

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до курсової роботи
з дисципліни
“Основи метрології та вимірювальної техніки”**

Харків 2006

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до курсової роботи з дисципліни
“Основи метрології та вимірювальної техніки”

для студентів усіх форм навчання спеціальностей
7.091302 – Метрологія та вимірювальна техніка
7.000001 – Якість, стандартизація та сертифікація

ЗАТВЕРДЖЕНО
кафедрою метрології
та вимірювальної техніки
Протокол № 8 від 17.03.2005 р.

Харків 2006

Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни “Основи метрології та вимірювальної техніки” для студентів усіх форм навчання спеціальностей 7.091302 – Метрологія та вимірювальна техніка, 7.000001 – Якість, стандартизація та сертифікація, ч. 1 / Упоряд.: І.П. Захаров, М.П. Сергієнко, Н.В. Штефан. – Харків: ХНУРЕ, 2006. – с.

Упорядники: І.П. Захаров
 М.П. Сергієнко
 Н.В. Штефан

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Курс “Основи метрології та вимірювальної техніки” – базовий для спеціалістів в галузі розробки, виготовлення та експлуатації засобів вимірювань. Без глибоких знань в цій галузі неможливе не тільки створення та вдосконалення нових вимірювальних приладів та систем, але й правильне застосування існуючого парку вимірювальної апаратури для отримання розмірів фізичних величин з потрібною точністю та визначення ступеню їх вірогідності.

Важливим елементом учбового процесу є курсова робота, призначена для закріплення лекційного матеріалу і набуття практичних навичок обробки експериментальних даних.

Мета методичних вказівок – надання допомоги студентам у виконанні курсової роботи. В даному виданні сформульовані мета та задачі курсової роботи, вимоги до оформлення розрахунково-пояснювальної записки, її змісту, надані відомості з теорії та практичні рекомендації з виконання окремих етапів курсової роботи з посиланнями на літературу, варіанти індивідуальних завдань.

1 МЕТА ТА ЗАДАЧІ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Мета курсової роботи – поглиблене вивчення розділів курсу “Основи метрології та вимірювальної техніки”, присвячених питанням обробки результатів вимірювального експерименту, оцінювання та зменшення похибок вимірювань.

Під час виконання курсової роботи вирішуються наступні задачі:

- розвиток навичок самостійного вирішування метрологічних задач і вдосконалення метрологічної підготовки в цілому;
- засвоєння основних прийомів постановки вимірювального експерименту;
- систематизація, закріплення та поглиблення теоретичних та практичних знань з обробки результатів багаторазових вимірювань;
- набуття навичок застосування сучасних методів обробки результатів вимірювань за допомогою стандартних математичних і статистичних пакетів;
- активізація роботи з довідковою та технічною літературою з метрології.

2 ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ

В курсовій роботі необхідно отримати аналітичний вираз для емпіричної характеристики заданого чотиріполюсника шляхом обробки результатів багаторазових вимірювань. Тип чотиріполюсника та досліджуваної характеристики в залежності від варіанта наведені в табл. 2.1.

Вид вимірюваних величин та їх одиниці вимірювання наведені в табл. 2.2

Таблиця 2.2 – Вид вимірюваних величин та їх розмірність

№ варіанту	Величина y	Величина x
1, 7, 13, 19, 25, 31, 37, 43, 49, 55, 61, 67, 73, 79, 85, 91, 97, 103, 109, 115, 121, 127, 133, 139, 145	Напруга, В	Опір, кОм
2, 8, 14, 20, 26, 32, 38, 44, 50, 56, 62, 68, 74, 80, 86, 92, 98, 104, 110, 116, 122, 128, 134, 140, 146	Напруга, В	Струм, А
3, 9, 15, 21, 27, 33, 39, 45, 51, 57, 63, 69, 75, 81, 87, 93, 99, 105, 111, 117, 123, 129, 135, 141, 147	Напруга, В	Частота, кГц
4, 10, 16, 22, 28, 34, 40, 46, 52, 58, 64, 70, 76, 82, 88, 94, 100, 106, 112, 118, 124, 130, 136, 142, 148	Напруга, В	Опір, кОм
5, 11, 17, 23, 29, 35, 41, 47, 53, 59, 65, 71, 77, 83, 89, 95, 101, 107, 113, 119, 125, 131, 137, 143, 149	Напруга, В	Частота, кГц
6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66, 72, 78, 84, 90, 96, 102, 108, 114, 120, 126, 132, 138, 144, 150	Напруга, В	Напруга, В

Досліджувана характеристика вимірюється в десяти дискретних точках x_i . В кожній точці проводиться 20 спостережень шуканої функції y_i . Вся сукупність вказаних спостережень проводиться повторно в інших умовах. Отже, в результаті проведення експерименту отримано дві серії спостережень, кожна з яких складається з десяти вибірок, що містять по 20 спостережень в кожній. Результати вимірювань для кожного варіанту наведено в табл. А.1 додатку А.

