

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра метрологии и стандартизации

М. Ю. Дерябина

***ПЛАНИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА
И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ***

Лабораторный практикум
для студентов специальности I-54 01 04
«Метрологическое обеспечение систем и сетей»
дневной формы обучения

Минск 2008

УДК 389.1 (075.8)
ББК 30.10 я 73
Д 36

Р е ц е н з е н т
доцент кафедры радиотехнических устройств БГУИР,
канд. техн. наук А. Я. Бельский

Дерябина, М. Ю.

Д 36 Планирование измерительного эксперимента и обработка результатов измерений : лаб. практикум для студ. спец. I-54 01 04 «Метрологическое обеспечение информационных систем и сетей» днев. формы обуч. / М. Ю. Дерябина. – Минск: БГУИР, 2008. – 82 с. : ил.

ISBN 978-985-488-276-5

В лабораторный практикум включены четыре лабораторные работы. Содержатся краткие теоретические сведения, порядок выполнения работ, приводятся контрольные вопросы и описания применяемых измерительных приборов.

УДК 389.1 (075.8)
ББК 30.10 я 73

ISBN 978-985-488-276-5

© Дерябина М. Ю., 2008
© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2008

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа ПЭ1 «Выбор требуемого количества наблюдений в зависимости от заданной точности измерения»	5
1 Цель работы	5
2 Краткие теоретические сведения	5
2.1 Обработка результатов наблюдений по минимуму данных	5
2.2 Оптимальный выбор точности средства измерений в зависимости от соотношения диффузности объекта и погрешности измерений	7
2.3 Зависимость точности достигаемого результата от времени измерения	9
2.4 Оптимальная эффективность эксперимента с учетом затрат времени на его подготовку	10
3 Приборы, используемые при выполнении работы	12
4 Описание лабораторной установки	12
5 Подготовка к выполнению работы	12
6 Лабораторное задание	12
7 Порядок выполнения работы	13
8 Содержание отчета	16
9 Контрольные вопросы	16
Лабораторная работа ПЭ2 «Методика выбора числа опорных точек кривой»	17
1 Цель работы	17
2 Краткие теоретические сведения.....	17
2.1 Выбор диапазона измерений	17
2.2 Правила построения графиков	23
3 Приборы, используемые при выполнении работы	25
4 Описание лабораторной установки	25
5 Подготовка к выполнению работы	25
6 Лабораторное задание	25
7 Порядок выполнения работы	25
8 Содержание отчета	26
9 Контрольные вопросы	26
Лабораторная работа ПЭ3 «Оценивание достоверности контроля»	27
1 Цель работы	27
2 Краткие теоретические сведения	27
2.1 Принципы проектирования и контроля изделий	27
2.2 Риск заказчика и риск изготовителя	29
2.3 Приемочные границы с учетом допускаемых погрешностей измерения	33
2.4 Влияние погрешности измерения на результаты разбраковки при приемочном контроле	33
2.5 Приемочные границы с учетом погрешности измерения	39

3 Приборы, используемые при выполнении работы	40
4 Описание объектов измерения	40
5 Подготовка к выполнению работы	42
6 Лабораторное задание	42
7 Порядок выполнения работы	42
8 Содержание отчета	43
9 Контрольные вопросы	43
Лабораторная работа ПЭ4 «Подбор аппроксимирующих функций. Расчет по экспериментальным данным параметров выбранной аппроксимирующей функции»	44
1 Цель работы	44
2 Краткие теоретические сведения.....	44
3 Оборудование, используемое при выполнении работы	47
4 Описание функций, реализуемых в программном обеспечении работы ..	47
5 Подготовка к выполнению работы	47
6 Лабораторное задание	48
7 Порядок выполнения работы	48
8 Содержание отчета	55
9 Контрольные вопросы	55
Приложение А Содержание отчета	56
Приложение Б Измеритель добротности Е4-7	57
Приложение В Прибор электроизмерительный комбинированный Ц4353 ...	59
Приложение Г Цифровой комбинированный прибор М92А	61
Приложение Д Вольтметр универсальный цифровой В7-28	62
Приложение Е Магазин сопротивлений МСР-63	64
Приложение Ж Генератор Г4-117	65
Приложение К Осциллограф универсальный С1-117	67
Приложение Л Штангенциркули ШЦ-I, ШЦ-II, ШЦ-III	70
Приложение М Штангенглубиномеры ШГ	71
Приложение Н Микrometer МК	72
Приложение П Микрометрический нутромер НМ	73
Приложение Р Микрометрические глубиномеры типа ГМ	74
Приложение С Индикаторная скоба СИ	75
Приложение Т Инструментальный микроскоп ММИ-2	77
Приложение У Допускаемые погрешности измерений в зависимости от допусков	79
ЛИТЕРАТУРА	81

Лабораторная работа ПЭ1

ВЫБОР ТРЕБУЕМОГО КОЛИЧЕСТВА НАБЛЮДЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЗАДАННОЙ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ

1 Цель работы

- 1 Изучить основные этапы обработки измерений по минимуму данных об объекте и на основании избыточных измерений.
- 2 Изучить методы обеспечения точности начального приближения.
- 3 Практически определить необходимое количество измерений для минимального приближения.
- 4 Исследовать точность проведения измерений в зависимости от количества наблюдений.

2 Краткие теоретические сведения

2.1 Обработка результатов наблюдений по минимуму данных

Задача обработки измерений сводится к получению сведений об интересующем нас предмете или явлении на основании данных, известных из опыта. Чаще всего целью обработки измерений является определение значений ряда физических параметров, характеризующих объект наблюдения с количественной стороны. В некоторых случаях обработка производится с целью проверки той или иной статистической гипотезы в отношении изучаемого явления. В частности, одной из таких задач является задача классификации, т.е. разделения полученных измерений на группы по признаку их принадлежности к тому или иному объекту. В качестве дополнительной задачи иногда ставится цель определения параметров, характеризующих измерительную аппаратуру (например, класса точности прибора, источников инструментальных погрешностей и т.д.).

Процесс обработки измерений можно условно разделить на два этапа: определение неизвестных параметров по минимуму данных и обработка избыточных измерений. Эти два этапа тесно связаны и дополняют друг друга, хотя в отдельных случаях обработка может состоять лишь из какого-либо одного этапа (либо только первого, либо только второго).

Суть обработки измерений по минимуму данных состоит в том, что из ряда полученных результатов наблюдений выбирают минимальное количество результатов – ровно столько, сколько необходимо для однозначного определения неизвестных параметров с заданной точностью.

В ряде случаев для достижения конкретной цели эксперимента бывает достаточно начального приближения. Тогда можно ограничить обработку только первым этапом и провести минимальное количество наблюдений, допустимое в данной измерительной задаче. Иногда, однако, начального приближения бывает недостаточно, и тогда необходимо приступать к обработке избыточного числа

измерений, минуя первый этап. В отличие от обработки измерений по минимуму данных, тесно связанной со специфическими особенностями поставленной физической задачи, обработка избыточных измерений при наличии хорошего начального приближения довольно универсальна и мало зависит от физической сущности задачи. Особенности, возникающие при обработке избыточных измерений, связаны, главным образом, с характером предположений, которые делаются относительно плотности распределения результатов измерений и суммарных невязок.

Определение неизвестных параметров по минимуму данных является лишь первым этапом решения задачи обработки результатов наблюдений. Избыточные измерения позволяют существенно повысить точность и достоверность результатов, полученных по минимуму данных.

Эффективность эксперимента определяется не только точностью результата, но и затратами, которые потребовались для ее достижения. В этом плане задача экспериментатора состоит в разработке путей предельной экономии затрат по следующим направлениям:

- использование предельно упрощенных математических моделей исследуемых явлений;
- предельное сокращение числа экспериментальных точек.

Число измерений n зависит как от требований к точности измерений, так и от реальной возможности повторения этих измерений. Оно определяется значимостью случайных погрешностей по сравнению с пределом допускаемой погрешности.

Уровень значимости – это вероятность ошибки первого рода, т.е. когда отвергается верная гипотеза из-за ошибки принятия решения при анализе опытных данных. Если принимается неверная гипотеза, то можно говорить об ошибке первого рода. Требования к числу измерений n определяют из выражения

$$n \geq \frac{t^2(q, n) \cdot S^2}{D_D^2}, \quad (1.1)$$

где $t(q, n)$ – квантильное распределение;

q – уровень значимости;

S – среднеквадратическое отклонение группы результатов измерений.

Число измерений увеличивают при наличии существенных систематических погрешностей с целью их перевода в разряд случайных погрешностей. При наличии и неисключенных систематических, и случайных погрешностей n будет определяться отношением

$$\frac{S_{\text{сист}}}{S_{\text{случ}}} = g, \quad (1.2)$$

а также требованием к точности результата измерения.

2.2 Оптимальный выбор точности средств измерений в зависимости от соотношения диффузности объекта и погрешности измерений

Разброс экспериментальных данных вызывается не только погрешностями средств измерений (СИ) и остаточной неадекватностью принятой модели, но и невоспроизводимостью от опыта к опыту самого исследуемого явления. В связи с этим разброс исходных данных Δ будет складываться из трех составляющих:

- диффузности объекта измерений Δ_0 ;
- погрешности адекватности модели Δ_M ;
- погрешности СИ $\Delta_{СИ}$:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_0^2 + \Delta_M^2 + \Delta_{СИ}^2}. \quad (1.3)$$

Это наиболее общая формула для суммирования составляющих погрешностей. Более строгие методы суммирования приводятся в курсе теоретической метрологии.

Для рационального выбора самого СИ и его погрешности важно ее соотношение с суммарной погрешностью объекта и модели:

$$\Delta_{ОМ} = \sqrt{\Delta_0^2 + \Delta_M^2}. \quad (1.4)$$

Пусть модель выбрана так, что она является достаточно адекватной, т.е. $\Delta_M \ll \Delta_0$; $\Delta_M \ll \Delta_{СИ}$.

В этом случае можно пренебречь размером Δ_M ($\Delta_M \approx 0$). При этом если погрешность СИ намного меньше погрешности разброса данных ($\Delta_{СИ} \ll \Delta_0$), то $\Delta \approx \Delta_0$. Чтобы усреднить этот разброс при указанных условиях, необходимо произвести большое количество отсчетов; кроме того, более точная аппаратура требует и больших затрат времени на каждое измерение.

Для нахождения оптимального соотношения между Δ_0 и $\Delta_{СИ}$ необходимо уменьшать погрешность аппаратуры до тех пор, пока не станет выполняться равенство

$$\Delta_0 = \frac{\Delta_{СИ}}{3}. \quad (1.5)$$

После этого момента при уменьшении $\Delta_{СИ}$ результирующая погрешность будет оставаться неизменной, а затраты времени на проведение измерений будут меньше. Следовательно, эффективность эксперимента будет возрастать. При дальнейшем снижении погрешности СИ единственным путем повышения эффектив-

ности эксперимента остается статистическая обработка многократных отсчетов, и в этом случае, как это ни парадоксально, повышение эффективности эксперимента может быть достигнуто только путем снижения точности используемых средств измерений.

Если же погрешность СИ приблизительно равна погрешности диффузности объекта ($\Delta_{СИ} \approx \Delta_0$), то $\Delta = \sqrt{2} \Delta_{СИ} = 1,4 \cdot \Delta_0$. Погрешность измерения возрастает на 40 % по сравнению с предыдущим случаем. При проведении многократных измерений и их усреднении влияние $\Delta_{СИ}$, и погрешности из-за диффузности результатов измерений уменьшится в \sqrt{n} раз:

$$s_x = \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot s_{\bar{x}}, \quad (1.6)$$

где n – количество наблюдений.

Следовательно, статистическая обработка результатов измерений весьма эффективна. При этом случайная погрешность уменьшается, а систематическая погрешность остается неизменной.

И наконец, если погрешность СИ намного больше погрешности диффузности объекта измерений ($\Delta_{СИ} \gg \Delta_0$), то $\Delta \approx \Delta_{СИ}$, а следовательно, достаточно провести измерение один раз. Если значение результирующей погрешности полностью устраивает экспериментатора, то нет необходимости в многократных измерениях и их статистическом усреднении. Если необходимо снизить погрешность, то целесообразность проведения многократных наблюдений или замена СИ более точными определяется путем специальных дополнительных исследований.

Следовательно, для обеспечения большей эффективности эксперимента нет смысла уменьшать случайную погрешность СИ больше чем до $\Delta_0 / 3$, а объем выборки усредненных наблюдений целесообразно увеличивать только до тех пор, пока величина $\sqrt{\Delta_{СИ}^2 + \Delta_0^2} / \sqrt{n}$ не будет сопоставима с погрешностью адекватности модели явления или систематической погрешностью СИ.

2.3 Зависимость точности достигаемого результата от времени измерения

При полном отсутствии систематических погрешностей и абсолютной независимости отсчетов между собой можно считать, что с увеличением числа усредняемых отсчетов n точность измерения возрастает. Приведенная погрешность измерительного канала равна

$$g_k = g_{сл} + g_{сист} \cdot \quad (1.7)$$

Число усредняемых отсчетов принимается равным n с учетом общих затрат времени на их получение. Если измеряемая величина меняется со временем (допустим, по гармоническому закону), то присутствует и динамическая погрешность γ_d . Она тоже будет иметь систематический характер.

Одной из составляющих динамической погрешности является погрешность из-за времени установления показаний $\gamma_{д.уст}$. Время установления показаний определяется как время, по истечении которого приведенная динамическая погрешность при ступенчатом входном воздействии равна 1 % независимо от класса точности прибора. Она будет отрицательной. Для заданного времени эта погрешность является систематической и должна суммироваться с систематической погрешностью измерительного канала $\gamma_{сист}$.

Второй составляющей будет динамическая погрешность от усреднения мгновенных отсчетов синусоидального процесса $\gamma_{д.уср}$. Она возрастает с увеличением времени усреднения, отрицательна и приводит к уменьшению амплитуды сигнала.

В этом случае погрешности от времени установления показаний и времени усреднения суммируются:

$$g_d = g_{д.уст} + g_{сист}. \quad (1.8)$$

Систематическая погрешность измерительного канала $\gamma_{сист}$ может быть положительной или отрицательной в разных частях диапазона. Тогда суммарная приведенная погрешность носит систематический характер и равна

$$g_S = \sqrt{g_d^2 + g_{сист}^2} \quad (1.9)$$

При усреднении случайная погрешность канала убывает как $\gamma_{сл} / \sqrt{n}$. Тогда для результирующей погрешности (в процентах) получим

$$g_k = \frac{g_{сл}}{\sqrt{n}} + g_S. \quad (1.10)$$

Следовательно, повышение точности будет возможно лишь в ограниченном диапазоне числа усредняемых отсчетов.

2.4 Оптимальная эффективность эксперимента с учетом затрат времени на его подготовку

В качестве формального критерия эффективности эксперимента принимают отношение затрат к размеру достигаемого эффекта. Установленная таким образом

эффективность должна быть постоянной для любого измерения, сколько бы их ни проводилось.

Зависимость формального критерия A , например требуемой точности, от времени измерения t в идеале является линейной. В реальности же она имеет нелинейный характер, но является монотонно возрастающей.

При фактической зависимости эффективности от времени при малых значениях времени (t_1) достигается значение эффективности $E_1 = A_1 / t_1$, а при больших затратах времени – значение $E_2 = A_2 / t_2$. Следовательно, максимально возможное значение эффективности – это касательная к реальной зависимости. В точке касания, расположенной на участке от t_1 до t_2 , определяется оптимальное время измерения t_{onm} , которому соответствует оптимальный эффект (A_{onm}).

При увеличении затрат времени от t_1 до t_{onm} эффективность затрат возрастает существенно, а при увеличении затрат времени от t_{onm} до t_2 медленно, и, следовательно, эффективность будет уменьшаться.

Затраты времени на получение результата складываются из двух составляющих:

- времени на подготовку эксперимента t_n ;
- времени, необходимого для получения отсчета $t_o = n \cdot t_{oi}$, где n – количество отсчетов, t_{oi} – время получения i -го отсчета.

Отказ от проведения подготовительных операций приводит к существенному увеличению систематических и прогрессирующих погрешностей, а отказ от многократных измерений – к увеличению случайной составляющей погрешности.

С учетом t_n и t_o результирующая эффективность эксперимента будет определяться как

$$E = \frac{A}{t_n + t_o}. \quad (1.11)$$

Обычно реальную кривую аппроксимируют степенной функцией вида $A = a \cdot t^\alpha$.

Эффективность характеризует наклон касательной к оси времени:

$$\frac{dA}{dt} = a \cdot \alpha \cdot t^{\alpha-1} = \frac{A}{t_n + t_{onm}}. \quad (1.12)$$

В результате время на проведение эксперимента

$$t_n = t_{onm} \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right). \quad (1.13)$$

Это соотношение соответствует только случаю, когда размер случайной погрешности известен заранее. Если случайная погрешность заранее не известна и вычисляется по данным того же эксперимента, то доверительный интервал $\Delta = t(n)\sigma$. Здесь $t(n)$ – квантильный коэффициент, зависящий от количества измерений n . В этом случае точность будет определяться из соотношения

$$g = \frac{t(n)}{\sqrt{n}} \cdot S . \quad (1.14)$$

На практике получается, что при количестве измерений меньше трех точность возрастает как n^3 , а при $n > 5$ она приближается к зависимости \sqrt{n} .

Следовательно, распространенное мнение, что усреднение двух, трех или пяти отсчетов не является целесообразным, является ошибочным, так как на этом участке происходит самое крутое возрастание точности.

Особой строгости при определении оптимального объема выборки исходных данных не требуется, так как при планировании оптимального эксперимента речь идет лишь о выборе числа повторений всех отсчетов. Предпочтение следует отдавать большему значению количества наблюдений, близкому к оптимальному.

Оптимальные по эффективности затраты времени на измерения соответствуют наиболее эффективному плану проведения эксперимента, а достигаемая при этом точность усредненного результата существенно меньше максимально возможной. Следовательно, при необходимости достижения большей точности можно сознательно идти на большие затраты времени, жертвуя эффективностью эксперимента.

3 Приборы, используемые при выполнении работы

- 1 Источник питания универсальный.
- 2 Измеритель добротности Е4-7.
- 3 Прибор электроизмерительный комбинированный Ц4353.
- 4 Цифровой комбинированный прибор М92А.
- 5 Генератор гармонических сигналов Г4-117.
- 6 Вольтметр универсальный В7-38.
- 7 Осциллограф универсальный С1-117.
- 8 Генератор импульсов Г5-54.

Примечание – Конкретный прибор выбирается согласно варианту.

4 Описание лабораторной установки

Лабораторная установка выбирается в соответствии с вариантом работы в зависимости от конкретного используемого измерительного прибора.

5 Подготовка к выполнению работы

1 По рекомендуемой литературе детально изучить принципы и способы выбора количества измерений в зависимости от поставленной измерительной задачи.

2 По приложениям настоящего лабораторного практикума детально изучить устройство, принцип действия и порядок работы с измерительными приборами, перечисленными в пункте 3 (согласно варианту), а также методики проведения с их помощью измерений искомых параметров и оценки погрешностей полученных результатов измерений.

3 Ответить на контрольные вопросы.

4 Сделать заготовку отчета по лабораторной работе (одну на бригаду) в соответствии с требованиями настоящего лабораторного практикума.

6 Лабораторное задание

1 Провести три серии многократных косвенных измерений. Количество наблюдений и заданная точность приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Номер бригады (вариант)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n_1	10	12	13	9	15	12	5	10	11	3
n_2	20	18	22	25	22	24	18	25	19	15
n_3	40	40	35	38	33	40	42	30	39	45
$\delta, \%$	1	1,2	1,9	1,1	1,5	2,0	2,8	5	2,5	1,9

2 Определить минимальное количество наблюдений, необходимое для проведения эксперимента с заданной точностью.

