

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. А.Н.ТУПОЛЕВА

Филиал “Восток”

М.И. НИКОЛАЕВ

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Практикум

Казань 2012

УДК 389.001

ББК 30.10

Николаев М.И. Расчётно-графическая работа по курсу общей теории измерений: Учебно-методическое пособие : Для студентов очного и заочного обучения.— Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2012.— 32 с.

Учебно-методическое пособие предназначено для выполнения расчётно-графической работы по дисциплине «Теория измерений», для студентов специальности 200101 «Приборостроение».

Табл. 5. Ил. 4. Библиогр.: 6 назв.

Рецензенты: к.т.н., доцент кафедры радиоэлектроники и информационно - измерительной техники КГТУ им. А.Н. Туполева Кирсанов А.Ю.

к.т.н., директор научно-технического центра ОАО «Восток» Доронин А.Н.

к.т.н., доцент кафедры «Промышленная электроника» Уфимского государственного авиационного технического университета Кудаяров Р.А.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Цель работы	5
2. Особенности технических измерений	5
3. Методические указания к выполнению работы	19
4. Оформление работы	24
Приложение 1. Виды измерений	29
Приложение 2. Методы измерений	30
Приложение 3. Комментарии к ГОСТ 8.207-76	31
Приложение 4. «Истинное» среднее и доверительный интервал	33
Приложение 5. Титульный лист	35

ВВЕДЕНИЕ

В пособии излагаются теоретические и методические сведения в общем объёме, достаточном для выполнения расчётно-графической работы по дисциплине "Теория измерений" по специальности "Приборостроение".

Работа базируется на государственном стандарте ГОСТ 8.207-76 «Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения». Рассматривается один из наиболее применяемых видов измерений, прямые измерения. Наблюдения для исходных данных предполагается получить методом непосредственной оценки. Студенты, выполнившие эту работу, овладевают сведениями из общей теории измерений и приобретают навыки организации технических измерений с требуемой погрешностью.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы – рассмотрение особенностей технических измерений, изучение основных положений прямых измерений с многократными наблюдениями согласно ГОСТ 8.207-76, получение опыта работы с нормативно-технической документацией, излагающей методику технических измерений.

2. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

В этом разделе излагаются элементы общей теории измерений, необходимые для работы со стандартом ГОСТ 8.207-76.

ИЗМЕРЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Основополагающим понятием теории измерений является измерение - нахождение значения физической величины опытным путём с помощью специальных технических средств.

Измерение физической величины производят путем её сравнения в процессе эксперимента с величиной, принятой за единицу физической величины. Целью измерения является получение значения физической величины в наиболее удобной форме. С помощью измерительного прибора определяют, во сколько раз значение данной величины больше или меньше значения величины, принятого за единицу.

Измерения могут быть классифицированы:

- по характеристике точности – равноточные, неравноточные;
- по числу наблюдений – однократные, многократные;

- по режиму работы применяемых средств измерений – статические, динамические;
- по метрологическому назначению – технические, метрологические;
- по выражению результата измерения – абсолютные, относительные;
- по способу обработки экспериментальных данных – прямые, косвенные, совместные, совокупные;
- По способу применения меры – методом непосредственной оценки и методом сравнения с мерой.

Равноточные измерения. Ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях.

Неравноточные измерения. Ряд измерений, какой-либо величины, выполненных несколькими различными по точности средствами измерений в нескольких разных условиях.

Однократные измерения. Измерение, выполненное один раз. Однократные измерения применяются, когда приоритет принадлежит не точности, а стоимости процесса измерения, или приоритет принадлежит временным нормативам, а также когда наблюдаемое событие быстротечно, или объект измерения меняет свойства и даже разрушается под воздействием процесса измерения.

Многократные измерения. Нахождение размера физической величины с выполнением нескольких следующих друг за другом наблюдений физической величины одного и того же размера. Только многократные измерения позволяют судить о размере случайной погрешности и влиять на размер случайной погрешности, меняя количество наблюдений.

Статические измерения. Измерение физической величины, принимаемой в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную величину на протяжении времени измерения.

Динамические измерения. Измерение изменяющейся по размеру физической величины.

Технические измерения. Измерения с помощью рабочих средств измерений.

Метрологические измерения. Измерение при помощи эталонов и образцов средств измерений с целью воспроизведения единиц физических величин для передачи их размера рабочим средствам измерений.

В технических и метрологических измерениях результат находится с требуемой точностью, точность обеспечивается с заданной вероятностью.

Измерение одной и той же физической величины можно выполнить разными способами. В зависимости от цели измерения, существующие способы можно классифицировать и в каждом случае выбирать лучший из них, как правило – по соотношению между затратами на осуществление измерений и ущербом от недостоверных результатов измерений. Среди многих известных классификаций можно выделить две, построенные по следующим признакам: по способу обработки экспериментальных данных и по способу применения меры. Они получили соответствующие наименования: виды измерений и методы измерений. Приложения 1 и 2 содержат сведения об этих классификациях.

В свою очередь, среди видов измерений и методов измерений можно выделить виды и методы, которые применяются наиболее часто. Это прямые измерения и измерения методом непосредственной оценки. Например, измерение силы тока аналоговым амперметром или определение размеров детали при помощи штангельциркуля – прямые измерения методом непосредственной оценки.

При методе непосредственной оценки значение физической величины находят непосредственно по отсчётному устройству измерительного прибора прямого преобразования, шкала которого заранее была отградуирована с

помощью меры. При этом не возникает необходимости использовать для измерений дополнительную меру.