Таблиця 2.1 – Варіанти індивідуальних завдань

№ в-та	Тип чотириполюсника	Досліджувана характеристика	Клас точності засобу вимірювання y	Клас точності засобу вимірювання x
1, 7, 13, 19, 25, 31, 37, 43, 49, 55, 61, 67, 73, 79, 85, 91, 97, 103, 109, 115, 121, 127, 133, 139, 145	підсилювач змінного струму	залежність коефіцієнту підсилення від опору зворотного зв'язку		$\delta = \pm \left[0,02 + 2 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\left \frac{R_k}{R_x} \right - 1 \right) \right], \%$ де $R_k = 100$ кОм.
2, 8, 14, 20, 26, 32, 38, 44, 50, 56, 62, 68, 74, 80, 86, 92, 98, 104, 110, 116, 122, 128, 134, 140, 146	перетворювач напруга-струм	статична характеристика перетворення	$\delta = \pm \left[0,2 + 0,1 \cdot \left(\left \frac{U_k}{U_x} \right - 1 \right) \right], \%$ де $U_k = 1$ В, якщо $y_{\max} < 1$; $U_k = 10$ В, якщо $1 < y_{\max} < 10$;	$\delta = \pm \left(0,1 + 0,33 \frac{I_k}{I_x} \right), \%$ де $I_k =$
3, 9, 15, 21, 27, 33, 39, 45, 51, 57, 63, 69, 75, 81, 87, 93, 99, 105, 111, 117, 123, 129, 135, 141, 147	фільтр ВЧ	АЧХ	Якщо $y_{\max} < 1$, то $\delta = \pm \left[0,2 + 0,05 \cdot \left(\left \frac{U_k}{U_x} \right - 1 \right) \right], \%$ де $U_k = 1$ В; якщо $1 < y_{\max} < 10$, то $\delta = \pm \left[0,5 + 0,05 \cdot \left(\left \frac{U_k}{U_x} \right - 1 \right) \right], \%$ де $U_k = 10$ В.	$\delta = \pm \left(2 + \frac{30}{f_n} \right), \%$ де $f_n =$ кГц

4, 10, 16, 22, 28, 34, 40, 46, 52, 58, 64, 70, 76, 82, 88, 94, 100, 106, 112, 118, 124, 130, 136, 142, 148	підсилювач змінної напруги	залежність коефіцієнту підсилення від опору зворотного зв'язку	<p>Якщо $y_{\max} < 1$, то</p> $\delta = \pm \left[0,2 + 0,05 \cdot \left(\left \frac{U_k}{U_x} \right - 1 \right) \right], \%$ <p>де $U_k = 1$ В;</p> <p>якщо $1 < y_{\max} < 10$, то</p> $\delta = \pm \left[0,5 + 0,05 \cdot \left(\left \frac{U_k}{U_x} \right - 1 \right) \right], \%$ <p>де $U_k = 10$ В.</p>	$\delta = \pm \left[0,02 + 2 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\left \frac{R_k}{R_x} \right - 1 \right) \right], \%$ <p>де $R_k = 100$ кОм.</p>
5, 11, 17, 23, 29, 35, 41, 47, 53, 59, 65, 71, 77, 83, 89, 95, 101, 107, 113, 119, 125, 131, 137, 143, 149	фільтр НЧ	АЧХ	<p>Якщо $y_{\max} < 1$, то</p> $\delta = \pm \left[0,2 + 0,05 \cdot \left(\left \frac{U_k}{U_x} \right - 1 \right) \right], \%$ <p>де $U_k = 1$ В;</p> <p>якщо $1 < y_{\max} < 10$, то</p> $\delta = \pm \left[0,5 + 0,05 \cdot \left(\left \frac{U_k}{U_x} \right - 1 \right) \right], \%$ <p>де $U_k = 10$ В.</p>	$\delta = \pm \left(2 + \frac{30}{f_n} \right), \%$ <p>де $f_n =$ кГц</p>
6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66, 72, 78, 84, 90, 96, 102, 108, 114, 120, 126, 132, 138, 144, 150	логарифмічний підсилювач	статична характеристика перетворення	<p>Якщо $y_{\max} < 1$, то</p> $\delta = \pm \left[0,2 + 0,05 \cdot \left(\left \frac{U_k}{U_x} \right - 1 \right) \right], \%$ <p>де $U_k = 1$ В;</p> <p>якщо $1 < y_{\max} < 10$, то</p>	$\delta = \pm \left[0,5 + 0,05 \cdot \left(\left \frac{U_k}{U_x} \right - 1 \right) \right], \%$ <p>де $U_k = 10$ В.</p>