3 Определить, как повлияет на точность эксперимента проведение избыточного количества наблюдений.

При обработке результатов наблюдений провести суммирование случайных и неисключенных систематических погрешностей измерений.

4 Сделать выводы относительно оптимального количества измерений.

5 Определить затраты времени на проведение измерений и сделать выводы относительно их влияния на эффективность эксперимента.

7 Порядок выполнения работы

1 Бригады №1, 2. Измерить сопротивление нагрузки методом амперметра-вольтметра с помощью приборов Ц4353 и М92А.

1.1 Тумблер лабораторного макета установить в положение «Подготовка к измерению». Ручку ПЛАВНО УСТАН. НАПРЯЖ. источника питания универсального повернуть влево до упора. Подготовить приборы Ц4353 и М92А к

измерению тока и напряжения соответственно. Установить переключатель «Нагрузка» в положение N , заданное в таблице 1.2.

1.2 Включить колодку «Схема 3. $R_{и}$. $I_r - U_r$ » в разъем лабораторного макета.

1.3 Тумблер лабораторного макета установить в положение «Измерение», выставить на источнике питания универсальном напряжение $U_{ин}$ (см. таблицу 1.2) и провести измерения тока I_r с помощью прибора Ц4353 и напряжения U_r с помощью прибора М92А. Результаты измерений занести в таблицу.

1.4 Повторить измерения сопротивления n раз. Значения n приведены в таблице 1.1. Обработать результаты измерения сопротивления $R_{и}$.

Таблица 1.2

Номер бригады (вариант)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номер нагрузки, N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{ин}$, В	10	11	13	14	15	12	12	13	14	15
$R_{и}$ при измерении тока, кОм	0,507	0,980	1,61	2,17	2,65	2,96	3,59	4,29	4,57	5,08
$R_{и}$ при измерении напряжения, кОм	76,5	111,6	130,3	170	220	273	362	526	750	907

Выходное сопротивление источника питания универсального R_0 составляет 110 кОм.

2 Бригады №3, 4. С помощью измерителя добротности Е4-7 измерить значения индуктивности катушки.

2.1 Подготовить к проведению измерений прибор Е4-7.

2.2 Выбрать из комплекта катушек прибора Е4-7 в качестве объекта измерения катушку индуктивности, номер которой указан в таблице 1.3.

Таблица 1.3

Номер бригады (вариант)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номер катушки	2	3	4	5	6	7	8	9	5	2

2.3 Выполнить измерения, для чего:

- подключить исследуемую катушку индуктивности к клеммам « L_x » прибора Е4-7;
- установить ручкой ПРЕДЕЛЫ Q наименьший предел;
- установить ручкой ЕМКОСТЬ pF минимальное значение емкости образцового конденсатора измерителя Е4-7 и, изменяя частоту генератора ручкой ЧАСТОТА кГц/МГц и переключателем поддиапазонов частоты, добиться резонанса. Отсчитать по шкале генератора значение частоты $f_в$. При зашкаливании стрелки индикатора резонанса увеличить предел измерения Q;
- установить максимальное значение емкости образцового конденсатора измерителя Е4-7 и аналогичным образом определить значение частоты $f_н$;
- выбрать в диапазоне ($f_в - f_н$) значение частоты $f_{изм}$ и откалибровать прибор;
- изменением значения емкости образцового конденсатора настроить контур в резонанс, изменяя при зашкаливании стрелки индикатора его чувствительность переключателем ПРЕДЕЛЫ Q;
- отсчитать полученное значение емкости образцового конденсатора C_0 , частоты резонанса $f_{изм}$ и рассчитать измеренное значение индуктивности L_x по формуле Томсона.

2.4 Повторить измерения индуктивности n раз. Значения n приведены в таблице 1.1. Обработать результаты измерений индуктивности L_x .

3 Бригады №5, 6. Провести многократные косвенные измерения коэффициента передачи четырехполюсника с помощью вольтметра В7-28 путем измерения переменных напряжений на входе и выходе четырехполюсника.

3.1 Тумблер включения макета М1 установить в выключенное положение, переключатель ПЗ – в положение МИ, переключатель ВХОД–ВЫХОД установить в положение ВХОД.

3.2 Установить на генераторе Г4-117 частоту f_m и напряжение U_2 , заданные в таблице 1.4.

Таблица 1.4

Номер бригады (вариант)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
f_m , кГц	20	60	30	10	40	30	50	40	60	10
U_2 , В	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0

3.3 Ручку УРОВЕНЬ макета М1 установить в крайнее левое положение. Перевести ручку УРОВЕНЬ в положение «1» и отсчитать показание вольтметра В7-28 U_{ex} в режиме автоматического выбора предела. Переключатель ВХОД–

ВЫХОД переключить в положение ВЫХОД и отсчитать показание вольтметра В7-28 $U_{вых}$ в режиме автоматического выбора предела. Значения $U_{вх}$ и $U_{вых}$ занести в таблицу. Переключатель ВХОД–ВЫХОД установить в положение ВХОД.

3.4 Повторить операции п. 3.3 n раз. Значения n приведены в таблице 1.1.

Обработать результаты косвенных многократных наблюдений и определить коэффициент передачи четырехполосника.

4 Бригады №7, 8. Провести многократные косвенные измерения коэффициента передачи макета с помощью осциллографа С1-117 путем измерения переменных напряжений на входе и выходе лабораторного макета.

4.1 Установить переключатель «№ точки» в положение «2». Режим работы осциллографа установить следующий: канал Б, вход открытый, синхронизация по каналу Б внешняя, развертка ждущая.

4.2 Установить на генераторе Г4-117 частоту f и напряжение U_1 , а на генераторе Г5-54 – напряжение U_2 , длительность и полярность импульса, заданные в таблице 1.5.

4.3 Произвести цифровые измерения напряжения импульса.

4.4 Повторить операции п. 4.3 n раз. Значения n приведены в таблице 1.1. Рассчитать значение коэффициента передачи макета, полагая входным напряжением напряжение U_2 , а выходным – напряжение, измеренное с помощью осциллографа.

Обработать результаты косвенных многократных наблюдений и определить коэффициент передачи макета.

Таблица 1.5

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
f , кГц	30,0	40,0	70,0	50,0	80,0	60,0	90,0	110	100	120	150
U_1 , В	0,5	0,4	0,1	0,3	0,2	0,15	0,45	0,25	0,55	0,35	0,5
U_2 , В	0,6	1,0	0,8	0,64	0,7	0,5	0,9	1,2	0,9	0,84	1,4
Длительность импульса (Г5-54), мкс	7,0	5,2	10,0	6,2	13,0	16,0	27,0	8,0	6,0	12,0	7,2
Полярность	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+

8 Содержание отчета

Требования к содержанию отчета изложены в приложении А.

9 Контрольные вопросы

- 1 Приведите алгоритм обработки косвенных многократных измерений.
- 2 От чего зависит точность получения результата измерения?
- 3 Чем руководствуются при выборе необходимого количества наблюдений?
- 4 Как классифицируются измерения по принципу их принадлежности к объекту измерений?
- 5 Назовите два этапа процесса обработки измерений.
- 6 В чем состоит суть обработки измерений по минимуму данных?
- 7 Что такое избыточные измерения?
- 8 Каковы особенности, возникающие при обработке избыточных измерений?
- 9 С какой целью применяются избыточные измерения?
- 10 Исходя из каких соображений выбирается необходимое количество наблюдений?

Лабораторная работа ПЭ2 МЕТОДИКА ВЫБОРА ЧИСЛА ОПОРНЫХ ТОЧЕК КРИВОЙ

1 Цель работы

1 Изучить методы планирования измерительного эксперимента с целью достижения требуемой точности измерения.

2 Исследовать зависимость точности построения характеристической кривой от числа точек, в которых проводятся измерения.

2 Краткие теоретические сведения

2.1 Выбор диапазона измерений

Совокупность вероятных значений измеряемой величины занимает некоторый участок числовой оси d_x , называемый *диапазоном изменения параметра*:

$$d_x = x_{\max} - x_{\min}, \quad (2.1)$$

где x_{\max} и x_{\min} – пределы изменения параметра.

Местоположение диапазона на числовой оси x фиксируется координатой нижней границы x_{\min} .

В большинстве случаев измерительные устройства имеют диапазоны измерения, отличающиеся от диапазонов изменения параметра в конкретной задаче как по абсолютным размерам, так и по положению на числовой оси. В тех случаях, когда диапазон измерения измерительного устройства меньше, чем диапазон изменения параметра, возникает задача согласования диапазонов.

Масштабирование и сдвиг диапазона по оси параметра, осуществляемые оператором перед проведением эксперимента, решают задачу согласования лишь в частных случаях: при небольших динамических диапазонах $D_x = x_{\max} / x_{\min}$ изменения параметра и при проведении измерений в статике. При больших динамических диапазонах изменения параметра потребуется многократное автоматическое масштабирование или изменение диапазона непосредственно в ходе эксперимента.

Определяя диапазон возможных значений измеряемых величин (информативных параметров), а также пределов шкалы измерительного устройства, можно выделить два понятия: *диапазон показаний* и *диапазон измерений* средства измерений.

Диапазон показаний средства измерений – это область значений шкалы прибора, ограниченная начальным и конечным значением шкалы.

Диапазон измерений средства измерений – это область значений величины, в пределах которой нормированы допускаемые пределы погрешности средства

измерений. Другими словами, это часть полного диапазона (диапазона показаний), в пределах которой удовлетворяются требования к точности измерений.

Диапазон показаний ограничивается снизу уровнем аддитивной составляющей погрешности, а сверху – максимальным значением, которое может быть измерено прибором; таким образом, рабочий диапазон – это совокупная характеристика, определяемая, с одной стороны, погрешностями средства измерений, а с другой, – требованиями к точности, которые выдвигаются конкретной измерительной задачей.

Точность измерительного устройства достаточно полно характеризуется аддитивной и мультипликативной составляющими погрешности. Их значения определяют распределение погрешностей по диапазону измерения. Результирующая погрешность

$$\Delta x = \sqrt{\Delta x_0^2 + 2 \cdot R \cdot \Delta x_0 \cdot g_s x + g_s^2 \cdot x^2}, \quad (2.2)$$

где Δx_0 – оценка аддитивной погрешности;

g_s – оценка относительного изменения чувствительности прибора;

R – коэффициент корреляции составляющих погрешности.

При слабой корреляционной связи составляющих погрешности результирующая погрешность описывается выражением

$$\Delta x = \sqrt{\Delta x_0^2 + g_s^2 \cdot x^2}. \quad (2.3)$$

Что касается требований к точности, то здесь нет такой определенности и однозначности. Требования к точности определяются задачами эксперимента, в рамках которого проводятся измерения, и должны задаваться критериями точности, соответствующими конкретной задаче.

Требования к точности часто задаются критериями вида

$$\Delta x \leq \Delta x_\delta, \quad (2.4)$$

где Δx_δ – наибольшее допустимое значение абсолютной погрешности.

Для некоторых измерительных задач достаточно выполнить условие (2.4). Но требования к точности не исчерпываются указанием допустимой погрешности. В большом числе задач важно оценивать относительные погрешности. Тогда требование к точности задается критерием вида

$$\Delta x/x \leq \delta_\delta, \quad (2.5)$$

где δ_δ – допустимая относительная погрешность.

На характер требования к точности большое влияние оказывает вид последующей обработки результатов измерений. В процессе обработки результаты могут быть подвергнуты различным вычислительным операциям. Каждая вычислительная операция выдвигает вполне определенные требования к характеру погрешностей входных величин вычислителей. Так, операции суммирования и вычитания требуют одинакового порядка малости абсолютных величин погрешностей входных сигналов, т.е. связаны с оценкой величин абсолютных погрешностей. Операция интегрирования требует малости интегральных оценок погрешностей сигналов. Применение других вычислительных операций также приводит к конкретным требованиям к точности измерений.

Специфика применения универсальных измерительных устройств и составных преобразователей информационно-измерительных систем приводит к особым условиям оценки точности измерения. От эксперимента к эксперименту, от канала к каналу здесь могут меняться диапазоны изменения измеряемых величин, требования к точности и сам характер требований. При этом возникают трудности при оценке точности измерений предельными значениями. Применительно к рассматриваемым устройствам представляется целесообразным оценивать точность всего массива производимых измерений. Искажения массива измерений за время эксперимента характеризует интегральная оценка в виде суммарной квадратичной погрешности

$$S^2 = \int_0^T (x - x_0)^2 dt, \quad (2.6)$$

где T – интервал наблюдений.

Существенным недостатком такой оценки является невозможность априорного определения величины σ .

Иногда для оценки точности воспроизведения применяется критерий, близкий к (2.6) и характеризующий средний квадрат погрешности:

$$\overline{e^2(t)} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T e^2(t) dt, \quad (2.7)$$

где $e(t)$ – текущее значение погрешности.

В допущении, что помехи являются стационарными эргодическими процессами, для которых усреднение по времени и усреднение по совокупности совпадают, можно модифицировать критерий (2.7) следующим образом:

$$\overline{e^2} = \int_{-\infty}^{+\infty} e^2 p(e) de, \quad (2.8)$$

где ε – величина случайной погрешности;
 $p(\varepsilon)$ – плотность вероятности случайной погрешности.

Непосредственно плотность вероятности случайной погрешности обычно не бывает известна, но она может быть определена через плотность вероятности составляющих погрешности и плотность вероятности сигнала. Эта задача связана с определением плотности вероятности суммы составляющих погрешности, одна из которых (мультипликативная) меняется по диапазону.

Наиболее удобна с точки зрения получения оценки точности измерений еще одна модификация критерия, основанная на допущении, что сигнал и помехи – стационарные эргодические процессы. Это усредненный по параметру второй начальный момент погрешности

$$\overline{D_0(\Delta x, x)} = \int_x D_0(\Delta x_T, x) p(x) dx, \quad (2.9)$$

где $D_0(\Delta x_T, x)$ – второй начальный момент погрешности.

В случаях, когда накладываются ограничения на абсолютные величины погрешностей, их можно оценить следующим образом:

$$\overline{Dx^2} = \int_x Dx^2 p(x) dx, \quad (2.10)$$

где $\overline{\Delta x^2}$ – квадрат оценки погрешности, усредненной по параметру.

Применительно к задачам, в которых выдвигаются требования к относительным погрешностям, применяется критерий, имеющий аналогичную конструкцию:

$$\overline{\Delta x^2 / x^2} = \int_x \frac{\Delta x^2}{x^2} p(x) dx, \quad (2.11)$$

где $\overline{Dx^2 / x^2}$ – квадрат относительной погрешности, усредненный по параметру.

Критерии (2.10) и (2.11) применимы также для сравнения измерительных устройств, так как они позволяют оценить точность всего массива произведенных измерений.

Критерии точности выбираются в соответствии с характером решаемых измерительных задач. Наибольшее практическое применение находят критерии (2.4), (2.5), ограничивающие сверху абсолютную и относительную погрешности, а также критерии усредненных по параметру квадратов абсолютных и относительных погрешностей (2.10) и (2.11).

Критерии (2.10) и (2.11) универсальны и могут быть использованы для оценки точности измерительных устройств самостоятельно и в сочетании с предельными критериями (2.4), (2.5). При удовлетворении предельных условий (2.4), (2.5) желательно иметь минимум соответствующей усредненной по параметру оценки (2.10), (2.11). При этом будет учитываться распределение погрешностей и измеряемой величины по диапазону.

В зависимости от требуемой точности измерения преобразования размеров рабочих диапазонов также будут носить различный характер для одного и того же распределения погрешностей по диапазону. Наиболее четко характер ограничения размеров рабочего диапазона проявляется при рассмотрении требований к точности вида (2.4) и (2.5). Если погрешность характеризуется суммой аддитивной и мультипликативной составляющих, а требованиями ограничивается величина абсолютных погрешностей, то выполняется неравенство

$$\Delta x_0^2 + g_S^2 \cdot x^2 \leq \Delta x_\delta^2. \quad (2.12)$$

В начале диапазона при малых x погрешность определяется аддитивной составляющей. По мере увеличения x вес мультипликативной составляющей погрешности увеличивается. В верхней части диапазона погрешность в основном определяется мультипликативной составляющей (рисунок 2.1).

При таком задании погрешностей характерно следующее: нижние границы рабочего x_1 и полного $x_{мин}$ диапазонов совпадают; верхняя граница рабочего диапазона x_2 определяется мультипликативной составляющей погрешности; рабочий диапазон будет тем ближе к полному, чем меньше мультипликативная составляющая погрешности.

Если погрешность характеризуется суммой аддитивной и мультипликативной составляющих, а требованиями к точности ограничиваются относительные погрешности, то должно выполняться неравенство

$$Dx_0^2 / x^2 + g_S^2 \leq g_\delta^2. \quad (2.13)$$

При наличии этого ограничения имеет место следующее: верхние границы рабочего x_2 и полного $x_{мин}$ диапазонов совпадают; нижняя определяется аддитивной составляющей погрешности; рабочий диапазон тем ближе к полному, чем меньше аддитивная составляющая погрешности.

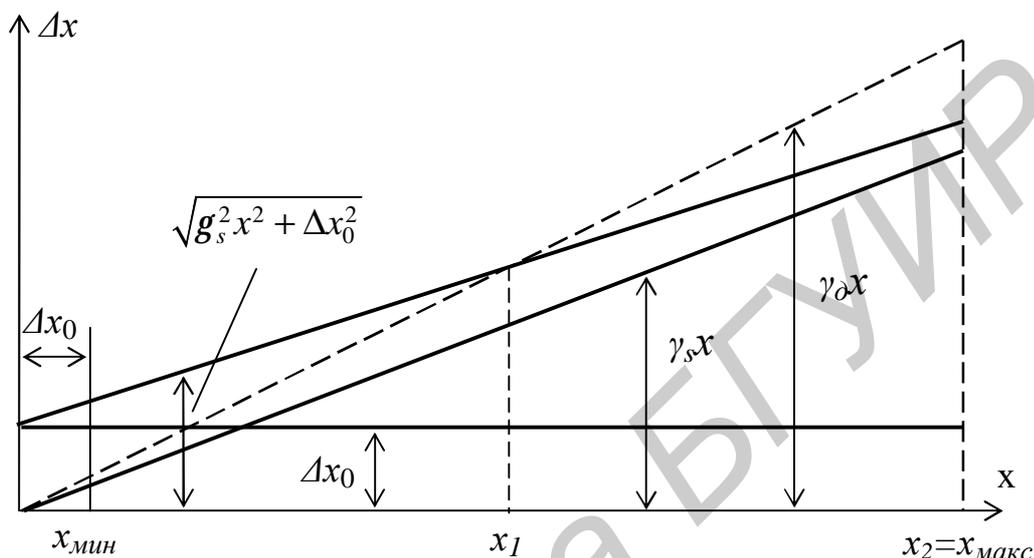


Рисунок 2.1 – Определение рабочего диапазона по допустимой абсолютной погрешности

Как видно из проведенного анализа, характер ограничений для этих двух случаев прямо противоположен. Отсюда можно сделать следующие выводы: размер рабочего диапазона зависит от динамического диапазона измерительного устройства и от соответствия функции, описывающей область рассеивания погрешностей, требованиям к точности. Предпосылками увеличения размеров рабочего диапазона являются изменение соотношения между аддитивной и мультипликативной составляющими погрешности с целью приближения рабочего диапазона к полному и увеличение полного диапазона.