При прямых измерениях значение физической величины находят непосредственно по опытным данным в результате выполнения измерения. При этом нет необходимости в дополнительных вычислениях для определения измеряемой физической величины.

В работе рассматриваются равноточные измерения с многократными наблюдениями. Равноточность измерений истолковывается в широком смысле, как одинаковая распределённость (в узком смысле равноточность измерений понимается как одинаковость меры точности всех результатов измерений). Наличие грубых ошибок (промахов) означает нарушение равноточности как в широком, так и в узком смысле.

На практике условие равноточности считается выполненным, если наблюдения производятся одним и тем же оператором, в одинаковых условиях внешней среды, с помощью одного и того же средства измерения. При таких условиях будут получены равнодисперсионные (по-другому, равноточные, от слов равная точность), т.е. одинаково распределённые случайные величины.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА, ИСТИННОЕ И ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Под термином «физическая величина» (кратко «величина») понимают свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам (масса, длина, температура и т.д.), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта. Количественное содержание этого свойства в объекте является размером физической величины. Получение информации о размере величины

является содержанием любого измерения. Величину, которой присвоено числовое значение, равное единице, называют единицей физической величины.

Физическую величину характеризует ее истинное значение, которое идеальным образом в качественном и количественном отношениях отражает соответствующее свойство объекта. Значение физической величины, найденное экспериментальным путем и приближающееся к истинному значению настолько, что для данной цели может применяться вместо него, называется действительным.

ПОГРЕШНОСТЬ, КЛАССИФИКАЦИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Погрешностью называют отличие между объективно существующим истинным значением физической величины и найденным в результате измерения действительным значением физической величины.

В зависимости от обстоятельств, при которых проводились измерения, а также в зависимости от целей измерения, выбирается та или иная классификация погрешностей. Иногда используют одновременно несколько взаимно пересекающихся классификаций, желая по нескольким признакам точно охарактеризовать влияющие на результат измерения физические величины. В таком случае рассматривают, например, инструментальную составляющую неисключённой систематической погрешности. При выборе классификаций важно учитывать наиболее весомые или динамично меняющиеся или поддающиеся регулировке влияющие величины. Ниже приведены общепринятые классификации согласно типовым признакам и влияющим величинам.

По виду представления различают абсолютную, относительную и приведённую погрешности.

Абсолютная погрешность это разница между результатом измерения X и истинным значением Q измеряемой величины. Абсолютная погрешность находится как $\Delta = X - Q$ и выражается в единицах измеряемой величины.

Относительная погрешность это отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины: $\delta = \Delta / Q = (X - Q) / Q$.

Приведённая погрешность это относительная погрешность, в которой абсолютная погрешность средства измерения отнесена к условно принятому нормирующему значению Q_N , постоянному во всём диапазоне измерений или его части. Относительная и приведённая погрешности – безразмерные величины.

В зависимости от источника возникновения различают субъективную, инструментальную и методическую погрешности.

Субъективная погрешность обусловлена погрешностью отсчёта оператором показаний средства измерения.

Инструментальная погрешность обусловлена несовершенством применяемого средства измерения. Иногда эту погрешность называют аппаратной. Метрологические характеристики средств измерений нормируются согласно ГОСТ 8.009-84, при этом различают четыре составляющие инструментальной погрешности. В данной работе учитываются две составляющие: основная и дополнительная инструментальная погрешности, они определяются классом точности средства измерения.

Методическая погрешность обусловлена следующими основными причинами:

- отличие принятой модели объекта измерения от модели, адекватно описывающей его метрологические свойства;
- влияние средства измерения на объект измерения;
- неточность применяемых при вычислениях физических констант и математических соотношений.

В зависимости от измеряемой величины различают погрешность аддитивную и мультипликативную.

Аддитивная погрешность не зависит от измеряемой величины.

Мультипликативная погрешность меняется пропорционально измеряемой величине.

В зависимости от режима работы средства измерений различают статическую и динамическую погрешности.

Динамическая погрешность обусловлена реакцией средства измерения на изменение параметров измеряемого сигнала (динамический режим).

Статическая погрешность средства измерения определяется при параметрах измеряемого сигнала, принимаемых за неизменные на протяжении времени измерения (статический режим).

По характеру проявления во времени различают случайную и систематическую погрешности.

Систематической погрешностью измерения называют погрешность, которая при повторных измерениях одной и той же величины в одних и тех же условиях остаётся постоянной или закономерно меняется.

Случайной погрешностью измерения называют погрешность, которая при повторных измерениях одной и той же величины в одних и тех же условиях изменяется случайным образом.

Эта классификация хорошо согласуется с инструментами математической статистики и делит все существующие погрешности на две группы – случайные погрешности и систематические погрешности.

Разбивая все существующие погрешности на две группы – случайные и систематические, добиваются относительной простоты их учета, но при этом следует учитывать обстоятельства, связанные с неполным соответствием модели и реальных процессов. Несоответствие заключается в том, что случайные погрешности не являются чисто случайными, они могут носить и

систематический характер. Например, источником случайной погрешности может служить искра, проскочившая между контактами проезжающего неподалеку трамвая. Такая погрешность является случайной, т.к. неизвестно, проедет ли в момент измерений трамвай, проскочит ли искра, будет ли ее влияние существенным. С другой стороны, известно, что трамваи встречаются днем чаще, чем ночью, а искры проскакивают тем чаще, чем больше скорость движения трамвая. Случайная погрешность приобрела систематический характер. Эти обстоятельства учитываются взаимной корреляцией. Если корреляция существует, то в рассмотренном выше примере погрешность будет одновременно носить и случайный и систематический характер. Взаимную корреляцию необходимо учитывать при суммировании погрешностей.