			$\delta = \pm \left[0,5 + 0,05 \cdot \left(\left \frac{U_k}{U_x} \right - 1 \right) \right], \%$ <p>де $U_k = 10 \text{ В}$.</p>	
--	--	--	---	--

В таблиці: ВЧ – висока частота; НЧ – низька частота; АЧХ – амплітудно-частотна характеристика

3 СТРУКТУРА ТА ЗМІСТ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Курсову роботу виконують у вигляді розрахунково-пояснювальної записки, яка містить:

- титульний аркуш;
- завдання;
- реферат;
- зміст;
- вступ;
- основну частину;
- висновок;
- перелік посилань;
- додатки (в разі потреби).

Розрахунково-пояснювальна записка оформлюється відповідно вимогам [1].

Приклади оформлення титульного аркуша та завдання наведені відповідно у додатку В та додатку Г.

Реферат повинен містити:

- відомості про обсяг звіту, кількість частин звіту, кількість ілюстрацій, таблиць, додатків, кількість джерел згідно з переліком посилань;
- текст реферату.

У тексті реферату необхідно навести такі дані: об'єкт дослідження або розроблення, мету роботи, методи дослідження та апаратуру, результати.

У вступі слід сформулювати призначення досліджуваного чотириполюсника, перелічити його основні характеристики, підкреслити особливості визначення заданої характеристики, основні джерела випадкових та систематичних похибок, мету проведення вимірювань з багаторазовими спостереженнями.

В основній частині послідовно викладається зміст роботи, виконаної відповідно до завдання. Для знаходження шуканої характеристики необхідно провести статистичну обробку отриманих результатів у такому порядку:

- визначити оцінки математичного очікування та середнього квадратичного відхилення результату вимірювання для кожної групи спостережень;
- визначити статистичну однорідність відповідних груп спостережень;
- перевірити нормальність розподілу випадкових похибок результатів спостережень;
- визначити вигляд емпіричної залежності та оцінити її параметри;
- визначити вплив похибки засобу вимірювання.

У висновку необхідно сформулювати конкретні підсумки за результатами роботи.

Перелік посилань повинен містити всі джерела та документи, що використовувалися під час розробки курсової роботи, зведені до перенумерованого списку в порядку, за яким вони вперше згадуються в тексті. Бібліографічні опи-

си посилань у переліку наводять відповідно до чинних стандартів з бібліотечної та видавничої справи, як правило, мовою оригіналу.

4 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

4.1 Визначення оцінок математичного очікування та середнього квадратичного відхилення результату вимірювання

До оцінок висуваються вимоги спроможності, незміщеності та ефективності [2, 3].

Спроможною називається оцінка, яка зі збільшенням вибірки наближається до істинного значення характеристики.

Незміщеною називається оцінка, математичне очікування (МО) якої дорівнює самій характеристиці.

Ефективною називається оцінка, що має найменшу дисперсію (розсіювання) у порівнянні з іншими.

Вибір тієї чи іншої оцінки залежить від закону розподілу результатів спостережень. Тому для визначення закону побудуйте гістограми розподілу спостережень в кожній точці x_i емпіричної характеристики для кожної з двох серій спостережень.

Для побудови гістограми необхідно розташувати результати спостережень в порядку зростання, розбити весь діапазон на інтервали, підрахувати кількість спостережень в кожному інтервалі, після цього можна графічно побудувати гістограму, відклавши за віссю абсцис межі інтервалів і надбудувавши над ними стовпчики висотою в кількість спостережень (m_j), які потрапили в відповідний інтервал. Докладно процедура побудови гістограми викладена в [2–4]. Для вибірки з 20 спостережень при побудові гістограми рекомендується взяти чотири інтервали розбиття.

