Стоит лишь как следует овладеть премудростью этих наук и все сложности разрешатся сами собой. Но это верно лишь отчасти. Очень многое применительно к нуждам оценки погрешностей еще ждет своей разработки.

Так, например, нельзя же ожидать, что для всего разнообразия законов распределения погрешностей математики дадут таблицы квантилей. Такие таблицы заняли бы целый том. Нужно какое-то другое решение, например, в виде приближенных формул, а такие формулы нужно разработать. Подобное положение наблюдается и с методикой суммирования погрешностей. Строгое математическое решение в пике многомерного распределения для практики бесполезно. То же самое относится и к имитационному моделированию но методу Монте-Карло, так как оно не может дать общего решения, а численные решения всякий раз должны проводиться заново. Нужны упрощенные, практические методы. Это особенно относится к расчету погрешности косвенных измерений где из-за математической сложности необходимо ограничиться самыми примитивными методами.

Не лучше положение и со сравнительной эффективностью различных оценок центра, рассеянием оценок контрэксцесса, энтропийного коэффициента и энтропийного значения, исключением промахов при распределениях, отличных от нормального. Даже такой, казалось бы, классический спрос математической статистики, как оптимальное число интервалов группирования экспериментальных данных для построения полигона или гистограммы, оказывается, имеет почти столько же «оптимальных» решений, сколько излагающих его авторов. Всюду рекомендуемое использование критериев согласия для идентификации формы распределения практически не позволяет произвести желаемой идентификации при тех данных, которыми исследователь фактически располагает.

Подобный перечень как теоретических, так и практических задач можно было бы дать по обработке однофакторных и многофакторных экспериментов. Здесь также большое количество нужных для практики задач в области разработки удобных методов описания параметров многомерного мениска погрешностей при многофакторном эксперименте и в использовании так называемых «робастных», т. е. не зависящих от вида закона распределения, устойчивых методов оценки параметров модели и исключения промахов, которые позволяют устранить неустойчивость при получении решений МНК для многомерных задач.

Тем не менее дальнейшая разработка устойчивых, не зависимых от вида распределения методов, представляет собой одно яз наиболее перспективных направлений развития методов обработки данных. На основе существующих методов уже сейчас могут быть созданы удобные программы для обработки данных исследования на ЭВМ.

Особого внимания заслуживает анализ путей повышения эффективности измерительного эксперимента. Это прежде всего разработка шкалы затрат на подготовку, постановку и проведение эксперимента и шкалы достигаемого эффекта с учетом как параметров мениска погрешностей, так и протяженности варьирования факторов. Естественно, что оценка результата сложного многофакторного эксперимента одним числом крайне примитивна. Здесь нужен системный, комплексный подход, своеобразная квалиметрия процесса измерения, в какой-то степени аналогичная квалиметрии СИ.

Одним словом, нерешенных вопросов в области оценки погрешностей результатов измерений вполне достаточно. Эти трудные и неблагодарные задачи еще ожидают энтузиастов дня их разрешения.

**Список использованной литературы**

1. В.Д. Цюцюра, С.В. Цюцюра. Метрологія та основи вимірювань. Навч. посібн., К., "Знання -Прес", 2003.

## Новицкий П.В. Оценка погрешностей результатов измерений. 1991.

## Олейник Б.М. и др. Приборы и методы измерений, 1987.

1. Е.С. Левшина, П.В. Новицкий. Измерения физических величин. 1983.