Если необходимо построить градуировочную или какую-либо другую экспериментальную кривую с большей точностью, то желательно сделать большое число измерений или сверок, чтобы уменьшить случайные погрешности. Общее число измерений определяется различными факторами и ограничивается соображениями трудоемкости.

Чтобы правильно определилась форма кривой, считают, что для главной кривой достаточно 10–15 точек. Чем будет определяться точность ординат? С точки зрения математики, наиболее точно проведенная кривая – та, по отношению к которой сумма квадратов отклонений точек в большую и меньшую сторону

минимальна. Погрешность будет пропорциональна среднеквадратическому разбросу и обратно пропорциональна квадратному корню из числа измерений n .

На практике при аппроксимации зависимости трудно провести плавную кривую так, чтобы сумма квадратов отклонений была минимальной. Чем больше ошибка в выборе аппроксимирующей кривой, тем больше будет разброс. Поэтому теоретически лучше взять не 100 точек, только один раз проверенных, а только 10, но проверенных десятикратно, т.к. у этих 10 точек отклонения будут в \sqrt{n} раз меньше.

При построении градуировочной таблицы лучше иметь опорные точки, многократно проверенные, хотя и меньшее их число.

2.2 Правила построения графиков

Определенному классу точности прибора соответствует определенный размер графика. Например, если прибор имеет класс точности 1,0, то наибольшая погрешность прибора составляет не более 0,01 от предела измерения. Следовательно, размер графика должен быть не более $2 \cdot 100 / 1,0 = 200$ мм (или в крайнем случае 160 мм).

Если же прибор имеет класс точности 2,5, то желательный размер графика будет $2 \cdot 100 / 2,5 = 80$ мм (но не менее 64 мм).

Если прибор имеет класс точности 0,5, то график должен иметь следующий размер: $2 \cdot 100 / 0,5 = 400$ мм (не менее 320 мм).

Если график имеет большой размер, то пользоваться им неудобно. Если же уменьшить размер графика, то будет вноситься дополнительная погрешность. В данном случае рациональным будет график с перенесенным масштабом (рисунок 2.2), когда сетка переносится с осей непосредственно на график. Этим достигается определенная компактность и удобство использования без внесения дополнительной погрешности.

Для многопредельных приборов строят несколько кривых в разных масштабах.

Для приборов с высоким классом точности (0,01 и выше) существует два способа обеспечения удобства пользования не в ущерб точности. Первый – это замена графика числовой таблицей. Промежуточные значения величин при этом находят с помощью интерполяции. Второй – это разбиение кривой на несколько отрезков и расположение их друг за другом (рисунок 2.3). Значения величин на концах каждого отрезка определяются на основании сверки с эталоном.

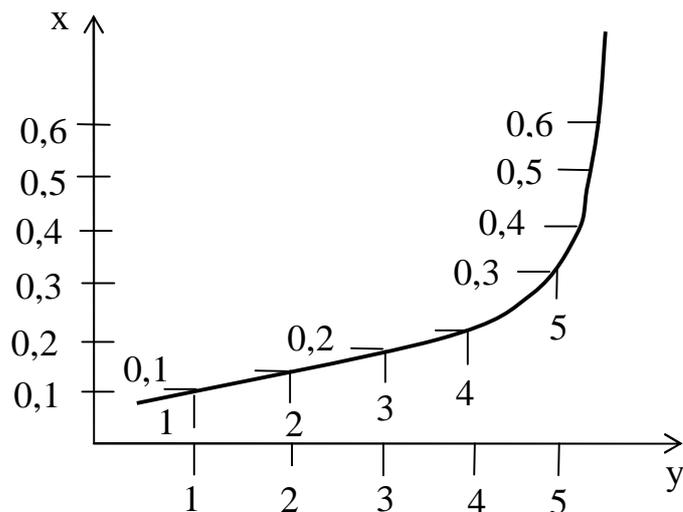


Рисунок 2.2 – График с перенесённым масштабом

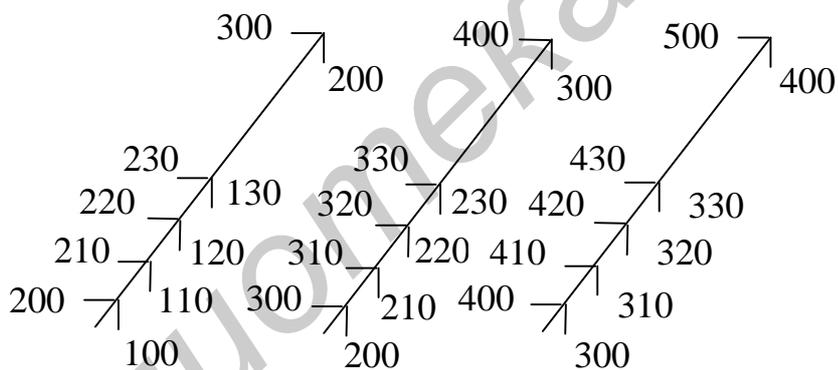


Рисунок 2.3 – Пример разбиения графика на несколько участков

3 Приборы, используемые при выполнении работы

- 1 Источник питания универсальный.
- 2 Измеритель добротности Е4-7.
- 3 Прибор электроизмерительный комбинированный Ц4353.
- 4 Генератор гармонических сигналов Г4-117.
- 5 Вольтметр универсальный В7-38.
- 6 Осциллограф универсальный двухканальный С1-117.
- 7 Магазин сопротивлений МСР-63.

Примечание – Конкретный прибор выбирается согласно варианту.

4 Описание лабораторной установки

Лабораторная установка выбирается в соответствии с вариантом работы в зависимости от конкретного используемого измерительного прибора.

5 Подготовка к выполнению работы

1 По рекомендуемой литературе изучить принципы планирования количества измерений в зависимости от поставленной измерительной задачи.

2 По приложениям детально изучить устройство, принцип действия и порядок работы с измерительными приборами, перечисленными в разделе 3 (согласно варианту), а также методики проведения с их помощью измерений искомых параметров и оценки погрешностей полученных результатов измерений.

3 Ответить на контрольные вопросы.

4 Сделать заготовку отчета (одну на бригаду) по лабораторной работе в соответствии с требованиями настоящего лабораторного практикума.

6 Лабораторное задание

1 Провести однократные измерения в 100 точках в заданном диапазоне. Построить график зависимости.

2 Провести десятикратные измерения в десяти точках в заданном диапазоне измерения. Построить график зависимости.

3 Оценить погрешность аппроксимации обеих зависимостей.

4 Сделать выводы относительно оптимального количества измерений.

7 Порядок выполнения задания

1 Бригады №1, 2. Измерить емкость образцового конденсатора C_0 в диапазоне резонансных частот катушек №4 (вариант 1) и №6 (вариант 2). Построить график зависимости емкости образцового конденсатора от резонансной частоты.

2 Бригады №3, 4. Измерить переменные напряжения с помощью вольтметра В7-28. Диапазон изменения выходного напряжения генератора Г4-117 100 мВ – 3 В. Частота 10 кГц (вариант 3) и 20 кГц (вариант 4). Построить график зависимости измеренного напряжения от напряжения на генераторе.

3 Бригады №5, 6. Измерить сопротивление, воспроизводимое магазином сопротивления МСР-63, с помощью прибора Ц4353. Диапазон изменения сопротивления 1 кОм – 100 кОм. Построить график зависимости измеренного сопротивления от сопротивления, воспроизводимого магазином сопротивлений.

4 Бригады №7, 8. Измерить переменные напряжения с помощью осциллографа (точка 1 макета). Диапазон изменения выходного напряжения генератора Г4-117 100 мВ – 3 В.

8 Содержание отчета

Требования к содержанию отчета изложены в приложении А.

9 Контрольные вопросы

- 1 Что понимают под диапазоном изменения параметра?
- 2 Что понимают под диапазоном измерения средства измерений?
- 3 Что понимают под диапазоном показаний средства измерений?
- 4 Чем снизу ограничивается диапазон показаний средства измерений?
- 5 Чем сверху ограничивается диапазон показаний средства измерений?
- 6 Каким критерием задаются требования к точности измерений?
- 7 Какие требования характеру погрешностей входных величин предъявляют проводимые вычислительные операции?
- 8 Какая оценка характеризует искажения массива измерений за время эксперимента?
- 9 Каким образом меняется вклад различных составляющих погрешности измерения по диапазону изменения измеряемого параметра?
- 10 От чего зависит размер рабочего диапазона средства измерений?
- 11 Чем определяется количество измерений, необходимых для минимизации случайной составляющей погрешности?
- 12 В каком случае экспериментальная кривая будет построена с большей точностью и будет точнее соответствовать конкретному процессу или явлению?
- 13 Сколько точек достаточно, чтобы правильно определить форму кривой?
- 14 Чем будет определяться точность ординат?
- 15 Чему будет пропорциональна погрешность аппроксимации?
- 16 Сколько точек рекомендуется иметь, чтобы построить градуировочную кривую?

Лабораторная работа ПЭЗ ОЦЕНИВАНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ

1 Цель работы

- 1 Изучить методы оценивания достоверности контроля.
- 2 Измерить заданные параметры деталей и определить их годность.
- 3 Оценить риск заказчика и риск изготовителя из-за наличия ошибок I-го и II-го рода.

2 Краткие теоретические сведения

2.1 Принципы проектирования и контроля изделий

Контроль – это процесс определения соответствия значения параметра изделия установленным требованиям или нормам. На первом этапе контроля получают информацию о фактическом состоянии некоторого объекта, о признаках и показателях его свойств, получая так называемую *первичную информацию*. На втором этапе контроля первичная информация сопоставляется с заранее установленными требованиями, нормами, критериями. При этом выявляется соответствие или несоответствие фактических данных требуемым. Информация об их расхождении называется *вторичной*. Она используется для принятия соответствующих решений по поводу объекта контроля. В ряде случаев граница между этапами контроля неразличима. При этом первый этап может быть выражен нечетко или практически не наблюдаться. Характерным примером такого рода является контроль размера детали калибром, сводящийся к операции сопоставления фактического и предельно допустимого значений параметров.

Составляющими контроля являются следующие действия:

- измерительное преобразование контролируемой величины;
- воспроизведение процедуры контроля;
- операции сравнения;
- определение результата контроля.

Процедура контроля тесно связана с измерением, близка к нему по своей информационной сущности и имеет ряд общих операций (например, сравнение, измерительное преобразование). Но в то же время результатом измерения является количественная характеристика, а результатом контроля – качественная; измерение осуществляется в широком диапазоне значений измеряемой величины, а контроль – обычно в пределах небольшого числа возможных состояний, с чем связана и специфика применяемых средств измерений; основной характеристикой качества процедуры измерения является точность, а процедуры контроля – достоверность.

Контроль классифицируется по ряду признаков.

В зависимости от числа контролируемых параметров можно отметить *однопараметровый контроль*, при котором состояние объекта определяется по

размеру одного параметра, и *многопараметровый*, при котором состояние объекта определяется размерами многих параметров.

По форме сравниваемых сигналов контроль подразделяется на *аналоговый*, при котором сравнению подвергаются аналоговые сигналы, и *цифровой*, при котором сравниваются цифровые сигналы.

В зависимости от вида воздействия на объект контроль подразделяется на *пассивный*, при котором воздействие на объект не производится, и *активный*, при котором воздействие на объект осуществляется посредством специального генератора тестовых сигналов.

Большое распространение получил допусковый контроль, суть которого состоит в определении путем измерения или испытания значения контролируемого параметра объекта и сравнении полученного результата с заданными граничными допустимыми значениями. Частным случаем допускового контроля является поверка средств измерений, в процессе которой исследуется соответствие погрешностей средства измерений допускаемым значениям.

Теория измерений основана на принципах проектирования средств технических измерений и контроля. К ним можно отнести следующие:

1 *Принцип Тейлора*. При наличии погрешностей формы и расположения геометрических элементов сложных деталей в соответствии с принципом Тейлора надежное определение соответствия размеров всего профиля предписанным предельным значениям возможно лишь в том случае, если определяются значения проходного и непроходного пределов. Следовательно, любое изделие должно быть проконтролировано по двум схемам: с помощью проходного и непроходного калибров по действительным значениям наибольшего и наименьшего размеров.

2 *Принцип Аббе*. В процессе сравнения контролируемых и образцовых штриховых мер на продольных и поперечных компараторах минимальные погрешности измерения возникают, если контролируемый геометрический элемент и элемент сравнения находятся на одной линии – линии измерения. Принцип Аббе справедлив лишь для поступательно перемещающихся элементов измерительной цепи. Его широко используют при выборе схем и конструировании средств измерений, при проектировании станков и т.п.

3 *Принцип инверсии* основывается на преемственности между тремя последовательными процессами, в которых участвует деталь: обработкой, контролем, эксплуатацией. Хотя при расчете погрешностей механизма и самой детали главное значение имеет эксплуатация, тем не менее анализ точности детали невозможен без совместного последовательного изучения всех фаз происхождения детали. Из принципа инверсии следует, что для определения погрешностей схема измерения должна соответствовать кинематической схеме изготовления, а также схеме функционирования детали, откуда вытекает условие правильности измерения. Измерение считается правильным, если:

1) траектория движения при измерении будет соответствовать траектории движения при изготовлении;

2) линия действия при измерении будет совпадать с линией действия при работе механизма (принцип Аббе);

3) базы измерения будут совпадать с конструкторской и технологической базами (правило единства баз).

Выбор средств измерений и контроля основывается на обеспечении заданных показателей процесса технического контроля и анализе затрат на реализацию процесса контроля. К обязательным показателям процесса контроля относят точность измерения, достоверность, трудоемкость, стоимость контроля.

Одной из важнейших задач планирования контроля является выбор оптимальной точности измерения контролируемых параметров. При завышении допускаемых погрешностей измерения уменьшается стоимость средств измерений, но увеличивается вероятность ошибок при контроле, что в конечном итоге приводит к потерям. При занижении допускаемых погрешностей стоимость средств измерений возрастает, вероятность ошибок контроля уменьшается, увеличивается себестоимость продукции

При выборе средств измерений их точность должна быть достаточно высокой по сравнению с заданной точностью выполнения измеряемого размера, а трудоемкость измерения и его стоимость – возможно более низкими, обеспечивающими наиболее высокие производительность труда и экономичность. Недостаточная точность измерения приводит к тому, что часть годной продукции бракуют, в то же время по той же причине другую часть фактически негодной продукции принимают как годную. Излишняя точность измерений, как правило, бывает связана с повышением трудоемкости и стоимости контроля качества продукции и ведет к удорожанию производства и ограничению выпуска продукции. Следовательно, существует некоторая оптимальная точность, соответствующая минимуму суммы потерь от брака и стоимости контроля.

2.2 Ошибки контроля. Риск заказчика и риск изготовителя

Любое выпускаемое изделие характеризуется целой группой различных по своей физической природе показателей или параметров. Для радиоизмерительных приборов ими могут быть, например, погрешность измерения или воспроизведения, например, частоты или напряжения; КСВН входа или выхода; коэффициенты преобразования; параметров формы сигналов и т.д.

Стандартом на термины и определения в области испытаний и контроля качества продукции понятие контроля трактуется как проверка соответствия показателей качества продукции установленным требованиям. Контроль, осуществляемый с применением средств измерения, называется *измерительным контролем*. Частным случаем измерительного контроля является допусковый контроль, при котором ставится задача установить, находится ли контролируемый параметр объекта контроля в пределах заданного допуска.

В соответствии с требованиями нормативных документов параметры приборов должны удовлетворять двум видам условий.

1 Двухсторонние допуски. Действительные значения параметров x_{∂} не должны выходить за некоторые допустимые пределы:

$$A \leq x_{\partial} \leq B. \quad (3.1)$$

Этим условиям должны удовлетворять прежде всего погрешности измерения или воспроизведения.

2 Односторонние допуски. Параметры x_{∂} не должны превышать некоторых допустимых значений:

$$x_{\partial} \leq C. \quad (3.2)$$

Такие требования предъявляются, например, к КСВН приборов, их входному сопротивлению, длительности фронтов и спаду вершин и т.д.

Решение о том, удовлетворяют ли параметры детали установленным требованиям, принимают по результатам измерений. При этом результаты измерений можно записать в виде

$$X_{i \text{ изм}} = x_i \pm \Delta_i, \quad (3.3)$$

где Δ_i – погрешность измерения.

При отсутствии погрешности измерения можно было бы принимать безошибочные решения о годности или негодности прибора в зависимости от того, удовлетворяет ли результат измерения условиям (3.1) и (3.2) или нет. При этом прибор считается годным, если условие (3.1) выполняется для всех параметров, и бракуется, если оно не выполнено хотя бы для одного из параметров.

Однако при ограниченной точности образцовых средств, используемых для контроля выпускаемых приборов, принять безошибочные решения невозможно. По результатам измерений можно оценивать лишь возможные действительные значения x_i . Распределение плотности вероятности действительного значения параметра x_i при условии, что результат измерения равен $x_{\text{изм}}$, можно записать в следующем виде:

$$w_i(x_i / x_{\text{изм}}) = \frac{w_i(x_i) \cdot q_i(x_{\text{изм}} - x_i)}{\int_{-\infty}^{+\infty} w_i(x_i) \cdot q_i(x_{\text{изм}} - x_i) dx_i} \approx q_i(x_{\text{изм}} - x_i), \quad (3.4)$$

где q_i – распределение плотности вероятности погрешности измерения i -го параметра;

w_i – распределение плотности вероятности контролируемого параметра.

Формула (3.4) записана в предположении, что погрешность измерения и действительное значение измеряемого параметра статистически независимы, а также что скорость изменения $w_i(x_i)$ достаточно мала. Это позволяет считать $w_i(x_i)$ постоянной на том интервале, на котором плотность распределения вероятности погрешности измерения отлична от нуля. Приближенное равенство становится точным, если любое значение контролируемого параметра является равновероятным, что предполагается при неизвестном виде $w_i(x_i)$.

Таким образом, из-за конечной точности средств измерений при контроле возможны ошибки двух видов:

- 1) признание годным прибора, который в действительности не является таковым;
- 2) забракование годного прибора.

Поскольку результат измерения является случайным, случайными являются и ошибки контроля, вследствие чего их можно описывать только вероятностными, статистическими характеристиками.

Результатом контроля является не число, а одно из взаимоисключающих утверждений:

- «контролируемая характеристика (параметр) находится в пределах допускаемых значений», результат контроля – «годен»;
- «контролируемая характеристика (параметр) находится за пределами допускаемых значений», результат контроля – «не годен» или «брак».

Результат контроля должен сопровождаться указанием показателей достоверности контроля.

Достоверность контроля – вероятность соответствия результатов контроля действительным значениям контролируемого параметра. В качестве оценок достоверности вводится понятие вероятности ошибок I и II рода.

Ситуация, когда в действительности годное изделие идентифицируется по результатам контроля как негодное, называется *ошибкой I рода*. Противоположная ситуация, при которой негодное изделие по результатам контроля принимается за годное, называется *ошибкой II рода*. Обозначив вероятность получения верного результата контроля P_g , а вероятность ошибки I и II рода соответственно P_I и P_{II} , можно записать

$$P_g = 1 - (P_I + P_{II}). \quad (3.5)$$

Если бы средство измерения не имело погрешностей, то, измеряя контролируемый параметр каждого из изделий, можно было бы абсолютно безошибочно отделить бракованные изделия, размер которых выходит за пределы допуска, от годных, т.е. обеспечить $P_g=1$. Однако в реальных условиях средство измерений обладает погрешностью, поэтому по результатам измерений часть бракованных изделий будет неправильно принята как годные. И наоборот, часть

годных изделий будет неправильно забракована. Таким образом, при осуществлении измерительного контроля возникает метрологическая проблема оценки влияния погрешности измерения контролируемого параметра на результаты контроля.