Когда судят о погрешности, подразумевают не значение, а интервал значений, в котором с заданной вероятностью находится истинное значение. Поэтому говорят об оценке погрешности. Если бы погрешность оказалась измеренной, т.е. стали бы известны её знак и значение, то её можно было бы исключить из действительного значения измеряемой физической величины и получить истинное значение.

СУММИРОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Оценка расчётным путём результирующей погрешности по известным оценкам ее составляющих называется суммированием погрешностей. В зависимости от требуемой точности, применяются различные методы суммирования погрешностей. Наиболее общим является метод, в котором при суммировании все составляющие погрешности должны рассматриваться как случайные величины.

Согласно ГОСТ 8.207-76, случайная погрешность оценивается доверительным интервалом. Однако при произвольно выбираемых доверительных

вероятностях доверительный интервал суммы не равен сумме доверительных интервалов. В теории вероятностей показано, что суммирование статистически независимых случайных величин осуществляется в виде геометрической суммы их среднеквадратических отклонений (при условии, что суммируемые величины некоррелированы). Если суммируемые составляющие погрешности коррелированы, расчётные соотношения усложняются, суммарное значение погрешности возрастает.

Погрешность оценивается с учётом закона распределения результатов наблюдений. Поэтому методика, изложенная в ГОСТ 8.207-76 для нормального распределения, не может быть применена для иных видов распределений, иначе может быть получена заниженная или завышенная оценка погрешности. Кроме нормального закона, в технических измерениях часто встречается равномерный закон, например, в распределении систематических погрешностей значений, полученных при многократных наблюдениях, если систематическая погрешность существенно превышает случайную.

Упростить процесс суммирования позволяет пренебрежение малыми погрешностями. Один из возможных вариантов определения критерия ничтожно малой погрешности состоит в том, что если одна величина больше другой на порядок, то ею можно пренебречь.

Основные положения прямых измерений с независимыми многократными наблюдениями устанавливает ГОСТ 8.207-76. Эти положения не могут быть распространены на другие виды измерений, т.к. не учитывают те виды погрешностей, которые существенны для них, например, методическую погрешность в совместных измерениях. Соответствующие положения изложены в отдельных нормативных документах. Методика, изложенная в ГОСТ 8.207-76, может использоваться в качестве составной части других методик измерений (см. прил. 3).

ТОЧНОСТЬ И ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЯ

Применение рассмотренных выше элементов общей теории измерений необходимо для обеспечения точности и достоверности результата измерения. При многократных наблюдениях получают ряд значений, обрабатывая которые находят результат измерения. Для обработки применяют инструменты математической статистики, рассматривая ряд значений как выборку из генеральной совокупности. Опираясь на теорию вероятностей, математическая статистика позволяет оценить надёжность и точность выводов, делаемых на основании ограниченного статистического материала.

Точность характеризуется значением, обратным значению относительной погрешности. Величина, обратная абсолютной погрешности, называется мерой точности. В зависимости от требуемой точности, в процессе измерений могут применяться как однократные, так и многократные наблюдения. Если выполняется лишь одно наблюдение, то результат наблюдения является результатом измерения. Если выполняется больше одного наблюдения, результат измерения получают в итоге обработки результатов наблюдений, как правило, в виде среднего арифметического.

В методике, изложенной в ГОСТ 8.207-76, результаты многократных наблюдений являются исходными данными. После их обработки по стандартному алгоритму получаем: действительное значение \bar{A} физической величины как среднее арифметическое от результатов многократных наблюдений; погрешность Δ найденного действительного значения; вероятность P , с которой истинное значение физической величины удалено от действительного значения на интервал, не превышающий погрешности.

Требуемая точность технических измерений может также обеспечиваться повторением многократных наблюдений. В этом случае многократные наблюдения одного и того же объекта выполняются несколько раз. Чтобы

сократить время, необходимое для обработки нескольких рядов многократных наблюдений, в начале процесса обработки применяют индикаторы, позволяющие определить предпочтительный ряд и в дальнейшем обрабатывать только этот ряд.

Таковыми индикаторами является сумма остаточных погрешностей и сумма квадратов остаточных погрешностей. Эти индикаторы являются косвенной характеристикой несмещённости и эффективности оценки, полученной при обработке результатов многократных наблюдений.

Если измерения проводились несколько раз и получено несколько рядов результатов наблюдений, то при одинаковом количестве наблюдений в разных рядах наименьшую сумму остаточных погрешностей будет иметь тот ряд, в котором результаты распределились симметрично относительно среднего арифметического значения, т.е. наиболее близко к нормальному закону (см. прил. 4). Для дальнейших вычислений рекомендуется выбирать именно его, т.к. он в наибольшей степени будет удовлетворять условию равноточности, а при исключённой систематической погрешности - условию несмещённости оценки результата измерения.

Несмещённая оценка — статистическая оценка, математическое ожидание которой совпадает с оцениваемой величиной. Про несмещённую оценку говорят, что она лишена систематической ошибки.

Однако симметричность не является исчерпывающей характеристикой распределения. Следующим важным признаком является компактность распределения. По этому признаку при фиксированном числе наблюдений предпочтительный ряд может быть определён индикатором эффективности. Эффективной называется та из нескольких возможных несмещённых оценок, которая имеет наименьшую дисперсию. Условию эффективности будет удовлетворять ряд с наименьшей суммой квадратов остаточных погрешностей.