Побудовані гістограми розподілу результатів спостережень наведіть у вигляді табл. 4.1

Таблиця 4.1 – Гістограми результатів спостережень в кожній групі

x_i	I серія	II серія
x_1		
x_2		
.		
.		
.		
x_{10}		

Проаналізуйте отримані дані (табл. 4.1). Для невеликої кількості спостережень за гістограмами важко оцінити закон розподілу, тоді для визначення ефективної оцінки можна скористатися методикою [4], у відповідності до якої ефективні оцінки МО \hat{M} визначаються в залежності від значення оцінки ексцесу \hat{E} за формулами, наведеними в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Ефективні оцінки МО

\hat{E}	$<-0,75$	$-0,75\dots 2$	>2
\hat{M}	$y_{cp} = \frac{y_{\min} + y_{\max}}{2}$	$\bar{y} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y_i$	$\hat{Me} = \begin{cases} y_{\frac{k+1}{2}}, & k - \text{непарне} \\ \frac{y_{\frac{k}{2}} + y_{\frac{k+1}{2}}}{2}, & k - \text{парне} \end{cases}$

Для $\hat{E} < -0,75$ розподіл близький до рівномірного і найбільш доцільно оцінкою МО в цьому випадку вважати середнє арифметичне границь варіаційного ряду y_{cp} .

Для $-0,75 < \hat{E} < 2$ розподіл близький до нормального, тоді за оцінку МО краще взяти середнє арифметичне \bar{y} .

Для $\hat{E} > 2$ розподіл близький до експоненціального і за оцінку МО краще взяти оцінку медіани \hat{Me} .

Наведені в табл. 4.2 оцінки є незміщеними та спроможними для відповідних законів розподілу.

Для кожної i -тої групи значення оцінки ексцесу розподілу визначається за формулою

$$\hat{E}_i = \frac{\sum_{j=1}^k (y_{ij} - \bar{y}_i)^4}{kS_i^4} - 3 \quad (4.1)$$

де y_{ij} – i -те спостереження в j -ій групі;

k – кількість спостережень в групі;

S_i – оцінка СКВ результату спостереження, яка визначається за формулою:

$$S_i = \sqrt{\frac{1}{k-1} \sum_{j=1}^k (y_{ij} - \bar{y}_i)^2} ; \quad (4.2)$$

\bar{y}_i – середнє арифметичне результатів спостережень в кожній групі, яке визначається за формулою:

$$\bar{y}_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k y_{ij} . \quad (4.3)$$

Результати визначення \hat{E}_{II} , \hat{E}_{III} для кожної групи першої та другої серії занесіть в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Розраховані оцінки ексцесів вибірок

x_i	x_1	x_2	...	x_{10}
\hat{E}_{iI}				
\hat{E}_{iII}				

У зв'язку з тим, що в кожній групі задана невелика кількість спостережень, обчислені результати ексцесів для першої і другої серії будуть істотно відрізнятися, що означає неможливість визначення закону розподілу в групах за цими значеннями. Це може бути викликано значною розсіяністю оцінки ексцесу при малій кількості спостережень, тому необхідно визначити ексцес сукупності вибірок для кожної серії.

Для визначення оцінки ексцесу необхідно розрахувати значення випадкових похибок результатів спостережень за виразом:

$$\Delta y_{ij} = y_{ij} - \bar{y}_i.$$

Значення Δy_{ij} для першої та другої серії занести в таблиці за прикладом табл.4.4.

Таблиці 4.4 – Значення випадкової похибки результатів спостережень

x_i	x_1	x_2	...	x_{10}
Δy_{i1}				
Δy_{i2}				
...				
Δy_{i20}				

Значення ексцесу для першої та другої серій знаходять за формулою:

$$\hat{E}_{I,II}(\Delta y) = \frac{\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^k (\Delta y_{ij} - \bar{\Delta y}_{I,II})^4}{n \cdot S_{I,II}^4(\Delta y)} - 3, \quad (4.4)$$

де Δy_{ij} – випадкові похибки результатів спостережень;

l – кількість точок x_i ;

n – кількість спостережень в серії, $n = l \cdot k$;

$S_{I,II}(\Delta y)$ – СКО випадкових похибок в першій або другій серіях, що визначається за формулою:

$$S_{I,II}(\Delta y) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^k (\Delta y_{ij} - \bar{\Delta y}_{I,II})^2}; \quad (4.5)$$

$\bar{\Delta}y_{I,II}$ – середнє арифметичне розподілу випадкових похибок для серії спостережень, яке визначається за формулою:

$$\bar{\Delta}y_{I,II} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^k \Delta y_{ij} . \quad (4.6)$$

Розраховані значення ексцесів за формулою (4.4) занесіть в таблицю 4.5.