Ошибки I рода заказчика не интересуют, хотя в конечном итоге они могут повлиять на стоимость получаемых изделий. Они существенны для изготовителя, т.к. это увеличивает себестоимость продукции.

Ошибки II рода имеют значение главным образом для заказчика. Из-за неодинаковой значимости ошибок каждого вида для заказчика и изготовителя вероятностные величины, характеризующие ошибки II рода, называются *риском заказчика*, и ошибки I рода – *риском изготовителя*.

Риск заказчика R_z определяется для каждого изделия, признанного годным. Он не должен превышать допустимых значений $R_{z, доп}$. Риск заказчика – это вероятность того, что изделие, конкретные результаты измерения параметров которого $x_{изм}^{\zeta}$ удовлетворяют условию годности, не являясь годными. В этом случае

$$R_z(x_{1 изм}^{\zeta} \dots x_{n изм}^{\zeta}) = 1 - P[A_1 \leq x_1 \leq B_1, \dots, A_n \leq x_m \leq B_n / x_{1 изм}^{\zeta} = x_{n изм}^{\zeta}, \dots, x_{m изм}^{\zeta}].$$

$$R_{изз}(x_{1 изм}^{\zeta} \dots x_{n изм}^{\zeta}) = 1 - P[A_1 \leq x_{1 изм}^{\zeta} \leq B_1, \dots, A_n \leq x_{n изм}^{\zeta} \leq B_n / A_1 \leq x_1 \leq B_1, \dots, A_n \leq x_m \leq B_n].$$

Даже не конкретизируя вид математических выражений для риска заказчика и изготовителя, можно видеть, что с увеличением точности средств измерений риск заказчика и риск изготовителя уменьшаются.

Следовательно, располагая точными формулами или графиками, можно определить, какой должна быть точность средств измерений, чтобы риск и заказчика, и изготовителя имел приемлемые значения, и наоборот, по известным результатам контроля и степени точности применяемых средств измерений можно определить риски заказчика и изготовителя.

2.3 Приемочные границы с учетом допускаемых погрешностей измерения

Допускаемые погрешности измерения линейных размеров до 500 мм при приемочном контроле и правила определения приемочных границ с учетом этих погрешностей устанавливает ГОСТ 8.051-81 (приложение У). Допускаемые погрешности измерения включают в себя все составляющие, зависящие от средств измерений, калибровочных мер, температурных деформаций, базирования и т.д., а также случайные и неучтенные систематические погрешности измерения.

Случайная погрешность измерения не должны превышать 0,6 допускаемой погрешности измерения и принимается равной 2σ , где σ – значение среднего

квадратического отклонения погрешности измерения. При допусках, не соответствующих табулированным значениям, допускаемую погрешность выбирают по ближайшему меньшему значению допуска соответствующего размера.

Допускаемые погрешности измерений (δ) в зависимости от допусков IT приведены в таблице 1 приложения У.

Влияние погрешностей измерения на результаты измерения должно быть учтено при установлении приемочных границ – значений размеров, по которым производят приемочный контроль изделий. Приемочные границы устанавливаются совпадающими с предельными размерами или смещенными относительно них введением производственного допуска (уменьшение допуска). При введении производственного допуска значение смещения не должно превышать половины допускаемой погрешности измерения у каждой приемочной границы.

При арбитражной перепроверке принятых деталей погрешность измерения не должна превышать 30 % погрешности, допускаемой при приемочном контроле.

Среди принятых деталей допускается наличие до 5 % от перепроверяемой партии с отклонениями, выходящими за приемочные границы на значения, не превышающие половины допускаемой погрешности измерения при приемке, для квалитетов со 2-го по 7-й (или рядов допускаемой погрешности измерения с 1 по 6); до 4 % для квалитетов 8, 9 (или для рядов 7 и 8); 3 % – для квалитетов 10 и грубее (или для ряда 9 и грубее).

2.4 Влияние погрешности измерения на результаты разбраковки при приемочном контроле

Влияние погрешности при приемочном контроле оценивают следующими параметрами:

m – число деталей в процентах от общего числа измеренных, имеющих размеры, выходящие за предельные, и принятые в качестве годных (неправильно принятые);

n – число деталей в процентах от общего числа измеренных, имеющих размеры, не превышающие предельных, и забракованные (неправильно забракованные);

c – вероятностная величина выхода размеров за предельные у неправильно принятых деталей.

На рисунках 3.1–3.3 приведены значения параметров m , n и c при распределении контролируемых размеров по нормальному закону.

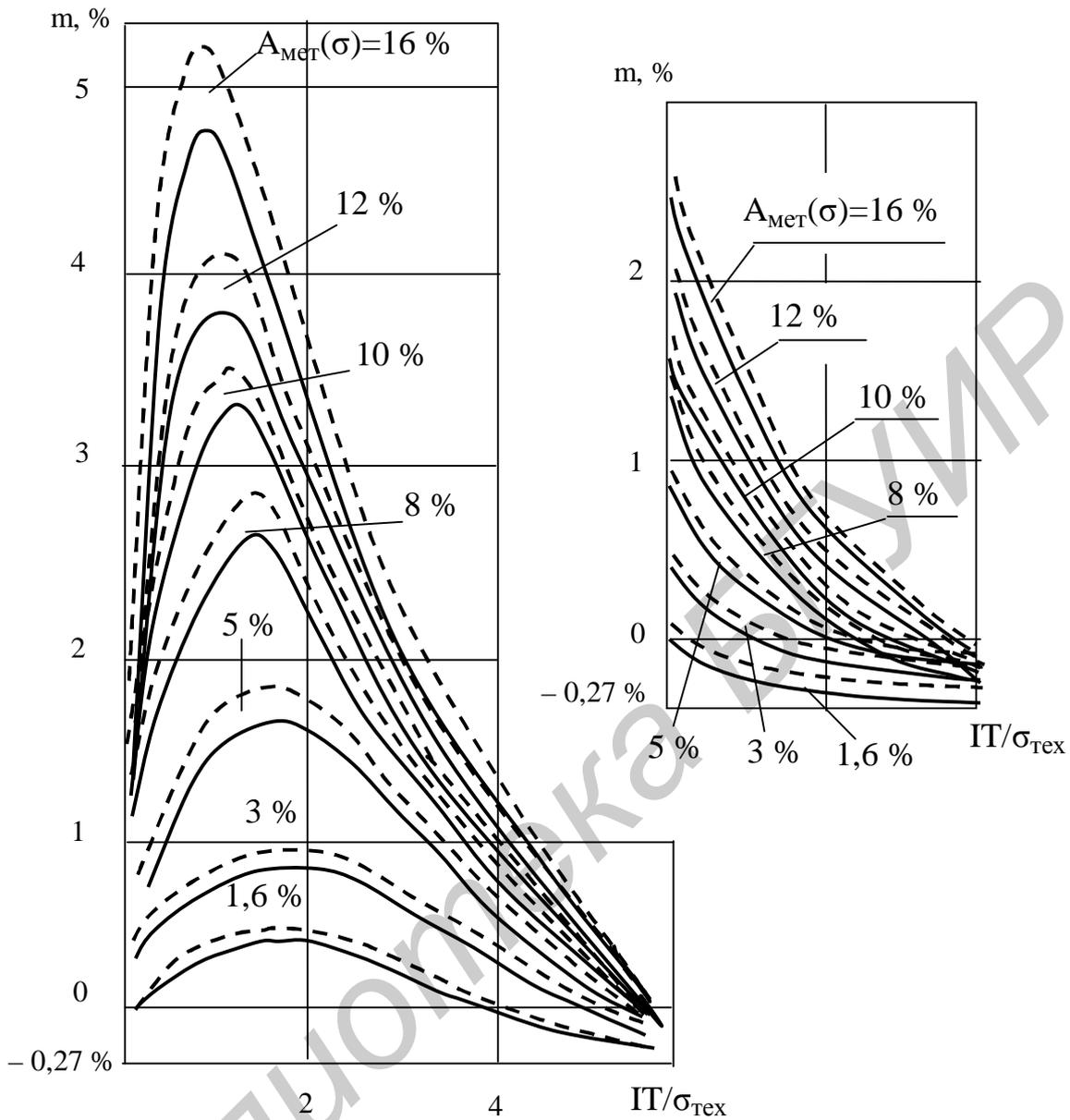


Рисунок 3.1 – Значения параметра m при распределении контролируемых размеров по нормальному закону

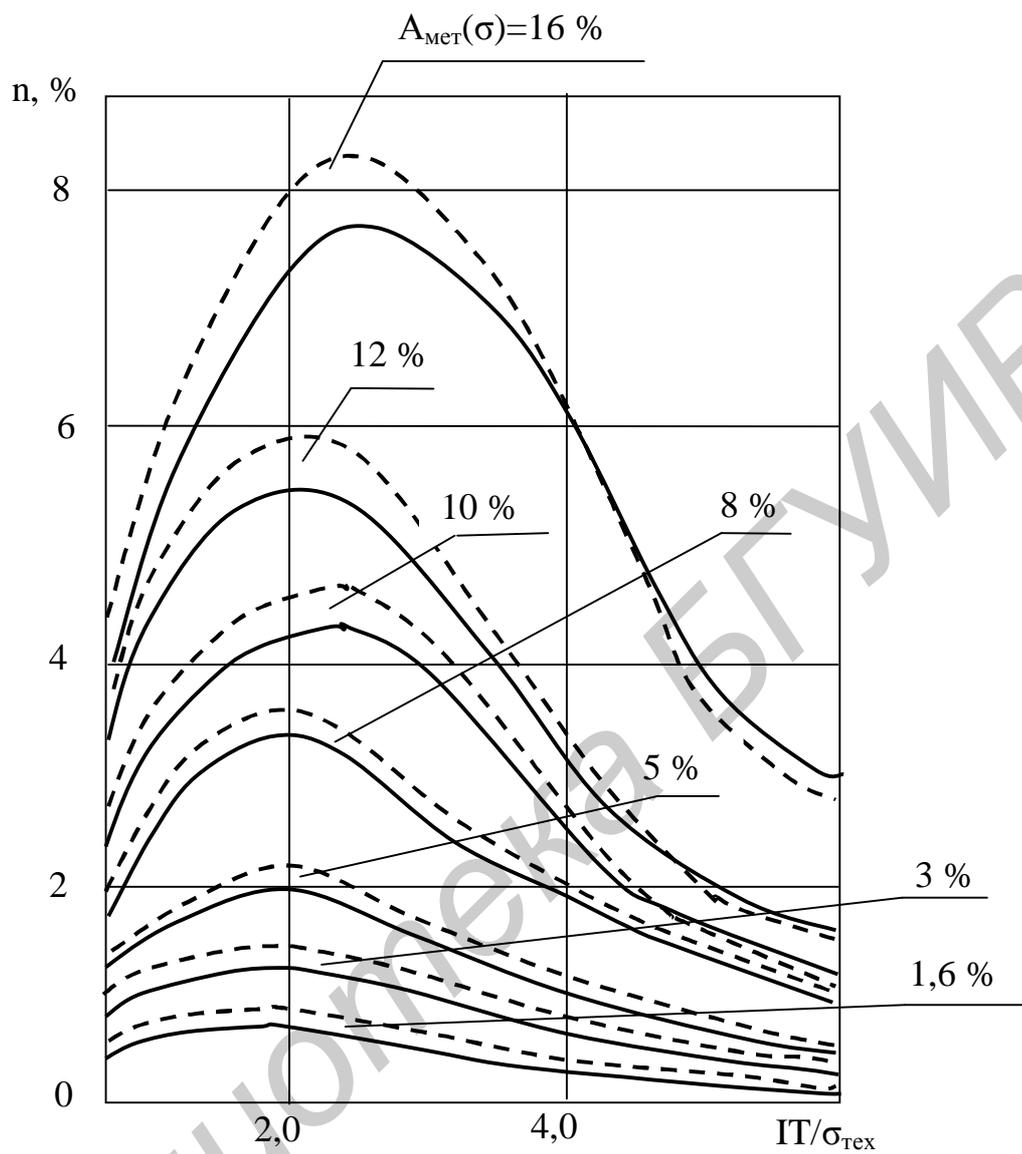


Рисунок 3.2 — Значения параметра n при распределении контролируемых размеров по нормальному закону

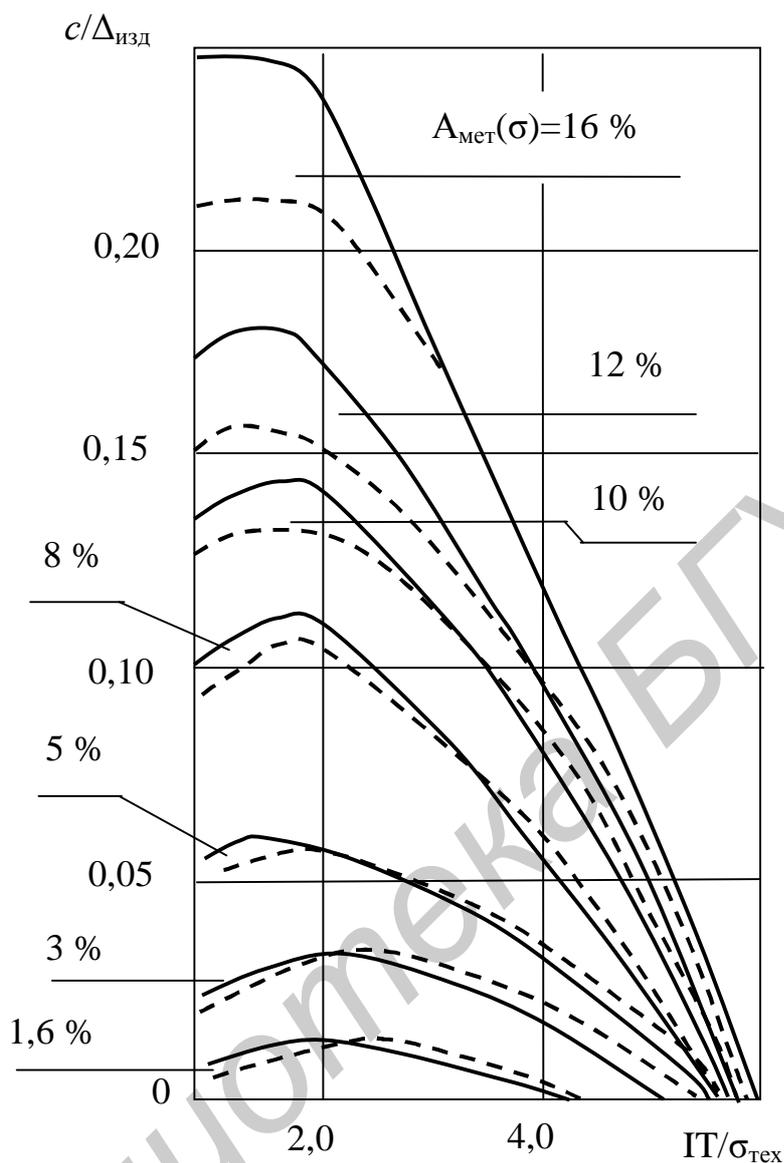


Рисунок 3.3 – Значения параметра c при распределении контролируемых размеров по нормальному закону

На рисунках 3.1–3.3 сплошные линии соответствуют распределению погрешности измерения по нормальному закону, а пунктирные – по закону равной вероятности.

При неизвестном законе распределения погрешностей измерения при нахождении параметров m , n и c рекомендуется выбирать средние из значений, определенных по сплошной и пунктирной линиям.

На графиках параметры m , n и c определены с доверительной вероятностью 0,9973 при симметричном расположении допуска относительно центра группирования контролируемых деталей. Для определения m с другой доверительной вероятностью необходимо сместить начало координат по оси ординат.

Значения $A_{мет(\sigma)}$ в координатах рисунков 3.1–3.3 определяют по формуле

$$A_{мет(s)} = \frac{S}{IT} \cdot 100, \quad (3.6)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение погрешности измерения;
 IT – допуск на контролируемый размер.

При определении параметров m , n и c рекомендуется принимать $A_{мет(\sigma)}$ равным 16 % для квалитетов 2–7, 12 % – для квалитетов 8 и 9 и 10 % – для квалитетов 10 и грубее.

На графиках σ_{mex} – среднее квадратическое отклонение погрешности изготовления.

Совместное влияние систематической и случайной погрешностей изготовления на параметры m и n определяют по рисункам 3.1 и 3.2, но вместо значения $\frac{IT}{S_{mex}}$ принимается для одной границы $\frac{IT + 2a_T}{S_{mex}}$, для другой – $\frac{IT - 2a_T}{S_{mex}}$, где a_T – систематическая погрешность изготовления.

При определении параметров m и n для каждой границы берут половину полученных значений.

Совместное влияние случайной и систематической погрешностей измерения (если последняя не исключается поправкой) на параметры m , n и c определяют по рисункам 3.1–3.3 при использовании следующих зависимостей:

$$m = \left[F_0 \left(\frac{IT + 2a_u}{2S_{mex}} \right) - F_0 \left(\frac{IT}{2S_{mex}} \right) \right] + \frac{m_{(IT+2a_u)}}{2} - \frac{n_{(IT+2a_u)}}{2}; \quad (3.7)$$

$$n = \left[F_0 \left(\frac{IT}{2S_{mex}} \right) - F_0 \left(\frac{IT + 2a_u}{2S_{mex}} \right) \right] + \frac{n_{(IT+2a_u)}}{2} - \frac{m_{(IT+2a_u)}}{2}; \quad (3.8)$$

$$c = c_{(IT+2au)} + a_u, \quad (3.9)$$

где a_u – систематическая погрешность измерения (со знаком плюс при расширении допуска и минус – при сужении);

$m_{(IT+2au)}$, $n_{(IT+2au)}$, $c_{(IT+2au)}$ – параметры при допуске, измененном на значение систематической погрешности измерения;

$F_{0(M)}$ – интегральная функция распределения погрешности изготовления.

При определении совместного влияния систематической и случайной погрешностей измерений следует использовать значения $A_{мет(\sigma)}$, определяемые по формулам:

$$A_{мет(s)} = \frac{s}{IT + 2|a|}; \quad (3.10)$$

$$A_{мет(s)} = \frac{s}{IT - 2|a|}; \quad (3.11)$$

где a – систематическая погрешность изготовления при использовании формул $\frac{IT + 2a_T}{s_{mex}}$ и $\frac{IT - 2a_T}{s_{mex}}$ или измерения при использовании формул (3.7)–(3.9).

Возможные предельные значения параметров m , n и c/IT , соответствующие экстремальным значениям кривых на рисунках 3.1–3.3, приведены в таблице 3.1. Здесь первые значения m и n соответствуют распределению погрешностей измерения по нормальному закону; вторые – по закону равной вероятности; предельные значения параметров m , n и c/IT учитывают влияние только случайной составляющей погрешности измерения.

Таблица 3.1

$A_{мет(\sigma)}$	$m, \%$	$n, \%$	C / IT
1,6	от 0,37 до 0,39	от 0,7 до 0,75	0,1
3	от 0,87 до 0,9	от 1,2 до 1,3	0,03
5	от 1,6 до 1,7	от 2,0 до 2,25	0,06
8	от 2,6 до 2,8	от 3,4 до 3,7	0,1
10	от 3,1 до 3,5	от 4,5 до 4,75	0,14
12	от 3,75 до 4,1	от 5,4 до 5,8	0,17
16	от 5,0 до 5,4	от 7,8 до 8,25	0,25

2.5 Приемочные границы с учетом погрешности измерения

Стандартом предусмотрено два способа установления приемочных границ.