Очевидно, что в практической метрологии эффективная оценка является предпочтительной. Признак эффективности свидетельствует о том, что

субъективная составляющая случайной погрешности минимальна, наблюдения выполнялись более аккуратно и будет обеспечен наименьший размер случайной погрешности.

В теоретической метрологии рассматривается также состоятельная оценка, являющаяся идеальной моделью для многократных измерений, к которой желательно стремиться, но получить ее практически невозможно. При состоятельной оценке истинное и действительное значение совпадают, погрешность равна нулю. Это достигается бесконечным увеличением числа наблюдений. Состоятельной называется оценка, в которой при числе наблюдений, стремящемся к бесконечности, дисперсия стремится к нулю.

Достоверность результата измерения полагается высокой, если P близка к единице (P - вероятность, с которой истинное значение физической величины удалено от действительного значения на интервал, не превышающий погрешности). В технических измерениях значение P , как правило, принимается равным 0,95. Это говорит о том, что если проводить такие измерения 100 раз, то в 95 случаях истинное значение окажется удалено от действительного значения на интервал, размеры которого не превышают погрешности, а в 5 случаях окажется удалено на интервал, превышающий погрешность. Поэтому в измерениях, имеющих непосредственное влияние на безопасность и здоровье, значение P принимается равным 0,99. Такую же вероятность назначают при однократных измерениях. Это объясняется тем, что при прочих равных обстоятельствах (в первую очередь, при одинаковом числе наблюдений), размеры P и Δ взаимосвязаны: чем больше P , тем больше Δ , следовательно, назначая высокую степень уверенности, мы рассматриваем наихудший вариант контролируемых событий.

Задавая большую степень неопределённости контролируемым посредством измерений событиям, мы получаем большую уверенность в том, что они произойдут. Например, вероятность того, что снаряд попадет в точку,

оставленную карандашом, близка к нулю. Если постепенно увеличивать размеры точки до размеров земного шара, то вероятность попадания снаряда в эту точку будет приближаться к единице.

Существует способ одновременно увеличивать достоверность и уменьшать неопределенность результата измерений, т.е. увеличивать P и уменьшать Δ . Этот способ – увеличение числа наблюдений. Увеличением числа наблюдений можно добиться, соответственно, роста P при фиксированной Δ , или же уменьшения Δ при фиксированной P . Из этих рассуждений становится понятно, почему не следует стремиться к «максимальной» точности измерений или требовать чрезмерно высокую достоверность результатов – это потребует дополнительных наблюдений, сделает измерения слишком дорогими.

В этой связи актуален вопрос корректной записи результатов измерений. Действуют правила корректной записи результатов. Эти правила содержатся в разделе 6 стандарта ГОСТ 8.207-76, а также в комментариях к разделу 6 в этой работе.

Для получения результатов, минимально отличающихся от истинного значения измеряемой физической величины, проводят многократные наблюдения и затем проводят математическую обработку полученного массива с целью определения и минимизации случайной и систематической составляющих погрешности. Минимизация случайной погрешности обеспечивается выполнением рассмотренного выше условия эффективности при выборе ряда наблюдений.

Минимизация систематической погрешности в процессе наблюдений выполняется следующими методами: метод замещения (состоит в замещении измеряемой величины мерой), метод противопоставления (состоит в двух поочерёдных измерениях при замене местами меры и измеряемого объекта), метод компенсации погрешности по знаку (состоит в двух поочерёдных измерениях, при которых влияющая величина становится противоположной).

При многократных наблюдениях возможно апостериорное (после выполнения наблюдений) исключение систематической погрешности в результате анализа рядов наблюдений. Рассмотрим графический анализ. При этом результаты последовательных наблюдений представляются функцией времени либо ранжируются в порядке возрастания погрешности.

Рассмотрим временную зависимость. Будем проводить наблюдения через одинаковые интервалы времени. Результаты последовательных наблюдений являются случайной функцией времени. В серии экспериментов, состоящих из ряда последовательных наблюдений, получаем одну реализацию этой функции. При повторении серии получаем новую реализацию, отличающуюся от первой.

Реализации отличаются преимущественно из-за влияния факторов, определяющих случайную погрешность, а факторы, определяющие систематическую погрешность, одинаково проявляются для соответствующих моментов времени в каждой реализации. Значение, соответствующее каждому моменту времени, называется сечением случайной функции времени. Для каждого сечения можно найти среднее по всем реализациям значение. Очевидно, что эта составляющая и определяет систематическую погрешность. Если через значения систематической погрешности для всех моментов времени провести плавную кривую, то она будет характеризовать временную закономерность изменения погрешности. Зная закономерность изменения, можем определить поправку для исключения систематической погрешности. После исключения систематической погрешности получаем «исправленный ряд результатов наблюдений».

КЛАСС ТОЧНОСТИ

В данной работе при оценке систематической погрешности учитываются две составляющие: основная и дополнительная инструментальная погрешности, они определяются классом точности средства измерения. Класс точности средства

измерения – обобщённая метрологическая характеристика, служащая показателем установленных государственными стандартами пределов основных и дополнительных погрешностей и других параметров, влияющих на точность. Из-за разнообразия средств измерений и измеряемых величин, нецелесообразно применять единый способ выражения пределов допускаемых погрешностей. Соответственно предусматриваются и различные способы обозначения классов точности. Рассмотрим три основных способа.

В большинстве случаев обозначение класса точности представляет собой выраженное в процентах значение относительной погрешности. В таких случаях обозначение класса точности заключают в кружок. Например, класс точности $\textcircled{0,1}$ соответствует относительной погрешности 0,1 %. Напомним, что относительная погрешность представляет собой абсолютную погрешность, нормированную к результату измерения.