Таблиця 4.5 – Значення ексцесів для кожної серії спостережень

Розрахований параметр	I серія	II серія
\hat{E}		

В залежності від значення ексцесу (табл. 4.5) за таблицю 4.2 необхідно обрати вираз для визначення ефективних оцінок результатів спостережень \hat{M}_{iI} та \hat{M}_{iII} .

Для нормального закону розподілу оцінка СКВ визначається за формулою (4.2) для кожної групи в першій та другій серіях спостережень.

Розрахуйте значення меж випадкової похибки за формулою

$$\varepsilon_i = t_p S_i, \quad (4.7)$$

де t_p – довірчий коефіцієнт, який в даному випадку визначається з розподілу Ст'юдента для заданої довірчої ймовірності та числа степенів свободи $\nu = k - 1$ (див. табл. Б.1 додатку Б), оскільки кількість спостережень в кожній групі менше 30.

Результати визначення \hat{M}_{iI} , \hat{M}_{iII} , S_{iI} , S_{iII} , ε_{iI} , ε_{iII} для кожної групи першої та другої серії занесіть в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Розраховані оцінки параметрів вибірок

x_i	x_1	x_2	...	x_{10}
\hat{M}_{iI}				
\hat{M}_{iII}				
S_{iI}				
S_{iII}				
ε_{iI}				
ε_{iII}				

4.2 Визначення статистичної однорідності двох серій спостережень

Статистична однорідність декількох серій спостережень визначається для з'ясування можливості їх об'єднання з метою підвищення точності вимірювань [3].

Статистична однорідність серій спостережень полягає в виконанні наступних умов:

- спостереження в серіях розподілені за одним і тим законом;
- серії однорідні за математичним очікуванням;
- результати в серіях рівнорозсіяні (рівноточні).

При виконанні даної курсової роботи необхідно перевірити статистичну однорідність для кожної пари вибірок з двох серій спостережень, що відповідають одній і тій же точці x_i характеристики.

4.2.1 Перевірка на нормальність розподілу випадкових похибок результатів спостережень

Для перевірки на нормальність розподілу випадкових похибок необхідно:

1. Визначити за допомогою критерію Райта надмірні похибки і промахи;
2. Побудувати гістограми розподілу випадкових похибок для першої та другої серій спостережень;
3. Перевірити відповідність експериментального розподілу теоретичному, застосувавши критерій Пірсона.

Отже, спочатку необхідно визначити надмірні похибки та промахи [3, 6], за наявності яких здійснюється, як правило, хибне визначення вигляду розподілу, а значить і всі подальші процедури оцінки будуть неправильними. Підозрілий результат Δy_{ij}^* (найменше або найбільше значення) не є обтяжений надмірною похибкою чи промахом, якщо виконується нерівність

$$\beta = \frac{|\Delta y_{ij}^* - \bar{\Delta y}_{I,II}|}{S_{I,II}(\Delta y)} < t_p, \quad (4.8)$$

де $\bar{\Delta y}_{I,II}$ - середнє арифметичне випадкових похибок, яке визначається за формулою (4.6) у попередньому підрозділі;

$S_{I,II}(\Delta y)$ - оцінка СКВ випадкової похибки, яка визначається за формулою (4.5) у попередньому підрозділі;

t_p - довірчий коефіцієнт.

Коефіцієнт t_p обирається в залежності від закону розподілу для ймовірності $P = 0,9973$ для необмежених розподілів або для $P = 1$ для обмежених розподілів. Так, для нормального розподілу $t_p = 3$, для рівномірного - $\sqrt{3}$, для трикутного - $\sqrt{6}$ та ін.