1-й способ: приемочные границы устанавливают совпадающими с предельными размерами.

Зная размер и допустимые отклонения размера, устанавливают с учетом размера и допуска допускаемую погрешность измерения. Затем по таблице 3.1, задаваясь значением $A_{мет}(\sigma)$ (при допущении, что точность технологического процесса неизвестна), находят m и c , определяя тем самым процент неправильно принятых деталей среди годных. Если известно, что полученные данные не повлияют на эксплуатационные показатели детали, то на чертежах указывают предварительно выбранный квалитет точности. В противном случае выбирают более точный квалитет или другое поле допуска в этом квалитете.

2-й способ: приемочные границы смещают внутрь относительно предельных размеров.

При введении производственного допуска могут быть два варианта в зависимости от того, известна или не известна точность технологического процесса.

Вариант 1. При назначении предельных размеров точность технологического процесса неизвестна. В этом случае предельные размеры изменяются на половину допускаемой погрешности измерения.

Вариант 2. При назначении предельных размеров точность технологического процесса известна. В этом случае предельные размеры уменьшают на значение параметра c .

Таким образом, при разработке процедуры контроля выпускаемых приборов имеют место две примыкающие друг к другу задачи:

- 1) изучение влияния точности образцовых средств на достоверность контроля, которая характеризуется риском заказчика и изготовителя;
- 2) выбор контрольных допусков, отличающихся от нормативных и гарантирующих непревышение допускаемого риска заказчика.

3 Приборы, используемые при выполнении работы

- 1 Штангенинструменты.
- 2 Микрометрические инструменты.
- 3 Индикаторная скоба СИ.
- 4 Инструментальный микроскоп ММИ-2.

4 Описание объектов измерения

При измерении линейных размеров используются объекты измерений, чертежи которых приведены на рисунке 3.4. Номера объектов измерения и их номинальные размеры с предельными отклонениями приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2

1	2	3	4	5	6	7
6.1 A1 = =40,5 ^{+0,1} _{-0,1}	6.2 B1 = =10,2 ^{+0,7} _{-0,7}	6.3 C1 = =30,1 ^{+0,1} _{-0,1}	6.4 D1 = =59,8 ^{+0,3} _{-0,3}	6.1 E1 = =5,0 ^{+0,18} _{-0,18}	6.2 F1 = =29,5 ^{+0,3} _{-0,3}	6.3 A1 = =55,0 ^{+0,3} _{-0,3}
6.3 E1 = =20,0 ^{+0,3} _{-0,3}	6.4 F1 = =49,0 ^{+0,1} _{-0,1}	6.1 D1 = =35,0 ^{+0,1} _{-0,1}	6.2 E1 = =15,2 ^{+0,2} _{-0,2}	6.3 F1 = =35,0 ^{+0,1} _{-0,1}	6.4 A1 = =45,0 ^{+0,1} _{-0,1}	6.1 B1 = =5,0 ^{+0,1} _{-0,1}
1.11 A3 = =26,0 ^{+0,1} _{-0,1}	1.12 B3 = =32,2 ^{+0,2} _{-0,2}	1.13 C3 = =30,1 ^{+0,1} _{-0,1}	1.14 D3 = =55,0 ^{+0,3} _{-0,3}	1.11 E3 = =25,8 ^{+0,2} _{-0,2}	1.12 A3 = =26,1 ^{+0,3} _{-0,3}	1.13. B3 =32,2 ^{+0,2} _{-0,2}
1.13 E3 = =26,0 ^{+0,2} _{-0,2}	1.14 A3 = =26,1 ^{+0,2} _{-0,2}	1.11 B3 = =32,2 ^{+0,1} _{-0,1}	1.12 C3 = =30,0 ^{+0,2} _{-0,2}	1.13 D3 = =55,0 ^{+0,3} _{-0,3}	1.14 E3 = =25,9 ^{+0,2} _{-0,2}	1.11 A3 = =26,0 ^{+0,2} _{-0,2}
7.4 C2 = =12,0 ^{+0,1} _{-0,1}	7.2 C2 = =16,0 ^{+0,2} _{-0,2}	7.3 C2 = =35,0 ^{+0,3} _{-0,3}	7.4 C2 = =12,0 ^{+0,1} _{-0,1}	7.1 B2 = =40,2 ^{+0,2} _{-0,2}	7.2 C2 = =16,0 ^{+0,2} _{-0,2}	7.3 A2 = =60,1 ^{+0,1} _{-0,1}
7.2 A2 = =130,0 ^{+0,1} _{-0,1}	7.3 A2 = =60,2 ^{+0,2} _{-0,2}	7.4 A2 = =85,0 ^{+0,3} _{-0,3}	7.3 A2 = =60,2 ^{+0,1} _{-0,1}	7.2 A2 = =130,0 ^{+0,2} _{-0,2}	7.4 A2 = =84,9 ^{+0,1} _{-0,1}	7.2 C2 = =16,1 ^{+0,1} _{-0,1}

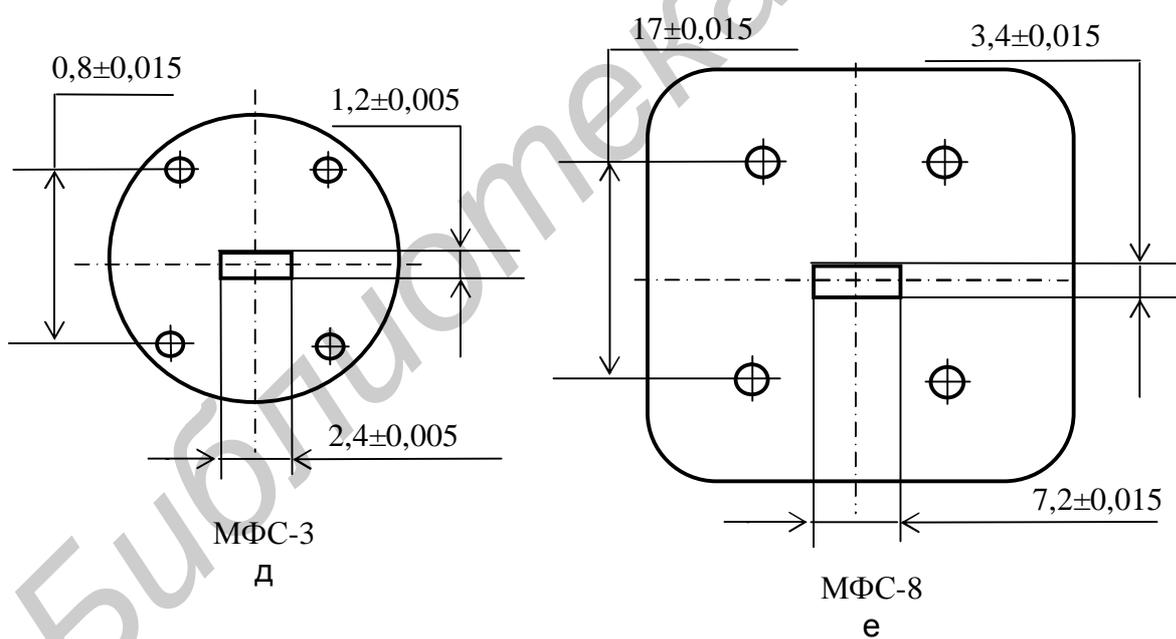
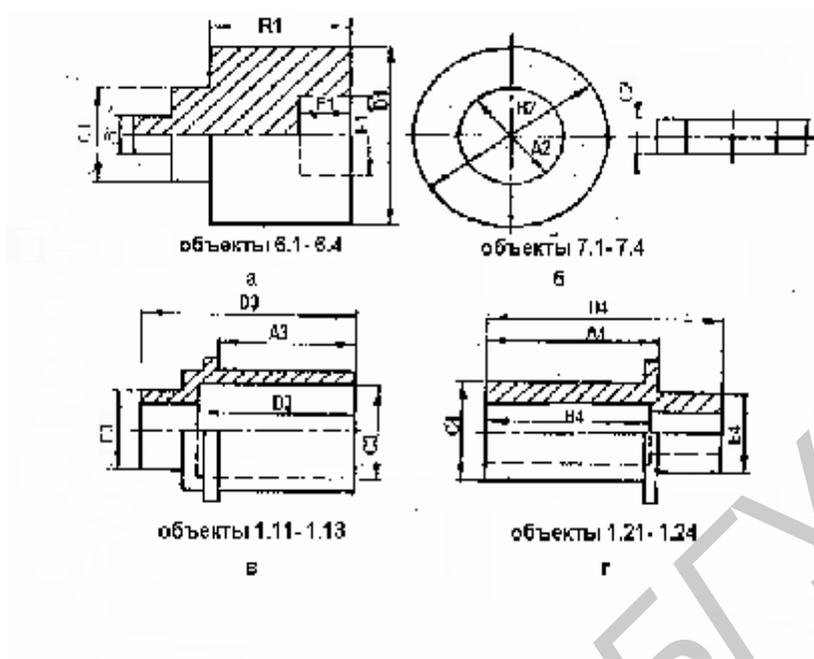


Рисунок 3.4 – Объекты измерений

5 Подготовка к выполнению работы

1 По рекомендуемой литературе изучить принципы и способы оценивания достоверности контроля.

2 По приложениям настоящего лабораторного практикума детально изучить устройство, принцип действия и порядок работы с измерительными приборами, перечисленными в пункте 3 (согласно варианту), а также методики проведения с их помощью измерений искомых параметров и оценки погрешностей полученных результатов измерений.

3 Ответить на контрольные вопросы.

4 Сделать заготовку отчета (одну на бригаду) по лабораторной работе в соответствии с требованиями настоящих методических указаний.

6 Лабораторное задание

1 Измерить заданные параметры деталей и определить их годность.

2 Оценить риск заказчика и риск изготовителя из-за наличия ошибок I и II рода.

7 Порядок выполнения работы

1 Измерить следующие параметры деталей:

Вариант 1: деталь 6.1 (размеры A1, B1), деталь 6.2 (размеры B1, F1), деталь 1.11 (размеры A3, E3), деталь 7.1 (размер B2).

Вариант 2: деталь 6.1 (размеры E1, D1), деталь 6.2 (размеры T1, F1), деталь 1.11 (размеры A3, B3), деталь 7.2 (размер B2).

Вариант 3: деталь 6.3 (размеры A1, C1), деталь 6.4 (размеры D1, F1), деталь 1.12 (размеры A3, B3), деталь 7.3 (размер A2).

Вариант 4: деталь 6.3 (размеры F1, E1), деталь 6.4 (размеры A1, F1), деталь 1.13 (размеры B3, C3), деталь 7.2 (размер A2).

Вариант 5: деталь 6.1 (размеры A1, D1), деталь 6.3 (размеры C1, E1), деталь 1.14 (размеры A3, E3), деталь 7.4 (размер A2).

Вариант 6: деталь 6.3 (размеры A1, E1), деталь 6.4 (размеры D1, A1), деталь 1.12 (размеры D3, E3), деталь 7.2 (размер A2).

Вариант 7: МФС -8. (Размеры, указанные на рисунке 3.4, е).

Вариант 8: МФС-3. (Размеры, указанные на рисунке 3.4, д).

2 Оценить СКО результата измерения каждого параметра.

3 Пользуясь графиками зависимостей, приведенными на рисунках 3.1–3.3, определить вероятность ошибок I и II рода.

4 Сделать выводы.

Количество измерений каждого параметра – 20.

8 Содержание отчета

Требования к содержанию отчета изложены в приложении А.

9 Контрольные вопросы

- 1 Сформулируйте понятие «контроль».
- 2 Какие операции составляют процедуру контроля?
- 3 В чем заключается отличие процедур измерения и контроля?
- 4 Как классифицируется контроль в зависимости от числа контролируемых параметров?
- 5 Как классифицируется контроль в зависимости от сравниваемых сигналов?
- 6 Как классифицируется контроль в зависимости от вида воздействия на объект?
- 7 Поясните сущность принципа Тейлора как принципа проектирования средств технических измерений и контроля.
- 8 Поясните сущность принципа Аббе как принципа проектирования средств технических измерений и контроля.
- 9 Поясните сущность принципа инверсии как принципа проектирования средств технических измерений и контроля.
- 10 В каком случае измерение можно считать правильным?
- 11 На чем основывается выбор оптимальной точности средства измерений при контроле параметров?
- 12 На чем основывается выбор средства измерений при контроле параметров?
- 13 Какой контроль называют измерительным?
- 14 Что такое допусковый контроль?
- 15 Что называется ошибкой первого рода?
- 16 Что называется ошибкой второго рода?
- 17 Как оценить риск заказчика и риск изготовителя?
- 18 Каким образом определяются приемочные границы при допусковом контроле?
- 19 Каким образом учитывается влияние погрешностей измерения на результаты при допусковом контроле?

Лабораторная работа ПЭ4
ПОДБОР АППРОКСИМИРУЮЩИХ ФУНКЦИЙ.
РАСЧЕТ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ ПАРАМЕТРОВ
ВЫБРАННОЙ АППРОКСИМИРУЮЩЕЙ ФУНКЦИИ

1 Цель работы

1 Изучение методов идентификации формы экспериментальной зависимости и ее математического описания.

2 Построение графиков заданных экспериментальных зависимостей.

3 Подбор аппроксимирующих функций заданных экспериментальных зависимостей.

2 Краткие теоретические сведения

Первым шагом на пути осмысливания и оценивания результатов эксперимента является идентификация формы экспериментальной кривой и нахождение ее аналитического описания. Различают несколько методов установления вида графической зависимости. Это, например, метод обведения контура, метод медианных центров, метод выделения остатка /1/.

После того как вид графической зависимости установлен, стоит задача выбора ее математического описания. Предпочтительнее использовать наиболее компактные выражения, представляющие собой элементарные функции (степенную, показательную, дробно-рациональную).

Для проверки того, является ли данная функция степенной вида $y = ax^n$, необходимо прологарифмировать правую и левую части, найти величины $\lg x$ и $\lg y$ и построить зависимость в координатах $\lg y - \lg x$. Это будет прямая линия: $\lg y = \lg a + \lg x$.

Если поле экспериментальных точек группируется относительно прямой линии, то можно говорить о том, что модель в виде степенной функции не противоречит данному полю точек, и выбор данной функции может быть принят окончательно. Тогда точка пересечения прямой с осью $\lg y$ будет определять величину a , а наклон прямой к оси x – величину n .

Если же экспериментальные точки не лежат вдоль прямой, то модель в виде степенной функции не является адекватной, и необходимо перейти к проверке, не является ли данная функция показательной ($y = a \cdot e^{bx}$). Для проверки соответствия экспериментальных данных показательной функции пользуются полулогарифмическим масштабом, т.е. строят график в координатах $\ln y - x$: $\ln y = \ln a + b \cdot x$. Если экспериментальные точки группируются около прямой линии, то можно говорить о соответствии искомой модели показательной функции, и точка пересечения прямой с осью $\ln y$ будет определять параметр a , а наклон прямой к оси x – параметр b .

Для проверки, не является ли искомая функция дробно-рациональной ($y = \frac{a \cdot x^m}{b + c \cdot x^n}$), строят график в координатах $1/y - x$ (рисунок 4.1).

Замена координат x на $1/x$ и y на $1/y$ допустима лишь в том случае, если сдвиг по этой координате отсутствует. Если имеется сдвиг, то уравнение, например, гиперболы $y - c + a/x$ в координатах $1/y - 1/x$ не будет прямой. В этом случае используют метод последовательных приближений.

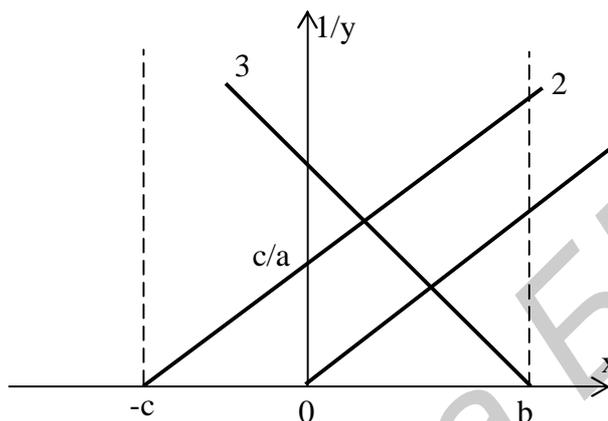


Рисунок 4.1 – Дробно-рациональная функция в координатах $1/y - x$.
Прямая 1 – для функции $y = a/x$; 2 – $y = a/(c+x)$; 3 – $y = a/(b-x)$.

Например, предполагают, что $y = \frac{ax}{b - cx} + d$; задают ряд возможных значений b ; вычисляют значения $1/(x - b)$ и останавливаются на том значении b , при котором $y = c + a/(x - b)$ в координатах $y - 1/(x - b)$ даст расположение точек, наиболее близкое к прямой линии.

Если ни один из рассмотренных методов не привел к какому-нибудь приемлемому результату, то аналитическое выражение экспериментальной кривой принимают в виде степенного одночлена, и здесь необходим расчет параметров этого многочлена.

В общем случае расчет сводится к решению системы нелинейных уравнений. При этом возможно несколько частных случаев.

1 Система уравнений, линейных относительно искомым параметрам. Обозначим искомые параметры a_k , известные координаты – x_1, \mathbf{K}, x_m и y_1, \mathbf{K}, y_m для m искомым точек, а в качестве аппроксимирующей примем модель в виде степенного многочлена:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \mathbf{K} + a_kx^k. \quad (4.1)$$

Расчет коэффициентов a_k сводится к решению системы уравнений, линейных относительно искомым a_0, \dots, a_k :

$$\begin{cases} y_1 = a_0 + a_1 x_1 + \mathbf{K} + a_k x_1^k, \\ \mathbf{M} \\ y_m = a_0 + a_1 x_m + \mathbf{K} + a_k x_m^k. \end{cases} \quad (4.2)$$

2 В качестве аппроксимирующей функции принята модель, не приводящая к системе линейных уравнений:

$$y = \frac{ax}{b^2 + x^2}. \quad (4.3)$$

Путем преобразований $yb^2 + ux^2 = ax$ и $ux^2 = ax - yb^2$ и замены переменных $ux^2 = Z$ и $b^2 = c$ можно свести расчет a и c к решению системы уравнений

$$\begin{cases} Z_1 = ax_1 - cy_1; \\ Z_2 = ax_2 - cy_2; \\ \mathbf{M} \\ Z_n = ax_n - cy_n. \end{cases} \quad (4.4)$$

3 Могут быть случаи, когда уравнения системы не сводятся к системе линейных уравнений. Например, при аппроксимирующей функции вида

$$y = a \cdot \exp\left[-\left(\frac{x-b}{c}\right)^2\right] \text{ после логарифмирования получаем } \ln y = \ln a - \left(\frac{x-b}{c}\right)^2,$$

т.е. после алгебраических преобразований получаем квадратное уравнение относительно искомого b . Вводя замену переменных $c^2 \ln a - b^2 = A$ и $c^2 = B$, получим систему уравнений

$$\begin{cases} x_1^2 = 2bx_1 = B \ln y_1 + A; \\ \mathbf{M} \\ x_n^2 = 1bx_n - B \ln y_n + A, \end{cases} \quad (4.5)$$

из которой по найденным A, B можно найти a и c .