Если для обозначения класса точности используется значение приведённой погрешности, возможны два варианта: погрешность, приведённая к размеру шкалы и погрешность, приведённая к участку шкалы.

Погрешность, приведённая к размеру шкалы, образуется нормированием абсолютной погрешности к этому размеру. В этом варианте обозначение класса точности приводится просто в виде цифр, без каких-либо дополнительных символов.

Погрешность, приведённая к участку шкалы, образуется нормированием абсолютной погрешности к размеру этого участка. В этом варианте обозначение класса точности приводится над галочкой. Такой же галочкой обозначены участки шкалы, по отношению к которым выполняется нормирование.

Сведения о классе точности размещают на шкале и в паспортных данных средства измерений.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

Измерения выполняются в соответствии с ГОСТ 8.207-76, учебная копия которого должна быть получена у преподавателя.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Исходные данные должны быть получены в качестве результатов экспериментальных наблюдений во время лабораторных занятий, либо выданы преподавателем. Следует получить не менее двенадцати результатов наблюдений. Исходные данные заносят в таблицу 1.

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}
									0	1

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Согласно ГОСТ 8.207-76, результаты наблюдений должны быть получены при помощи прямых равноточных измерений, с точностью на один-два порядка большей, чем требуемая точность измерений и распределены по нормальному закону.

Предлагается получить ряд из десяти - пятнадцати наблюдений. Если взять большой ряд, потребуется много однообразных вычислений; маленький ряд приводит к чрезмерному росту случайной составляющей погрешности.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Обработка результатов производится в соответствии с ГОСТ 8.207-76. В этом разделе дополнительно к ГОСТ 8.207-76 приводятся необходимые для выполнения расчётов сведения и комментарии.

КОММЕНТАРИИ К ГОСТ 8.207-76. РАЗДЕЛ 2. РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЯ И ОЦЕНКА ЕГО СРЕДНЕГО КВАДРАТИЧЕСКОГО ОТКЛОНЕНИЯ

Среднее арифметическое исправленных результатов наблюдений вычисляют по формуле:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i .$$

Для оценки среднего квадратического отклонения результата измерения находим случайные отклонения результатов отдельных наблюдений, принимаем их за остаточные погрешности,

$$v_i = x_i - \bar{A} .$$

Для минимизации случайной и систематической составляющих погрешности, при наличии нескольких групп наблюдений (реализаций), используют два свойства остаточных погрешностей: сумма остаточных погрешностей равна нулю,

$$\sum_{i=1}^n v_i = 0 ,$$

и сумма квадратов остаточных погрешностей минимальна,

$$\sum_{i=1}^n v_i^2 = \min .$$

Для дальнейших вычислений рекомендуется выбрать реализацию, удовлетворяющую этим условиям.

Степень рассеяния результатов наблюдений вокруг среднего арифметического значения характеризуется средним квадратическим отклонением, (СКО):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{A})^2}{n}} .$$

Среднее квадратическое отклонение результатов наблюдения – числовая характеристика из теории вероятности, в практической метрологии вместо него применяется оценка СКО:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{A})^2}{n-1}} .$$

Оценка СКО учитывает ограниченность объём а выборки: при малом объём е выборки оценка СКО будет заметно больше, чем СКО, а при большом объём е выборки оценка СКО не будет заметно отличаться от СКО.

Полученное значение СКО результатов наблюдения не так универсально, как среднее арифметическое исправленных результатов наблюдений и не может быть непосредственно принято за значение случайной погрешности результата измерения. Для этого, прежде всего, необходимо восстановить размерность физической величины, ликвидировав нелинейность преобразования физической величины, разделив СКО результатов наблюдения на корень из n :

$$S(\bar{A}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{A})^2}{n(n-1)}} .$$

Полученное значение принимают за оценку среднего квадратического отклонения результата измерения

КОММЕНТАРИИ К ГОСТ 8.207-76. РАЗДЕЛ 4. ДОВЕРИТЕЛЬНЫЕ ГРАНИЦЫ НЕИСКЛЮЧЁННОЙ СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЯ

Источники систематической погрешности разнообразны. Её могут вызвать условия измерения, метод измерения, особенности средства измерения и другие причины. Существенный вклад вносит и трудно исключается инструментальная составляющая систематической погрешности. Эту составляющую будем рассматривать в качестве неисключённой систематической погрешности. При этом различаются основная и дополнительная инструментальная погрешность. Обе погрешности определяются классом точности средства измерения. Дополнительная погрешность возникает при выходе условий измерения за нормальные пределы и принимается равной удвоенному значению основной погрешности.

Предположим, что наблюдения были получены в результате измерения цифровым вольтметром, имеющим класс точности, обозначенный цифрой 1,5 в кружочке, причем условия измерения выходили за нормальные пределы.

Основная инструментальная погрешность:

$$\theta_{\text{осн}} = A \frac{1,5\%}{100\%} .$$

Дополнительная инструментальная погрешность:

$$\theta_{\text{доп}} = 2\theta_{\text{осн}} .$$

КОММЕНТАРИИ К ГОСТ 8.207-76. РАЗДЕЛ 6. ФОРМА ЗАПИСИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Запись результата измерений производится по следующим правилам:

- результат измерения округляется в соответствии с его погрешностью, т.е. записывается с той же точностью, что и погрешность;
- погрешность указывается двумя значащими цифрами, если первая равна 1 или 2;
- погрешность указывается одной значащей цифрой, если первая равна 3 или более.