Используя замену переменных, следует иметь в виду, что при любой аппроксимации необходимо стремиться минимизировать абсолютные погрешности. При этом относительные погрешности в начале и в конце диапазона будут существенно отличаться. Если после этого производятся подстановки вида $X = 1/x$ или $Y = 1/y$, то начало и конец диапазона меняются местами, а следовательно, меняются местами и погрешности. Эти преобразования следует контролировать; в противном случае они могут привести к существенным неточностям.

Рассмотренные графоаналитические методы аппроксимации достаточно просты и позволяют очень быстро получить приближенные значения параметров. Более того, если модель является неподходящей, то графическое построение наглядно показывает, как надо изменить модель или дополнить ее.

В общем случае при построении экспериментальных данных оси координат следует преобразовывать до тех пор, пока не получится прямая линия, по параметрам которой можно найти параметры модели.

3 Оборудование, используемое при выполнении работы

При выполнении работы используется персональный компьютер.

4 Описание функций, реализуемых в программном обеспечении работы

При выполнении работы предполагается использование стандартной программы Microsoft Excel.

5 Подготовка к выполнению работы

- 1 Изучить методы и алгоритмы подбора аппроксимирующих функций.
- 2 Ответить на контрольные вопросы.
- 3 Сделать заготовку отчета по лабораторной работе в соответствии с требованиями настоящих методических указаний.

6 Лабораторное задание

- 1 Построить графики заданных зависимостей.
- 2 Методами, описанными в разделе 2, подобрать элементарную аппроксимирующую функцию и найти ее параметры.
- 3 Найти параметры модели заданных функций в виде степенного многочлена.
- 4 Оценить и сравнить погрешности адекватности полученных моделей.

7 Порядок выполнения работы

- 1 Построить графики зависимостей, приведенных в таблице 4.1, согласно варианту.
- 2 Подобрать аппроксимирующие функции в виде одной из элементарных функций и в виде степенного многочлена и найти параметры выбранных моделей.
- 3 Оценить погрешности адекватности моделей и сравнить их.

Таблица 4.1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7	8
x	y	y	y	y	y	y	y
0,21	2,48	1,93	6,30	0,54	2,28	2,18	5,79
0,42	2,46	2,37	7,21	0,39	2,89	1,34	5,63
0,63	2,75	3,05	9,98	0,14	2,40	1,25	5,50
0,84	3,12	3,98	12,9	-0,83	2,50	1,05	5,40
1,05	3,48	5,07	16,85	-0,028	2,61	0,88	5,32
1,26	3,96	6,58	21,96	-0,12	2,87	0,89	5,25
1,47	4,56	8,28	24,14	-0,21	3,01	0,87	5,20
1,68	5,25	10,29	28,66	-0,35	3,17	0,79	5,19
1,89	5,95	12,45	40,88	-0,38	3,45	0,74	5,10
2,10	6,87	15,28	48,23	-0,41	4,01	0,68	5,10
2,31	7,72	17,88	61,26	-0,51	4,68	0,66	5,08
2,52	8,76	20,76	75,67	-0,51	5,42	0,61	5,05
2,73	9,82	2,18	102,35	-0,65	6,03	0,61	5,05
2,94	11,98	27,74	126,39	-0,73	7,26	0,60	5,05
3,15	12,42	31,53	157,18	-0,78	8,89	0,59	5,04
3,26	13,03	33,72	181,63	-0,85	9,76	0,54	5,02
3,47	14,39	37,92	226,25	-0,86	10,74	0,51	5,02
3,68	15,95	42,48	279,95	-0,93	12,47	0,50	5,02
3,89	17,49	47,15	356,90	-0,99	16,36	0,49	5,01
4,10	19,19	52,25	461,03	-1,00	22,08	0,48	5,01
4,31	20,99	57,16	570,33	-1,12	24,77	0,46	5,1
4,52	22,74	63,09	715,06	-1,14	32,68	0,46	5,01
4,63	13,84	66,15	799,17	-1,15	32,37	0,46	5,00
4,84	25,87	72,08	1091,15	-1,19	44,77	0,45	5,00
5,05	27,93	78,34	770,16	-1,54	53,34	0,44	5,00

Продолжение таблицы 4.1

Вариант	8	9	10	11	12	13	14
х	у	у	у	у	у	у	у
0,21	-5,62	27,81	40,81	4,28	3,044	1,43	3,08
0,42	-6,22	16,09	11,20	4,01	3,28	1,13	2,65
0,63	-6,48	12,94	4,44	5,01	3,15	0,64	2,13
0,84	-6,74	9,12	2,12	5,55	3,08	0,64	2,12
1,05	-7,05	8,80	1,75	6,28	4,90	0,61	1,98
1,26	-7,30	8,12	1,64	7,05	4,78	0,48	1,99
1,47	-7,40	7,40	0,83	8,03	5,16	0,36	1,58
1,68	-7,38	6,25	0,33	10,18	6,08	0,33	1,48
1,89	-7,60	6,58	0,44	10,99	6,52	0,21	1,19
2,10	-7,68	6,32	0,35	14,08	6,99	0,12	1,05
2,31	-7,72	6,10	0,32	16,28	7,46	0,18	1,01
2,52	-7,79	5,98	0,34	21,93	10,38	0,16	0,98
2,73	-7,82	5,79	0,19	23,07	10,15	0,06	0,70
2,94	-7,90	5,84	0,20	29,28	12,64	0,07	0,75
3,15	-7,91	5,59	0,18	36,84	12,92	0,057	0,45
3,26	-7,91	5,55	0,17	39,93	13,90	0,052	0,41
3,47	-7,93	5,48	0,16	48,25	16,04	0,042	0,32
3,68	-7,94	5,28	0,12	60,00	15,52	0,030	0,14
3,89	-7,96	5,28	0,12	71,78	18,13	0,025	0,055
4,10	-7,96	5,24	0,12	98,41	20,99	0,022	0,054
4,31	-7,97	5,12	0,09	115,86	19,58	0,014	-0,12
4,52	-7,99	5,11	0,10	154,41	25,43	0,014	-0,28
4,63	-7,98	5,01	0,08	165,83	22,44	0,011	-0,29
4,84	-7,98	4,99	0,07	100,83	122,46	0,007	-0,35
5,05	-7,99	4,99	0,07	261,72	28,50	0,007	-0,49

Продолжение таблицы 4.1

Вариант	15	16	17	18	19	20	21
х	у	у	у	у	у	у	у
0,21	0,37	4,75	6,12	7,76	16,05	-7,78	6,48
0,42	0,64	4,99	6,51	5,83	6,25	-7,98	6,50
0,63	0,55	4,58	6,15	4,49	3,30	-5,99	6,69
0,84	0,65	4,52	6,12	4,09	1,71	-4,04	6,99
1,05	0,88	4,52	6,34	3,99	1,28	-2,58	7,88
1,26	1,06	4,29	6,35	3,79	0,17	-0,06	7,96
1,47	1,88	4,19	6,98	3,71	-0,30	3,12	8,88
1,68	1,59	3,88	6,48	3,54	-0,58	5,99	9,01
1,89	1,91	3,66	6,58	3,48	-0,66	9,74	9,91
2,10	2,51	3,42	6,98	3,65	-1,25	15,54	12,88
2,31	3,02	2,99	7,01	3,43	-1,27	18,68	10,87
2,52	3,12	2,34	7,01	3,28	-1,38	22,75	11,44
2,73	4,65	1,99	8,01	3,44	-1,58	32,26	13,76
2,94	5,45	1,21	7,65	3,24	-1,56	34,22	12,82
3,15	7,00	0,33	8,33	3,32	-1,73	41,61	15,98
3,26	7,74	0,21	8,54	3,30	-1,75	42,14	16,12
3,47	9,64	-0,21	9,21	3,29	-1,85	52,20	17,03
3,68	12,04	-2,99	10,33	3,28	-1,89	61,71	18,98
3,89	13,96	-4,51	10,02	3,34	-1,99	69,76	20,34
4,10	18,12	-7,07	12,03	3,24	-2,02	76,05	21,49
4,31	24,33	-10,89	14,44	3,24	-2,10	6,88	23,64
4,52	27,48	-13,07	14,65	3,22	-2,11	93,15	24,42
4,63	30,75	-15,50	16,25	3,22	-2,14	99,18	27,84
4,84	37,01	-19,29	17,96	3,21	-2,15	104,13	29,62
5,05	47,11	-26,99	22,50	3,20	-2,22	121,51	32,93

Продолжение таблицы 4.1

Вариант	22	23	24	25	26	27	28
х	у	у	у	у	у	у	у
0,21	7,44	0,30	6,54	2,36	5,25	43,82	4,54
0,42	7,88	2,25	6,38	1,99	5,01	12,84	4,22
0,63	8,00	3,14	6,19	2,04	5,55	7,68	4,25
0,84	9,01	5,99	5,64	1,69	5,60	5,55	4,08
1,05	12,44	10,15	6,10	1,48	5,88	4,67	4,03
1,26	11,88	13,96	5,88	0,92	5,94	4,35	3,97
1,47	12,68	18,18	5,32	0,23	5,99	3,07	3,75
1,68	15,34	23,88	5,65	-0,41	6,25	3,58	3,68
1,89	17,94	36,88	5,68	-1,25	6,78	3,68	3,72
2,10	21,61	48,23	5,58	-2,04	7,43	3,71	3,56
2,31	24,78	64,26	5,52	-2,94	7,53	3,34	3,48
2,52	25,28	70,67	5,35	-3,67	7,54	3,21	3,35
2,73	28,46	90,35	5,30	-5,02	8,98	3,34	3,54
2,94	35,94	120,39	5,29	-6,12	9,68	3,19	3,25
3,15	37,26	153,18	5,23	-7,23	11,02	3,12	3,20
3,26	41,09	178,63	5,26	-8,64	12,88	3,18	1,21
3,47	42,17	200,25	5,13	-9,64	14,05	3,15	3,14
3,68	47,45	254,95	5,00	-11,14	16,40	3,13	3,08
3,89	53,47	368,90	5,03	-12,28	18,36	3,11	3,01
4,10	57,57	446,03	4,98	-14,14	21,08	3,10	2,96
4,31	65,97	579,33	4,98	-17,88	29,77	3,12	2,95
4,52	69,45	745,06	4,88	-18,01	32,68	3,05	2,83
4,63	70,52	755,17	4,83	-19,04	37,37	3,08	2,85
4,84	77,61	1013,05	4,80	-21,03	45,77	3,08	2,80
5,05	83,79	1277,61	4,75	-23,10	58,34	3,08	2,75

Продолжение таблицы 4.1

Вариант	29	30	31	32	33	34	35
х	у	у	у	у	у	у	у
0,21	27,05	2,10	2,54	3,09	23,81	15,81	0,12
0,42	17,28	2,10	2,28	3,32	14,98	3,91	0,15
0,63	14,01	2,18	2,27	4,38	9,86	0,06	0,17
0,84	12,89	2,28	2,09	4,41	5,95	-1,99	0,25
1,05	12,30	2,28	2,02	6,21	4,98	-2,98	0,31
1,26	22,79	3,37	1,97	7,18	3,87	-4,53	0,35
1,47	10,72	2,40	1,81	6,32	3,28	-4,60	0,41
1,68	10,38	2,54	1,78	7,89	3,01	-5,22	0,54
1,89	10,01	2,66	1,68	10,14	2,65	-5,35	0,66
2,10	9,87	2,79	1,55	11,82	2,38	-5,41	0,82
2,31	9,78	3,01	1,48	12,89	1,99	-5,82	1,12
2,52	9,65	3,19	1,41	12,34	1,98	-6,22	1,28
2,73	9,42	3,56	1,45	17,91	1,87	-6,17	1,55
2,94	9,36	3,99	1,25	19,29	1,65	-6,30	1,78
3,15	9,27	4,23	1,22	21,85	1,55	-6,40	2,33
3,26	9,13	4,54	1,19	25,89	1,52	-6,45	2,65
3,47	9,10	5,21	1,16	27,08	1,44	-6,55	3,22
3,68	9,10	5,96	1,09	31,08	1,38	-6,45	3,98
3,89	8,97	6,57	1,15	33,26	1,28	-6,71	4,88
4,10	8,93	8,33	0,96	35,62	1,25	-6,88	5,87
4,31	8,87	9,34	0,92	29,15	1,16	-6,82	7,43
4,52	8,86	11,18	0,87	43,86	1,10	-6,89	9,18
4,63	8,85	12,25	0,83	45,87	1,08	-6,92	9,99
4,84	8,79	13,98	0,79	48,90	1,03	-6,94	11,64
5,05	8,80	16,90	0,75	54,01	0,99	-7,00	16,60

Продолжение таблицы 4.1

Вариант	36	37	38	39	40	41	42
х	у	у	у	у	у	у	у
0,21	0,044	0,0092	0,45	0,59	1,23	1,52	4,76
0,42	0,17	0,074	0,64	0,74	1,52	2,31	2,39
0,63	0,41	0,25	0,79	0,85	1,87	3,52	1,58
0,84	0,79	0,59	0,89	0,94	2,31	5,36	1,19
1,05	1,10	1,15	1,02	1,01	2,8	8,16	0,95
1,26	1,58	1,00	1,12	1,08	2,52	12,42	0,79
1,47	2,16	3,17	1,21	1,13	4,34	18,91	0,68
1,68	2,82	4,74	1,29	1,18	5,36	28,78	0,59
1,89	3,57	6,75	1,37	1,23	6,61	43,81	0,52
2,10	4,41	9,26	1,44	1,28	8,16	66,68	0,47
2,31	5,37	12,32	1,52	1,32	10,07	101,49	0,43
2,52	6,35	16,00	1,58	1,36	12,42	154,47	0,39
2,73	7,45	20,34	1,65	1,39	15,33	235,09	0,36
2,94	8,64	25,41	1,71	1,43	18,91	357,80	0,34
3,15	9,92	31,25	1,77	1,46	23,33	544,57	0,31
3,26	10,62	34,64	1,80	1,48	26,50	678,57	0,30
3,47	12,04	41,78	1,86	1,51	32,13	1032,77	0,28
3,68	13,52	49,83	1,91	1,54	39,64	1571,83	0,27
3,89	15,13	58,86	1,97	1,57	48,91	2391,27	0,25
4,10	16,81	68,92	2,02	1,62	60,34	3640,95	0,24
4,31	18,58	80,06	2,07	1,62	74,44	5541,38	0,23
4,52	20,43	92,34	2,12	1,65	91,83	8433,77	0,22
4,63	21,43	99,25	2,15	1,67	102,51	10509,13	0,21
4,84	23,42	113,38	2,2	1,69	126,46	15994,49	0,20
5,05	25,50	128,78	2,24	1,17	156,02	24343,00	0,19

Продолжение таблицы 4.1

Вариант	43	44	45	46	47	48	49
х	у	у	у	у	у	у	у
0,21	0,81	0,65	22,76	-3,78	6,08	-7,95	0,13
0,42	0,65	0,43	5,68	-3,12	6,35	-7,82	1,52
0,63	0,53	0,28	2,34	-1,95	6,78	-7,59	2,23
0,84	0,43	0,18	1,41	-0,47	7,41	-7,29	3,11
1,05	0,34	0,12	0,90	1,51	8,20	-6,89	4,30
1,26	0,28	0,080	0,60	3,94	9,17	-6,41	5,76
1,47	0,32	0,052	0,47	6,80	10,32	-5,83	7,48
1,68	0,18	0,034	0,35	10,11	11,64	-5,17	9,46
1,89	0,15	0,022	0,28	13,86	13,14	-4,42	11,71
2,10	0,12	0,015	0,22	18,05	14,82	-3,59	14,23
2,31	0,09	0,0098	0,18	22,68	16,64	-2,66	17,01
2,52	0,08	0,0064	0,15	27,75	18,70	-1,65	10,05
2,73	0,065	0,0042	0,13	33,26	20,90	-0,54	23,35
2,94	0,052	0,0027	0,11	39,22	23,28	0,64	26,93
3,15	0,042	0,0018	0,10	45,61	25,48	1,92	30,76
3,26	0,038	0,0014	0,094	49,14	27,25	2,62	32,88
3,47	0,031	0,00098	0,083	56,20	30,08	4,04	37,12
3,68	0,025	0,00063	0,073	67,71	33,08	5,52	41,62
3,89	0,020	0,00041	0,066	71,66	36,26	7,13	46,40
4,10	0,016	0,00027	0,059	80,05	39,62	8,81	51,48
4,31	0,013	0,00018	0,053	88,98	43,16	10,48	56,74
4,52	0,010	0,00011	0,048	98,15	46,96	12,43	62,29
4,63	0,0097	0,000090	0,046	103,18	48,87	13,43	65,31
4,84	0,0079	0,000062	0,042	1134,13	52,85	15,42	71,27
5,05	0,0064	0,000041	0,039	1223,51	57,06	17,53	77,50

8 Содержание отчета

Требования к содержанию отчета изложены в приложении А.

9 Контрольные вопросы

- 1 Какие существуют методы определения конкретного вида графической зависимости?
- 2 В чем заключается суть метода обведения контура?
- 3 В чем заключается суть метода медианных центров?
- 4 В чем заключается суть метода выделения остатка?
- 5 Перечислите методы определения аналитического вида аппроксимирующей кривой в виде элементарных функций.
- 6 Каким образом проверить принадлежность функции к степенному виду?
- 7 Каким образом проверить принадлежность функции к показательному виду?
- 8 Каким образом проверяют принадлежность функции к дробно-рациональному виду?
- 9 Каким образом определить коэффициенты модели при представлении искомой зависимости в виде элементарных функций?
- 10 Как определить коэффициенты модели при представлении искомой зависимости в виде степенного одночлена?

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе оформляется на листах бумаги формата А4. Результаты измерений и вычислений сводятся в таблицы, приведенные в методических указаниях к конкретной лабораторной работе. Отчет должен содержать всю информацию о проделанной работе, необходимые расчетные формулы, выводы и рекомендации по анализу результатов выполнения каждого пункта лабораторного задания.

Отчет должен содержать следующие разделы:

- титульный лист, на котором указаны наименование учебного заведения, название кафедры, номер, шифр и наименование лабораторной работы, фамилия выполнившего работу, фамилия проверяющего;

- цель работы;

- лабораторное задание;

- сведения об используемых измерительных приборах, оформленные согласно таблице А.1;

- краткие теоретические сведения, включающие схемы измерительных установок и расчетные формулы;

- таблицы с результатами измерений;

- выводы.

Таблица А.1

Наименование инструмента	Тип	Заводской номер	Основные технические характеристики

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Измеритель добротности Е 4-7

Б.1 Назначение

Прибор Е4-7 предназначен для измерения эффективной добротности объектов индуктивного характера, а также собственной емкости этих объектов и резонансной частоты контуров. С помощью прибора путем косвенных измерений можно определить индуктивность измеряемых катушек, емкость и тангенс угла потерь конденсаторов, полное сопротивление двухполюсников и т.д.

Б.2 Технические характеристики

Б.2.1 Диапазон частот генератора прибора 50 кГц–35 МГц с непосредственным отсчетом частоты имеет 8 поддиапазонов:

1	50–110 кГц	4	560–1300 кГц	7	7,0–16 МГц
2	110–240 кГц	5	1,3–3,0 МГц	8	16–35 МГц
3	240–560 кГц	6	3,0–7,0 МГц		

Б.2.2 Основная погрешность градуировки шкал генератора по частоте не более $\pm 1\%$.

Б.2.3 Пределы непосредственного отсчета изменения емкости измерительного (образцового) конденсатора комбинированного блока от 30 до 450 пФ.

Б.2.4 Основная погрешность градуировки шкалы измерительного конденсатора на частоте 1000 Гц не превышает ± 1 пФ при емкости до 100 пФ и не более $\pm 1\%$ при емкости свыше 100 пФ.

Б.2.5 Предел нониусной шкалы измерительного конденсатора 10 пФ, градуировка шкалы через 0,1 пФ.

Б.2.6 Прибор обеспечивает измерение индуктивности по результатам измерения емкости и частоты резонансным методом в пределах от $5 \cdot 10^{-8}$ Гн до 0,4 Гн с погрешностью не более $\pm(0,006 \cdot L + 2,5 \cdot 10^{-9})$ Гн при емкостях до 100 пФ и не более $\pm(0,04 \cdot L + 2,5 \cdot 10^{-9})$ Гн при емкостях более 100 пФ, где L – измеряемое значение индуктивности. Прибор имеет на верхней крышке шкалу перевода значений емкости измерительного конденсатора в эквивалентные значения индуктивности для частот 79,5 кГц; 252,2 кГц; 795 кГц; 2,525 МГц; 7,95 МГц; 25,25 МГц, отмеченных на шкалах генератора особыми рисками.

Б.3 Подготовка прибора к работе

Б.3.1 Установить органы управления в исходное положение: переключатель рода измерений « $\Delta Q-Q$ » в положение «Q», тумблер «Измерение – Калибровка Q_{∇} » – в положение «Измерение», тумблер «Сеть» – в нижнее положение.

Б.3.2 Включить вилку шнура питания в сеть и перевести тумблер «Сеть» в положение СЕТЬ, при этом должна загореться сигнальная лампочка. Прогреть прибор в течение 30 минут.

Б.3.3 Произвести подготовку прибора к измерениям, для чего установить тумблер «Измерение – Калибровка Q_{∇} » в положение «Калибровка Q_{∇} »; ручкой «Калибровка Q_{∇} » установить стрелку измерительного прибора на риску по знаку ∇ ; тумблер «Измерение – Калибровка Q_{∇} » вернуть в положение «Измерение».

Б.4 Калибровка прибора

Для калибровки необходимо установить: переключатель «Частота кГц / МГц» на требуемый поддиапазон частоты; указатель шкалы на требуемую частоту ручкой «Частота кГц / МГц»; переключатель « $\Delta Q - Q$ » в положение «Q»; тумблер «Измерение – Калибровка Q_{∇} » в положение «Калибровка Q_{∇} »; ручкой «Калибровка Q_{∇} » стрелку измерительного прибора точно на риску под знаком ∇ ; тумблер «Измерение – Калибровка Q_{∇} » вернуть в положение «Измерение».

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Прибор электроизмерительный комбинированный Ц4353

В.1 Назначение

Прибор электроизмерительный комбинированный Ц4353 с автоматической защитой от электрических перегрузок предназначен для измерения силы и напряжения постоянного тока; среднеквадратического значения силы и напряжения переменного тока синусоидальной формы; сопротивления постоянному току; электрической емкости; абсолютного уровня сигнала по напряжению переменного тока в электрических цепях.

В.2 Технические и метрологические характеристики

В таблице В.1 приведены технические и метрологические характеристики прибора Ц4315 для режимов измерения силы постоянного тока, постоянного напряжения и сопротивления.

Таблица В.1

Измеряемая величина	Диапазон измерений	Класс точности	Предел допускаемого значения основной приведенной погрешности, %
Сила постоянного тока, мА	0 ... 0,06; 0 ... 0,12; 0 ... 0,6; 0 ... 3; 0 ... 12; 0 ... 60; 0 ... 300; 0 ... 1500	1,5	±1,5
Напряжение постоянного тока, В	0 ... 0,075; 0 ... 1,5; 0 ... 3; 0 ... 12; 0 ... 30; 0 ... 60; 0 ... 120; 0 ... 600	1,5	±1,5
Сопротивление постоянному току, кОм	0 ... 0,3; 0 ... 10; 0 ... 100; 0 ... 1000; 0 ... 10 000	1,5 ∇	±1,5

Значения длин шкал l_{np} на «Ω» не менее 52 мм, на «К Ω, М Ω» – не менее 58 мм. Основная погрешность в режиме измерения сопротивления находится из формулы

$$d = g \cdot \frac{l_{np}}{l_u}, \quad (\text{В.2.1})$$

где l_u – длина участка шкалы между нулевым значением и местом установления показания прибора на « Ω » и «К Ω , М Ω ».

Ток полного отклонения измерительного механизма, используемого в приборе, равен 29 мкА; сопротивление измерительного механизма – не более 1000 Ом.

Сопротивление прибора в режиме измерения тока приведено в таблице В.2.

Таблица В.2

Предел I , мА	0,12	0,6	3	12	60
R_a , кОм	1,133	0,285	0,060	0,016	0,004

В.3 Порядок работы с прибором

В.3.1 До подключения прибора к измерительной цепи независимо от рода измеряемой величины проверить и при необходимости установить механический нуль с помощью корректора. Рабочее положение прибора – горизонтальное. Включить автоматическую защиту.

В.3.2 Измерение силы постоянного тока.

В.3.2.1 Переключателем режимов работы установить род тока: постоянный (—).

В.3.2.2 Установить предел измерения тока, соответствующий измеряемому значению тока, а при неизвестном значении – максимальный предел 1500 мА.

В.3.2.3 Клеммы прибора «*» и «V, mA, Ω , r_x» должны быть последовательно подключены к исследуемому участку цепи с соблюдением полярности. При отклонении стрелки влево от нуля изменить полярность на противоположную. Выбрать предел измерения, обеспечивающий минимальную погрешность (стрелка должна находиться по возможности ближе к концу шкалы), и определить цену деления шкалы. Отсчитать измеренное значение как произведение цены деления на количество делений, указанное стрелкой по шкале «V, mA — ».

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Цифровой комбинированный прибор М92А

Г.1 Назначение

Цифровой комбинированный прибор М92А предназначен для измерения силы и напряжения постоянного тока; силы и напряжения переменного тока; сопротивления постоянному току; параметров диодов и транзисторов.

Г.2 Технические и метрологические характеристики

В лабораторной работе И2 прибор М92А используется только для измерения напряжения постоянного тока, поэтому в таблице Г.1 приведены технические и метрологические характеристики именно для этого режима измерения.

Таблица Г.1

Измеряемая величина	Диапазон измерений	Абсолютная погрешность (Δ), В	Цена единицы младшего разряда
Напряжение постоянного тока	0 ... 200 мВ 0 ... 2 В 0 ... 20 В 0 ... 200 В	$\pm (0,005 \cdot U_{\text{и}} + 1 \text{ ед. мл. разряда})$	100 мкВ 1 мВ 10 мВ 100 мВ
	0 ... 1000 В	$\pm (0,008 \cdot U_{\text{и}} + 2 \text{ ед. мл. разряда})$	1 В

Входное сопротивление прибора в режиме измерения напряжения 10000 кОм на всех пределах измерения напряжения.

Г.3 Порядок работы с прибором

Г.3.2 Измерение напряжения постоянного тока

Г.3.2.1 Установить переключатель на предел измерения напряжения постоянного тока (зона V=), соответствующий измеряемому значению напряжения, а при неизвестном значении – максимальный предел 1000 В.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Вольтметр универсальный цифровой В7-28

Д.1 Назначение

Вольтметр универсальный цифровой В7-28 предназначен для измерения постоянного и переменного напряжения, сопротивления постоянному току, отношения двух постоянных напряжений, отношения переменного напряжения к постоянному.

Д.2 Технические и метрологические характеристики

Д.2.1 Вольтметр обеспечивает измерение постоянного напряжения положительной и отрицательной полярности в диапазоне от 1 мкВ до 1000 В на пределах измерений 0,1; 1; 10; 100; 1000 В.

Д.2.2 Вольтметр обеспечивает измерение переменного напряжения в диапазоне от 100 мкВ до 300 В на пределах измерений 1; 10; 100; 300 В.

Диапазон частот измеряемого напряжения от 20 Гц до 100 кГц.

Д.2.3 Основная относительная погрешность измерения переменного напряжения не превышает значений, приведенных в таблице Д.1.

Таблица Д.1

Частотный диапазон	20 ... 60 Гц	60 Гц ... 5 кГц	5 ... 20 кГц	20 ... 100 кГц
Основная относительная погрешность измерения переменного напряжения $d, \%$	$\pm(0,25 + 0,15U_{np}/U_v)$	$\pm(0,15 + 0,05U_{np}/U_v)$	$\pm(0,35 + 0,05U_{np}/U_v)$	$\pm(0,5 + 0,1U_{np}/U_v)$

U_{np} – предел измерения по входу H_x вольтметра, В;

U_v – показание вольтметра, В.

Д.2.4 Вольтметр имеет следующие режимы работы:

- ручной выбор пределов измерений;
- автоматический выбор пределов измерений;
- разовый запуск;
- периодический запуск.

Д.2.5 Входное сопротивление вольтметра по входу H_x при измерении переменного напряжения составляет $(1,1 \pm 0,2)$ МОм на всех пределах измерений. Входная шунтирующая емкость не превышает 50 пФ, а со входным кабелем не превышает 120 пФ.

Д.3 Подготовка прибора к работе

Д.3.1 Включите вольтметр в сеть при помощи соединительного шнура и установите тумблер СЕТЬ в положение ВКЛ. Прогрейте прибор в течение 2...3 мин.

Д.3.2 Установите переключатель пределов измерений в положение АВТ при работе в режиме автоматического выбора пределов измерений или в положение «1000 (~300)» при работе в режиме ручного выбора пределов измерений.

Д.4 Проведение измерений

Д.4.1 Для проведения измерения переменного напряжения

- установите переключатель рода работы в положение «V~»;
- установите переключатель пределов измерений при работе в режиме ручного выбора предела измерений в положение, соответствующее значению измеряемого напряжения. При работе в режиме автоматического выбора пределов измерений переключатель пределов измерений установить в положение АВТ;
- присоедините зажим «G_E» входного кабеля к зажиму «L_{xy}»;
- присоедините зажимы «H_x» и «L_{xy}» входного кабеля к измеряемому объекту;
- произведите считывание результата измерений по индикаторному табло.

Д.4.2 Для проведения измерения постоянного напряжения

- установите переключатель рода работы в положение «V₌»;
- установите переключатель пределов измерений при работе в режиме ручного выбора предела измерений в положение, соответствующее значению измеряемого напряжения. При работе в режиме автоматического выбора пределов измерений переключатель пределов измерений установите в положение АВТ;
- присоедините зажим «G_E» входного кабеля к зажиму «L_{xy}»;
- присоедините зажимы «H_x» и «L_{xy}» входного кабеля к измеряемому объекту;
- произведите считывание результата измерений по индикаторному табло.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Магазин сопротивлений МСР-63

Е.1 Назначение

Магазин сопротивлений МСР-63 предназначен для воспроизведения сопротивления постоянному току.

Е.2 Технические и метрологические характеристики

Магазин воспроизводит сопротивление в диапазоне 0...99 999,99 Ом. Класс точности – $0,05/4 \cdot 10^{-6}$. В соответствии с классом точности основная относительная погрешность воспроизведения сопротивления находится по формуле

$$d_{r_{MC}} = \pm \left[0,05 + 4 \cdot 10^{-6} \left(\frac{R_{KMC}}{R_{MC}} - 1 \right) \right] \% ,$$

где $R_{KMC} = 99\,999,99$ Ом – наибольшее значение воспроизводимого сопротивления;

R_{MC} – значение воспроизводимого сопротивления.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Генератор Г4-117

Ж.1 Назначение

Генератор Г4-117 предназначен для испытания и настройки различных широкополосных систем и устройств видеочастоты.

Ж.2 Основные технические и метрологические характеристики

Ж.2.1 Диапазон генерируемых частот от 20 Гц до 10 МГц. Основная погрешность установки частоты не превышает $\pm(0,02 \cdot f + 1)$ Гц; на участке 100...200 Гц – не более $\pm(0,02 \cdot f + 4)$ Гц.

Ж.2.2 Выходное напряжение регулируется в пределах 100 мкВ ... 3 В ступенями через 10 дБ с помощью ступенчатого аттенюатора и плавно в пределах каждой ступени ручкой «РЕГ.ВЫХ» (выход «3V»); в пределах (3...30) В – в диапазоне частот до 2 МГц (1–5-й поддиапазоны) и (3...20) В – в диапазоне частот (2...10) МГц (6-й поддиапазон) на выходе «30 V» только ручкой «РЕГ.ВЫХ». Основная погрешность установки выходного напряжения по шкале стрелочного индикатора не превышает ± 10 % от номинального конечного значения соответствующей шкалы.

Ж.3 Подготовка прибора к работе

Ж.3.1 Перед началом работы с прибором по надписям на лицевой панели ознакомиться с назначением органов управления.

Ж.3.2 Установить ручку «РЕГ. ВЫХ» в крайнее левое положение.

Ж.3.3 Включить прибор в сеть при помощи соединительного шнура и установить тумблер в положение «СЕТЬ». При этом должна загореться сигнальная лампочка. Прогреть прибор в течение 2...3 минут.

Ж.3.4 За время самопрогрева убедиться в работоспособности прибора. Для этого необходимо:

- нажать одну из кнопок переключателя «МНОЖИТЕЛЬ-МНz»;
- установить тумблер «ВОЛЬТМЕТР» в правое положение и, вращая ручку «РЕГ. ВЫХ», убедиться в наличии напряжения на выходе «3V».

Ж.4 Проведение измерений

Ж.4.1 Установить необходимое значение частоты включением одного из поддиапазонов переключателем «МНОЖИТЕЛЬ-MHz» и ручкой «ЧАСТОТА». Отсчет значения частоты в области 20...200 кГц (1–4-й поддиапазоны) осуществляется по верхней шкале с умножением на соответствующий множитель, а в области 0,2...2 МГц (5-й поддиапазон) и 2...10 МГц (6-й поддиапазон) – соответственно по средней и нижней частотным шкалам.

Ж.4.2 Подключить исследуемое устройство к выходу генератора «3V», если необходимое значение выходного напряжения не превышает 3,0 В, или к выходу «30V», если оно не более 3,0 В.

Ж.4.3 Установить необходимое значение выходного напряжения ступенчато ручкой аттенюатора и плавно ручкой «РЕГ. ВЫХ» при правом положении тумблера «ВОЛЬТМЕТР», если используется выход «3V», или только ручкой «РЕГ. ВЫХ» при левом положении тумблера «ВОЛЬТМЕТР», если используется выход «30V».

ПРИЛОЖЕНИЕ К Осциллограф универсальный С1-117

К.1 Назначение

Осциллограф универсальный двухканальный С1-117 предназначен для исследования электрических сигналов путем визуального наблюдения и измерения их амплитудных и временных параметров по шкале экрана электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) и измерений с помощью меток, задаваемых оператором вручную, с индикацией результатов измерения на светодиодном индикаторе.

К.2 Основные технические и метрологические характеристики

К.2.1 Диапазон частот исследуемых сигналов – до 10 МГц.

К.2.2 Размер экрана осциллографа 60×80 мм (8×10 дел).

К.2.3 Ширина линии луча должна быть не более:

- 0,1 дел при коэффициентах отклонения более 1 мВ/дел;
- 0,3 дел при коэффициенте отклонения 1 мВ/дел;
- 0,4 дел при коэффициентах отклонения 0,5 и 0,2 мВ/дел;
- 0,5 дел при коэффициенте отклонения 0,1 мВ/дел.

Геометрические искажения не превышают 3 %.

К.2.4 Предел допускаемой основной погрешности коэффициентов отклонения не превышает ±4 %.

Дополнительная погрешность коэффициентов отклонения в рабочих условиях не превышает половины основной.

К.2.5 Параметры входа канала вертикального отклонения: при непосредственном подключении входное активное сопротивление составляет (1±0,02) МОм, входная емкость не более 35 пФ.

К.2.6 Основная погрешность коэффициентов развертки не превышает ±4 %.

Основная погрешность коэффициентов развертки при включенной «растяжке» не превышает ±5 %.

К.2.7 В приборе обеспечивается режим цифровых измерений амплитудных параметров гармонических сигналов в диапазоне частот от 100 Гц до 2 МГц и импульсных сигналов длительностью импульса от 500 нс до 10 мс в диапазоне амплитудных значений от 5 мВ до 40 В.

К.2.8 Основная погрешность цифрового измерения амплитудных параметров сигнала при размере изображения сигнала не менее 4 делений шкалы ЭЛТ не превышает значений, определяемых по формуле

$$d_A = \left[2 + 0,15 \left(\frac{U_{II}}{U_X} - 1 \right) \right],$$

где d_A – основная погрешность измерения амплитудных параметров сигнала, %;

U_{II} – значение предела измерения (поддиапазона), В, (0,04; 0,4; 4; 400);

U_X – значение измеряемого напряжения, В.

К.2.9 В приборе обеспечивается режим цифровых измерений временных параметров сигнала с помощью меток, задаваемых вручную, в диапазоне от 100 нс до 100 мс.

К.2.10 Основная погрешность цифровых измерений временных параметров сигнала в диапазоне от 100 нс до 100 мкс для размера изображения по экрану не менее 4 дел не превышает значений, определяемых по формуле

$$d_{T(t)} = \pm \left[2 + 0,2 \left(\frac{T_{II}}{T_X - 1} \right) \right].$$

Основная погрешность цифровых измерений временных параметров сигнала в диапазоне от 100 мкс до 100 мс для размера изображения по экрану не менее 4 дел не превышает значений, определяемых по формуле

$$d_{T(t)} = \pm \left[1 + 0,2 \left(\frac{T_{II}}{T_X - 1} \right) \right],$$

где δ_T – основная погрешность цифровых измерений временных интервалов, %;

T_{II} – значение предела измерения (поддиапазона) $1 \cdot 10^{-6}$; $1 \cdot 10^{-5}$; $1 \cdot 10^{-4}$; $1 \cdot 10^{-3}$; $1 \cdot 10^{-2}$; 0,1 с.

T_X – значение измеряемого интервала, с.

К.2.11 Осциллограф обеспечивает свои технические характеристики в пределах норм, установленных ТУ, по истечении времени установления рабочего режима, равного 15 мин.

К.3 Подготовка прибора к работе

К.3.1 Перед включением осциллографа органы управления, расположенные на передней панели, установите в следующие положения:

- ручку «СЕТЬ» в нажатое положение;
- ручку «☼» в среднее положение;
- ручку «О» в среднее положение;
- ручку «↔» в среднее положение;
- ручку «НОРМ. ИЗМ» в нажатое положение;
- ручки «↑» в среднее положение;
- ручки «ПЛАВНО» переключателей «V/ДЕЛ» и «ВРЕМЯ/ДЕЛ» в крайнее правое положение;
- переключатель «ОДНОКР. ЖДУЩ. АВТ» в положение «АВТ»;
- переключатель «ВНУТР. ВНЕШН. СЕТЬ» в положение «ВНУТР.»;
- ручки «МЕТКИ I, II» в среднее положение.

Остальные органы управления могут быть в произвольных положениях.

К.4 Порядок работы

К.4.1 Проведение измерений

К.4.1.1 Цифровое измерение амплитудных параметров сигнала проводится следующим образом:

- 1) подайте на вход (Б) через кабель исследуемый сигнал, установив переключатель макета в положение «2»;
- 2) переключатель «СИНХР. РЕЖИМ» установите в положение Б;
- 3) переключатель режима развертки установите в положение «АВТ»;
- 4) переключатель режима синхронизации установите в положение «ВНУТР»;
- 5) ручку «TV» установите в положение «V»;
- 6) переключателями «V/ДЕЛ», «ВРЕМЯ/ДЕЛ», ручками « \updownarrow », « \leftrightarrow » и «УРОВ» установите на экране ЭЛТ удобный для измерения размер изображения сигнала;
- 7) ручкой « \updownarrow » совместите одну из точек измеряемого по амплитуде участка изображения сигнала с горизонтальной линией шкалы ЭЛТ;
- 8) ручкой «УСТ. 0» установите нуль (с точностью единицы последнего разряда) на цифровом индикаторе;
- 9) ручкой « \updownarrow » совместите вторую точку измеряемого по амплитуде участка изображения сигнала с той же горизонтальной линией шкалы ЭЛТ;
- 10) прочтите на цифровом индикаторе значение измеренного амплитудного параметра сигнала.