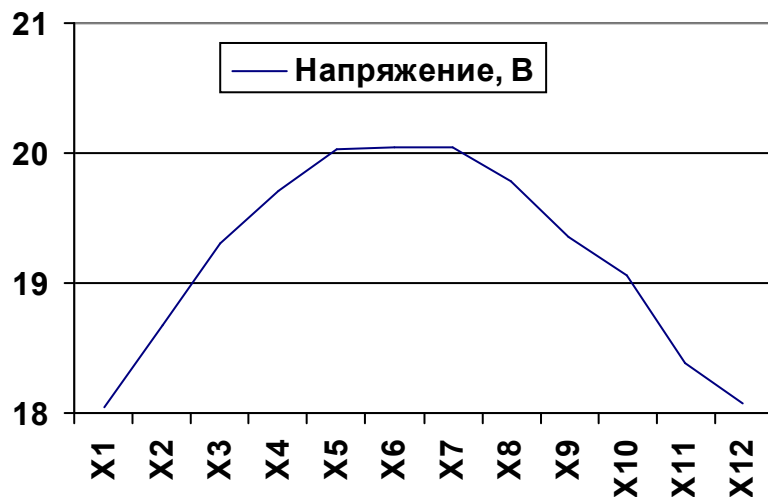
Все остальные цифры должны быть не значащими. Значащей цифрой называется любая цифра числа, записанного в виде десятичной дроби, начиная с *первой слева отличной от нуля цифры*, независимо от того, находится ли она до запятой или после запятой.

4. ОФОРМЛЕНИЕ РАБОТЫ

Образец титульного листа содержится в прил. 5.

Вторым листом следует содержание, с указанием страниц.

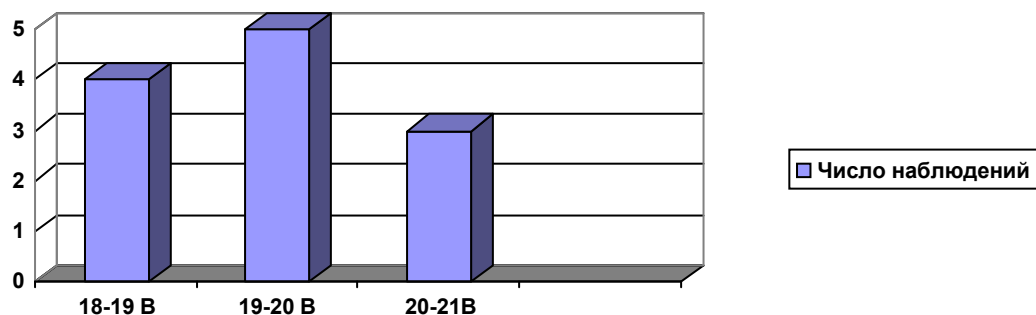
Третий лист следует озаглавить «Исходные данные». Приводятся таблицы и графики распределения результатов наблюдений, в соответствии с рисунками 1 и 2. На четвёртом листе приводится алгоритм выполнения измерений, составленный согласно рекомендациям [2]. Наименование и содержание дальнейших разделов – в соответствии с разделами ГОСТ 8.207-76. Не забывайте нумеровать страницы. Завершается работа записью трех значений: \bar{A} , Δ , P .



x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}
118,05	118,68	119,31	119,71	220,03	220,04	220,05	119,78	119,35	119,06	118,38	118,07

Рис. 1. Таблица и график результатов наблюдений

Распределение результатов в графическом виде принято характеризовать плотностью вероятности, плотностью распределения; одним из вариантов могут быть гистограммы (рис. 2).



18-19 В	19-20 В	20-21 В
4	5	3

Рис. 2. Таблица и гистограмма результатов наблюдений

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем особенность технических измерений?
2. Какие измерения называются прямыми?
3. Какие измерения называются равноточными?
4. Чем измерения отличаются от наблюдений?
5. Какие наблюдения бывают кроме многократных наблюдений?
6. В каких случаях рекомендуются многократные наблюдения?
7. Почему среди многих методов обработки результатов наблюдений мы рассматриваем подробно именно прямые равноточные измерения с многократными наблюдениями?
8. Может ли быть применена эта методика для других видов измерений, например, для совместных измерений?
9. Может ли быть применена эта методика, если результаты наблюдений распределены не по нормальному закону?
10. Какие ещё законы распределения часто встречаются в технических измерениях?
11. Какое влияние на результаты измерения оказывает закон распределения результатов наблюдений?
12. Какие исходные данные в этой методике измерения?
13. Что такое \bar{A} , Δ , P ?
14. В каком случае сумма остаточных погрешностей равна нулю?
15. Почему выбираем вариант с наименьшей суммой квадратов остаточных погрешностей?
16. Какую оценку называют несмещённой?
17. Какую оценку называют эффективной?
18. Какую оценку называют состоятельной?
19. Какая из этих трех оценок является предпочтительной?

20. Встречаются ли на практике состоятельные оценки?
21. Можно ли утверждать, что эффективная оценка одновременно является несмещённой?
22. Можно ли утверждать, что несмещённая оценка одновременно является эффективной?
23. Определение какого параметра - \bar{A} , Δ , или P является наиболее трудоемким в этой методике измерений?
24. Из каких составляющих складывается Δ ?
25. Почему выбрана именно такая классификация погрешностей?
26. Как еще можно классифицировать погрешности?
27. Почему Δ не равна арифметической сумме составляющих?
28. Как определяется P ?
29. В каких случаях $P = 0,95$ или $0,99$ или больше $0,99$?
30. Следует стремиться к максимальной точности измерений или достаточно находиться в рамках требуемой точности измерений?
31. Когда при фиксированном числе наблюдений назначаем более высокую вероятность, повлияет ли это на точность, сообщаемую в результатах измерения, т.е. Δ тоже возрастает? Или уменьшается? Или остаётся неизменной? Или меняется независимо от вероятности?
32. Как одновременно увеличивать достоверность и точность измерений?
33. Δ - это значение, или интервал значений?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **ГОСТ 8.207-76.** Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения [Текст]. — Введ. 1977–01–01. — М. : Изд-во стандартов, 1976. — 13 с.

2. **ГОСТ 19.701-90.** Единая система программной документации. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения [Текст]. — Введ. 1992–01–01. — М. : Изд-во стандартов, 1991. — 27 с.

3. **Сергеев, А. Г.** Метрология [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. Г. Сергеев, В. В Крохин. — М. : Логос, 2000. — 408 с.

4. **Гмурман, В. Е.** Теория вероятностей и математическая статистика [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. — М. : Высш. шк., 1998. — 496 с.

5. **Козлов, М. Г.** Метрология и стандартизация [Текст] : учеб. пособие для вузов / М. Г. Козлов. — М. : Изд-во МГУП, 2001. — 372 с.

6. **Тартаковский, Д. Ф.** Метрология, стандартизация и технические средства измерений [Текст] : учебник для вузов / Д. Ф. Тартаковский, А. С. Ястребов. — М. : Высш. шк., 2001. — 205 с.

Виды измерений

Виды			
	<i>В зависимости от способа обработки экспериментальных данных</i>		
Прямые		Косвен- ные	Совокуп- ные
			Совмест- ные

- Прямые измерения. Измерения, при которых искомое значение физической величины получают непосредственно на средстве измерений, без дополнительных расчётов.

- Косвенные измерения. Измерения, при которых значение искомой физической величины определяют по результатам прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной.

В современных средствах измерений вычисление искомой величины нередко производится встроенными вычислительными средствами. В этом случае результат измерения определяется способом, характерным для прямых измерений, нет необходимости отдельного учёта методической погрешности вычислений, она входит в погрешность средства измерений. Такие измерения относят к прямым измерениям. В измерительных системах, в которых метрологические характеристики нормированы для их компонентов по отдельности, получают косвенные измерения.

- Совокупные измерения. Проводимые одновременно измерения нескольких одноимённых величин, при которых искомые значения величин определяют путём решения системы уравнений, получаемых при измерениях различных сочетаний этих величин.

- Совместные измерения. Проводимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для определения зависимости между ними.

Методы измерений

Методы	
<i>В зависимости от способа применения меры*</i>	
Метод непосредственной оценки	Метод сравнения с мерой

Значение измеряемой величины определяют непосредственно по отсчётному устройству измерительного прибора прямого преобразования, шкала которого заранее была отградуирована с помощью меры.

Метод сравнения с мерой - общее название методов измерений, в которых измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой, при этом погрешность результата измерений обусловлена в основном незначительной погрешностью меры. К таким методам, в частности, относятся: дифференциальный метод, нулевой метод, метод замещения, метод совпадений.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ МЕТОД, разностный метод, один из вариантов метода сравнения с мерой. Дифференциальный метод измерения превращается в нулевой метод измерения, если разность между измеряемой величиной и мерой доводят до нуля.

НУЛЕВОЙ МЕТОД (компенсационный метод), один из вариантов метода сравнения с мерой, в котором на нулевой прибор воздействует сигнал, пропорциональный разности измеряемой и известной величин, причем эту разность доводят до нуля. Пример: измерение электрических величин (электродвижущей силы, электрического сопротивления, емкости и др.) с применением потенциометров и измерительных мостов.

МЕТОД ЗАМЕЩЕНИЯ, один из методов сравнения с мерой, состоит в замещении измеряемой величины мерой, подбираемой или регулируемой таким образом, чтобы показания измерительного прибора оставались неизменными; при этом значение измеряемой величины равно номинальному значению меры.

МЕТОД СОВПАДЕНИЙ, вариант метода сравнения с мерой, в котором разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, определяют по совпадению сигналов или отметок на шкалах (реализуется, напр., при помощи нониуса или стробоскопа, в последнем случае метод иногда называют стробоскопическим).

*Мера - средство измерений, предназначенное для воспроизведения физических величин заданного размера. Меры используют как эталоны, образцовые или рабочие средства измерений. В зависимости от погрешностей, меры подразделяют на классы точности.

Комментарии к ГОСТ 8.207-76

Номер ГОСТа	ГОСТ 8.207-76
Заглавие на русском языке	Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения
Начало действия:	01.01.1977
Статус	Действует
Взамен	-
Код ОКС(МКС):	17.020 - Метрология и измерения в целом
Группа (Код КГС):	T80 - Правила, нормы, положения в области обеспечения единства измерений (основополагающие НТД)
Технический комитет России:	-
Межгосударственный комитет:	53 - Общие нормы и правила государственной системы обеспечения единства измерений
Количество страниц:	13 (A5)

В стандарте ГОСТ 8.207-76 имеются ссылки на следующие стандарты.