К.4.1.2 Цифровые измерения временных параметров сигнала производятся следующим образом:

- 1) подайте на вход канала Б через кабель исследуемый сигнал (переключатель макета в положении «2»);
- 2) переключатель «СИНХР. РЕЖИМ» установите в положение «А и Б» (синхронизация по каналу Б);
- 3) переключатель режима развертки установите в положение «АВТ»;
- 4) переключатель режима синхронизации установите в положение «ВНУТР»; «НОРМ. ИЗМ» – в положение «ИЗМ»;
- 5) ручку «TV» установите в положение «Т»;
- 6) переключателями «V/ДЕЛ», «ВРЕМЯ/ДЕЛ», ручками « \updownarrow », « \leftrightarrow » канала Б и «УРОВ» установите на экране ЭЛТ удобный для измерения размер изображения сигнала;
- 7) переключателем «V/ДЕЛ» и ручкой « \updownarrow » установите удобный размер и положение меток на экране ЭЛТ;
- 8) ручками «МЕТКИ I, II» и « \updownarrow » канала А установите метки в граничных точках измеряемого временного интервала;
- 9) прочитайте на цифровом индикаторе значение измеренного временного интервала.

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

Штангенциркули ШЦ-I, ШЦ-II, ШЦ-III

Л.1 Назначение

Штангенциркули служат для измерения наружных и внутренних размеров, глубины, высоты, а также для разметки деталей.

Л.2 Технические и метрологические характеристики

Л.2.1 В соответствии с ГОСТ 166-80 пределы измерения: для ШЦ-I – 0-125 мм; для ШЦ-II и ШЦ-III – 0-160; 0-200; 0-250 мм.

Л.2.2 Цена деления нониуса: для ШЦ-I – 0,1 мм ; для ШЦ-II и ШЦ-III – 0,1 или 0,05 мм.

Л.2.3 Допустимая основная погрешность составляет: для ШЦ-I – $\pm 0,05$ мм; для ШЦ-II и ШЦ-III при цене деления нониуса 0,1 мм – $\pm 0,06$ мм для участка шкалы от 0 до 100 мм; $\pm 0,07$ мм для участка шкалы от 100 до 200 мм; $\pm 0,08$ мм для участка шкалы от 200 до 250 мм; для ШЦ-II и ШЦ-III при цене деления нониуса 0,05 мм – $\pm 0,05$ мм.

ПРИЛОЖЕНИЕ М

Штангенглубиномеры ШГ

М.1 Назначение

Штангенглубиномеры предназначены для измерения расстояний между параллельными поверхностями уступов, расточек, глубины отверстий канавок, пазов и т.п.

М.2 Технические и метрологические характеристики

М.2.1 В соответствии с ГОСТ 162-80 штангенглубиномеры выпускаются с пределами измерения 0–160; 0–200; 0–250; 0–315; 0–400 мм.

М.2.2 Цена деления по нониусу составляет 0,05 мм.

М.2.3 Допустимая погрешность штангенглубиномеров составляет $\pm 0,05$ мм.

Библиотека ВГУМР

ПРИЛОЖЕНИЕ Н

Микрометр МК

Н.1 Назначение

Микрометры предназначены для измерения наружных размеров.

Н.2 Технические и метрологические характеристики

Н.2.1 В соответствии с ГОСТ 6507-78 микрометры выпускаются со следующими пределами измерений: 0–25; 25–50; 50–75; 75–100; 100–125; 125–150; 150–175; 175–200; 200–225; 225–250; 250–275; 275–300; 300–400; 400–500; 500–600 мм.

Н.2.2 Цена деления микрометра составляет 0,01 мм.

Н.2.3. Допустимая погрешность составляет $\pm 0,004$ мм для диапазонов 0–25; 25–50; 50–75; 75–100 мм; $\pm 0,005$ мм для диапазонов 100–125; 125–150; 150–175; 175–200 мм.

ПРИЛОЖЕНИЕ П

Микрометрический нутрометр НМ

П.1 Назначение

Микрометрические нутромеры применяются для измерения внутренних размеров деталей.

П.2 Технические и метрологические характеристики

П.2.1 В соответствии с ГОСТ 10-75 микрометрические нутромеры выпускаются с пределами 50–75; 75–175; 75–600; 150–1250; 800–2500; 1250–4000; 2500–600; 4000–10 000 мм.

П.2.2 Цена деления микрометрического нутромера составляет 0,01 мм.

П.2.3 Допустимая погрешность составляет $\pm 0,004$ мм для диапазона 50–75 мм; $\pm 0,006$ мм для диапазона 75–175 мм.

Библиотека БГУИР

ПРИЛОЖЕНИЕ Р
Микрометрические глубиномеры типа ГМ

Р.1 Назначение

Микрометрические глубиномеры предназначены для измерения глухих или ступенчатых отверстий, пазов, выемок.

Р.2 Технические характеристики

Р.2.1 В соответствии с ГОСТ 7470-78 микрометрические глубиномеры выпускаются с пределами измерений 0–75; 0–100 и 100–150 мм.

Р.2.2 Цена деления микрометрического глубиномера составляет 0,01 мм.

Р.2.3 Допустимая погрешность составляет $\pm 0,005$ мм для диапазонов 0–75; 0–100; $\pm 0,006$ мм для диапазона 100–150 мм.

Библиотека БГУМР

ПРИЛОЖЕНИЕ С

Индикаторная скоба СИ

С.1 Назначение

Индикаторные скобы типа СИ предназначены для измерения размеров деталей 9–12 квалитетов точности.

С.2 Технические и метрологические характеристики

С.2.1 Диапазон измерения 0–50 мм.

С.2.2 Диапазон отсчетного устройства ± 3 мм.

С.2.3 Цена деления отсчетного устройства 0,01 мм.

С.2.4 Допустимая основная погрешность составляет $\pm 0,005$ мм на участке шкалы $\pm 0,1$ мм от нулевого штриха; $\pm 0,008$ мм на участке шкалы свыше $\pm 0,1$ мм от нулевого штриха.

С.3 Конструкция индикаторной скобы

Общий вид индикаторной скобы приведён на рисунке С.1. В корпусе 1 с одной его стороны установлен индикатор 5 часового типа с арретиром 6. Подвижная пятка 4 постоянно отжимается в сторону объекта измерения измерительным наконечником индикатора и специальной пружиной. Переставная пятка 3 при освобожденном стопоре 2 и снятом колпачке может перемещаться в пределах до 50 мм. Упор 7 при настройке скобы устанавливается так, чтобы линия измерения проходила через ось объекта измерения. Индикаторы скобы снабжены накладками 8 из теплоизоляционного материала.

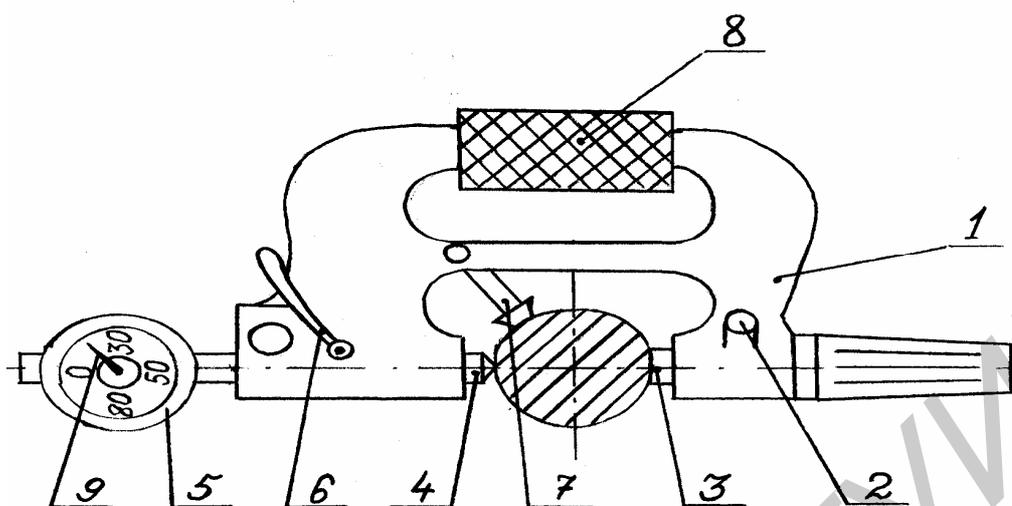


Рисунок С.1 – Конструкция индикаторной скобы

С.4 Проведение измерений

Для настройки скобы на нулевое деление предварительно используют блок плоскопараллельных концевых мер длины (ПКМД), которые соответствуют номинальному значению размера изделия. Для этого освобождают стопор переставной пятки и снимают предохранительный колпачок. Установив блок ПКМД между измерительными поверхностями и перемещая одновременно переставную пятку, устанавливают стрелку на нулевое деление, после чего осторожно, чтобы не сбить нулевую отметку, переставную пятку стопорят и закрывают защитным колпачком. Проверяют стабильность показаний отсчетного устройства. Для этого, нажимая на арретир, отводят подвижную пятку три раза от блока ПКМД. При этом стрелка не должна смещаться с нулевой отметки более чем на половину деления. Снова нажав на арретир, вынимают блок ПКМД.

При измерении скобу необходимо держать так, чтобы ее полная масса не передавалась на подвижную пятку. Нажав на арретир, между измерительными поверхностями пяток вводят деталь, затем, отпустив арретир, отсчитывают показания по шкале отсчетного устройства с учетом знака «+» или «-». Действительный размер детали определяется суммированием номинального размера ПКМД и отклонения по шкале отсчетного устройства.

ПРИЛОЖЕНИЕ Т

Инструментальный микроскоп ММИ-2

Т.1 Назначение

Микроскоп малый инструментальный типа ММИ-2 предназначен для измерения линейных размеров в прямоугольных координатах, а также элементов профиля наружных резьб, углов, конусов, радиусов, рабочих размеров различных шаблонов и т.п.

Т.2 Технические характеристики

Т.2.1 Пределы измерения линейных размеров:	
в продольном направлении, мм, не менее	0–75
в поперечном направлении, мм, не менее	0–25
Т.2.2 Пределы измерения микрометрическими винтами, мм ..	0–25
Т.2.3 Пределы измерения плоских углов, град.....	0–360
Т.2.4 Пределы поворота стола, град.....	0– ±5
Т.2.5 Увеличение визирного микроскопа, крат.	10; 30; 50
Т.2.6 Увеличение объективов, крат.	1; 3; 5
Т.2.7 Поле зрения визирного микроскопа в зависимости от увеличения	21; 7; 4,2
Т.2.8 Цена деления:	
шкал барабанов микрометрических винтов, мм	1
окулярной угломерной головки, угл. минут	0,005
Т.2.9 Предел допускаемой основной погрешности прибора:	
при измерении линейных размеров микрометрическими винтами, мкм	±3
при измерении плоских углов с помощью окулярной угломерной головки, угл. минут	±1

Т.3 Проведение измерений

Т.3.1 Измерение линейных размеров

Выбор метода измерения зависит от конфигурации, размеров и других особенностей объекта. При измерении размеров, контур которых не перекрывается какими-либо выступающими частями, работу следует вести в проходящем свете. При измерении размеров, контур которых заслонен от проходящего света, пользуются отраженным светом.

При измерении в проходящем свете в сеть включают осветитель, а объект измерения устанавливают на предметное стекло так, чтобы были видны контуры измеряемого размера. Отжав стопор, вращая маховичок кронштейна микроскопа, добиться резкого изображения контура объекта измерения, и это положение зафиксировать стопором. Вращением тубуса осветителя добиться необходимой контрастности изображения. Вращением визирного окуляра микроскопа добиться четкого изображения визирной сетки. Вращением микрометрических винтов подвести одну из крайних точек измеряемого размера к перекрестию визирных линий и, перемещая объект измерения с помощью одного из микрометрических винтов в направлении измеряемого размера, проследить, чтобы линия размера перемещалась строго параллельно перекрестию визирных линий. При необходимости параллельности перемещения следует добиться с помощью механизма поворота стола. Далее, вращая маховичок на угломерной головке, установить одну из визирных линий перпендикулярно измеряемому размеру, а объект измерения так, чтобы эта визирная линия находилась за пределами размера. Плавно вращая барабан микрометрического винта, подвести ближайшую точку, ограничивающую размер, к выбранной визирной линии и снять показания по отсчетной шкале микрометрического винта. Вращая барабан микрометрического винта в том же направлении, подвести другую точку, ограничивающую размер, к той же визирной линии и снять показания по отсчетной шкале микрометрического винта. Разность между показаниями дает действительное значение измеряемого размера. Для уменьшения погрешности измерения за счет неточности установки точек, ограничивающих размер, на визирную линию следует провести несколько измерений и за результат принять их среднее значение.

При проведении измерений в отраженном свете включают, при необходимости, осветитель, закрепленный на объективе микроскопа. Остальные операции производят в той же последовательности, что и при наблюдении в проходящем свете.

ПРИЛОЖЕНИЕ У
Допускаемые погрешности измерений в зависимости
от допусков

Таблица У.1 – Пределы допускаемых погрешностей измерения в мкм для допусков по системе ОСТ

Ряды пределов допускаемых погрешностей измерения										
Номинальные размеры в мм	1		2		3		4		5	
	$\Delta_{изд}$	$\delta_{изм}$								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Св. 1 до 3	1,2	0,4	2,0	0,7	3	1,0	4	1,4	6	1,8
« 3 « 6	1,5	0,5	2,5	0,8	4	1,4	5	1,7	8	2,5
« 6 « 10	1,5	0,5	2,5	0,8	4	1,4	6	2,0	9	2,5
« 10 « 18	2,0	0,7	3,0	1,0	5	1,7	8	2,8	11	3,0
« 18 « 30	2,5	0,8	4,0	1,4	6	2,0	9	3,0	13	4,0
« 30 « 50	2,5	0,8	4,0	1,4	7	2,4	11	4,0	15	4,5
« 50 « 80	3,0	1,0	5,0	1,7	8	2,8	13	4,5	18	5,5
« 80 « 120	4,0	1,4	6,0	2,0	10	3,5	15	5,0	21	6,0
« 120 « 180	5,0	1,7	8,0	2,8	12	4,0	18	6,0	24	7,0
« 180 « 260	7,0	2,4	10,0	3,5	14	4,5	20	7,0	27	8,0
« 260 « 360	8,0	2,8	12,0	4,0	16	5,5	23	8,0	30	9,0
« 360 « 500	10,0	3,5	15,0	5,0	20	7,0	27	9,0	35	11,0

Продолжение таблицы У.1

Ряды пределов допускаемых погрешностей измерения										
Номинальные размеры в мм	6		7		8		9		10	
	$\Delta_{изд}$	$\delta_{изм}$								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Св. 1 до 3	10	3	14	3,5	20	5	33	6	40	8
« 3 « 6	13	4	18	4,5	25	6	40	7	48	10
« 6 « 10	16	5	22	5,5	30	7	50	10	58	12
« 10 « 18	19	6	27	7,0	35	8	60	12	70	15
« 18 « 30	23	7	33	8,0	40	11	70	14	84	15
« 30 « 50	27	8	39	10,0	45	12	85	15	100	20
« 50 « 80	30	9	46	11,0	50	15	100	20	120	25
« 80 « 120	35	11	54	13,0	60	17	115	20	140	30
« 120 « 180	40	12	63	16,0	70	20	135	25	160	30
« 180 « 260	45	13	73	18,0	80	20	150	30	185	40
« 260 « 360	50	15	84	20,0	90	25	170	35	215	40
« 360 « 500	60	18	95	25,0	100	30	190	40	250	50

Продолжение приложения У

Продолжение таблицы У.1

Ряды пределов допускаемых погрешностей измерения										
Номинальные размеры в мм	11		12		13		14		15	
	$\Delta_{изд}$	$\delta_{изм}$								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Св. 1 до 3	60	12	120	25	250	50	400	80	600	120
« 3 « 6	80	15	160	30	300	60	480	100	750	150
« 6 « 10	100	20	200	40	360	70	580	100	900	200
« 10 « 18	120	25	240	50	430	80	700	150	1100	200
« 18 « 30	140	30	280	60	520	100	840	150	1300	250
« 30 « 50	170	30	340	60	620	120	1000	200	1600	300
« 50 « 80	200	40	400	80	740	150	1200	250	1900	400
« 80 « 120	230	40	460	90	870	170	1400	250	2200	400
« 120 « 180	260	50	530	100	1000	200	1600	300	2500	500
« 180 « 260	300	60	600	120	1150	200	1900	400	2900	600
« 260 « 360	340	70	680	140	1350	250	2200	400	3300	600
« 360 « 500	380	70	760	150	1550	300	2500	500	3800	700

ЛИТЕРАТУРА

1 Дерябина, М. Ю. Планирование измерительного эксперимента и обработка результатов измерений : учеб.-метод. пособие для студ. спец. I-54 01 01 «Метрологическое обеспечение информационных систем и сетей» днев. формы обуч. / М. Ю. Дерябина. – Минск : БГУИР, 2007. – 98 с.

2 Математическая теория планирования эксперимента / под ред. С. М. Ермакова. – М. : Наука, 1983.

3 Новицкий, П. В. Оценка погрешностей результатов измерений / П. В. Новицкий, И. А. Зограф. – Л. : Энергоатомиздат, Ленингр. отд., 1985.

4 Мудров, В. И. Методы обработки измерений / В. И. Мудров, В. Л. Кушко. – М. : Сов. радио, 1976.

5 Кузнецов, В. А. Основы эксплуатации средств измерений / В. А. Кузнецов, А. Н. Пашков, О. А. Подольский. – М. : Радио и связь, 1984.

6 Фрумкин, В. Д. Достоверность контроля средств радиоизмерений и контрольные допуски / В. Д. Фрумкин, Н. А. Рубичев, А. Д. Котляр. – М. : Изд-во стандартов, 1975.

7 ГОСТ 24026-80 Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения.

8 МИ 2091-90 (рекомендация). «ГСИ. Измерения физических величин. Общие требования».

9 МИ 1552-86 «ГСИ. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешности результата измерения».

10 ГОСТ 8.207-76 «Измерения прямые многократные. Оценивание погрешности результата измерения».

11 МИ 2083-90 «Измерения косвенные. Определение результата измерений и оценивание их погрешностей».

12 МИ 1832-88 «ГСИ. Сличение групп средств поверки одинакового уровня точности. Основные правила».

13 МИ 1317-86 «ГСИ. Результаты и характеристики погрешностей измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров».

14 МИ 2091-90 «Способы выражения результата измерения».

Учебное издание

Дерябина Марина Юрьевна

**ПЛАНИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА
И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ**

Лабораторный практикум
для студентов специальности I-54 01 01
«Метрологическое обеспечение систем и сетей»
дневной формы обучения

Редактор Е. Н. Батурчик
Корректор М. В. Тезина

Подписано в печать 09.06.2008.
Гарнитура «Таймс».
Уч.-изд. л. 4,0.

Формат 60×84 1/16.
Печать ризографическая.
Тираж 75 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л.
Заказ 16.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП №02330/0131666 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6