Номер ГОСТа	ГОСТ 8.010-90
Заглавие на русском языке	ГСИ. Методики выполнения измерений.
Начало действия:	01.01.92
Статус	Утратил силу на территории РФ. Действует ГОСТ Р 8.563-96
Взамен	ГОСТ 8.010-72, ГОСТ 8.467-82, ГОСТ 8.504-84, ГОСТ 8.505-84, ГОСТ 8.507-84
Код ОКС(МКС):	17.020 - Метрология и измерения в целом
Группа (Код КГС):	T80 - Правила, нормы, положения в области обеспечения единства измерений (основополагающие НТД)
Технический комитет России:	-
Межгосударственный комитет:	-
Количество страниц:	17 (A5)

Номер ГОСТа	ГОСТ Р 8.563-96
Заглавие на русском языке	ГСИ. Методики выполнения измерений.
Начало действия:	01.07.97
Статус	Действует
Взамен	ПР 50.2.001-94
Код ОКС(МКС):	17.020 - Метрология и измерения в целом
Группа (Код КГС):	Т80 - Правила, нормы, положения в области обеспечения единства измерений (основополагающие НТД)
Технический комитет России:	-
Межгосударственный комитет:	-
Количество изменений:	2 (ИУС 8/2001, 10/2002)
Количество страниц:	23 (А4)
Примечания	Переиздание 2002; на территории других государств - участников Соглашения о проведении согласованной политики в области стандартизации действует ГОСТ 8.010-90

В стандарте ГОСТ 8.207-76 также имеются ссылки на следующие стандарты, которые в настоящее время утратили силу, но продолжают применяться до разработки новых стандартов.

ГОСТ 8.011-72 Показатели точности измерений и формы представления результатов измерений.

ГОСТ 11.002-73 Прикладная статистика. Правила оценки аномальности результатов наблюдений.

ГОСТ 11.004-74 Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров нормального распределения.

ГОСТ 11.006-74 Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим.

«ИСТИННОЕ» СРЕДНЕЕ И ДОВЕРИТЕЛЬНЫЙ ИНТЕРВАЛ

Среднее - очень информативная мера «центрального положения» наблюдаемой переменной, особенно если сообщается её доверительный интервал. Исследователю нужны такие статистики, которые позволяют сделать вывод относительно генеральной совокупности в целом. Одной из таких статистик является среднее. Доверительный интервал для среднего представляет интервал значений вокруг оценки, где с данным уровнем доверия находится «истинное» (неизвестное) среднее генеральной совокупности. Например, если среднее выборки равно 23, а нижняя и верхняя границы доверительного интервала с уровнем $P = 0,95$ равны 19 и 27 соответственно, то можно заключить, что с вероятностью 95% интервал с границами 19 и 27 накрывает среднее генеральной совокупности. Если установить больший уровень доверия, то интервал станет шире, поэтому возрастает вероятность, с которой он «накрывает» неизвестное среднее генеральной совокупности, и наоборот. Хорошо известно, например, что чем «неопределенней» прогноз погоды (т.е. шире доверительный интервал), тем вероятнее он будет верным. Заметим, что ширина доверительного интервала зависит от объёма и размера выборки, а также от разброса (изменчивости) данных. Увеличение размера выборки делает оценку среднего более надёжной. Увеличение разброса наблюдаемых значений уменьшает надёжность оценки. Вычисление доверительных интервалов основывается на предположении нормальности наблюдаемых величин. Если это предположение не выполнено, то оценка может оказаться плохой, особенно для малых выборок. При увеличении объёма выборки, скажем, до 100 или более, качество оценки улучшается и без предположения нормальности выборки.

Форма распределения, нормальное распределение

Важным способом «описания» переменной является форма её распределения, которая показывает, с какой частотой значения переменной

попадают в определенные интервалы. Эти интервалы, называемые интервалами группировки, выбираются исследователем. Обычно исследователя интересует, насколько точно распределение можно аппроксимировать нормальным. Простые описательные статистики дают об этом некоторую информацию. Например, если асимметрия (показывающая отклонение распределения от симметричного) существенно отличается от 0, то распределение несимметрично, в то время как нормальное распределение абсолютно симметрично. Асимметрия распределения с длинным правым хвостом положительна. Если распределение имеет длинный левый хвост, то его асимметрия отрицательна. Далее, если эксцесс (показывающий «остроту пика» распределения) существенно отличен от 0, то распределение имеет или более закруглённый пик, чем нормальное, или, напротив, имеет более острый пик (возможно, имеется несколько пиков). Обычно, если эксцесс положителен, то пик заострен, если отрицательный, то пик закруглен. Эксцесс нормального распределения равен 0.

Статистический уровень значимости (p -уровень)

Статистическая значимость результата представляет собой меру неуверенности в его «истинности» (в смысле «репрезентативности выборки»). Более точно, p -уровень - это показатель, обратно пропорциональный надежности результата. Более высокий p -уровень соответствует более низкому уровню доверия найденным в выборке результатам, например, зависимостям между переменными. А именно, p -уровень представляет собой вероятность ошибки, связанной с обобщением наблюдаемого результата на всю генеральную совокупность. Например, p -уровень равный 0,05 показывает, что имеется пятипроцентная вероятность того, что найденная в выборке зависимость между переменными является лишь случайной особенностью данной выборки.

Приложение 5. Титульный лист

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. А.Н.ТУПОЛЕВА**

Филиал “Восток”

Расчётно-графическая работа
по дисциплине «Теория измерений»
на тему «Прямые равноточные измерения с многократными наблюдениями»

Выполнил: ст. группы 9301 _____

Проверил: доц. каф. приборостроения Николаев М.И.

Чистополь 2009

Автор
Николаев Михаил Иванович

Расчётно-графическая работа по курсу общей теории измерений

Учебно-методическое пособие

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Печ.л. 2. Усл.печ.л. 0,93. Усл.кр.-отт. 0,9 Уч.-изд.л. 2.
Тираж _____. Заказ / _____.

Типография Издательства Казанского государственного технического университета
420111 Казань, К.Маркса, 10