Якщо в результаті перевірки, наприклад, найменшого значення із серії похибок з'ясувалось, що цей результат є обтяженим надмірною похибкою чи промахом, тоді для перевірки найбільшого значення необхідно перерахувати значення середнього арифметичного (4.6) та оцінки СКВ (4.5), виключивши результат, обтяжений надмірною похибкою чи промахом. Те ж необхідно здійснити у разі, якщо найбільше значення виявилось обтяженим надмірною похибкою чи промахом.

Результати перевірки випадкових похибок за критерієм Райта занести в табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Результати перевірки випадкових похибок за критерієм Райта

		I серія	II серія
Δy_{ij}^*	мінімальне		
	максимальне		
$\overline{\Delta y_{I,II}}$			
$S_{I,II}(\Delta y)$			
β			

Всі результати, обтяжені надмірними похибками чи промахами, виключаються з подальшого розгляду.

Число L обирається в залежності від загальної кількості спостережень n : якщо $n = 100 \div 500$, то $L = 8 \div 12$. Гістограма будується для кількості спостережень $n = 200$, якщо при перевірці за критерієм Райта не виявлено надмірних похибок чи промахів. Порядок побудови гістограми викладений у підрозділі 4.1. Вершини прямокутників отриманої гістограми необхідно з'єднати лінією, що являє собою **криву розподілу випадкових похибок результатів окремих спостережень**, як зображено на рис. 4.1. Ця крива дає найкраще уявлення про вид розподілу.

Після побудови гістограми необхідно здійснити перевірку відповідності експериментального розподілу теоретичному, для чого розроблений цілий ряд критеріїв згоди [6]. На практиці радіотехнічних вимірювань найчастіше застосовують критерій χ^2 (Пірсона). Суть критерію полягає в оцінюванні відхилення гістограми експериментальних даних від гістограми з такою ж кількістю інтервалів, але побудованої на основі теоретичного розподілу. При розрахунках використовують дані, які отримані при побудові гістограми. Для перевірки гіпотези про вид розподілу необхідно:

а) визначити диференційну функцію теоретичного розподілу. У зв'язку з тим, що закон перевіряється на нормальність, то відповідно і диференційна функція буде визначатися за виразом для нормального закону розподілу:

$$f_{\delta}(\Delta y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot S_{I,II}(\Delta y)} \cdot e^{-\frac{(\Delta y_{серJ} - \bar{\Delta y}_{I,II})^2}{2S_{I,II}^2(\Delta y)}},$$

де $\Delta y_{серJ} = \frac{y_{\min J} + y_{\max J}}{2}$ – середина J -того інтервалу;

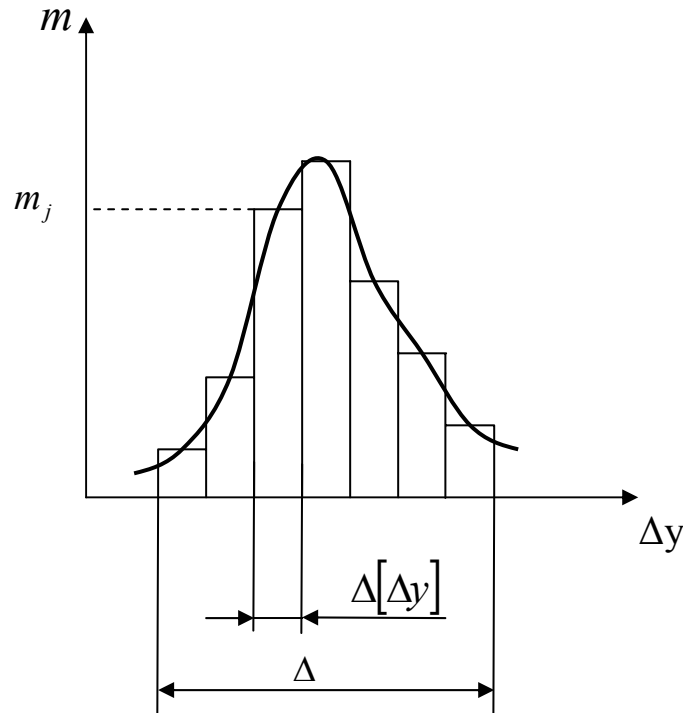


Рисунок 4.1 – Гістограма розподілу випадкових похибок

в) обчислити кількість спостережень для кожного інтервалу, що відповідає теоретичному розподілу

$$m_{j0} = n \cdot f_{\delta}(\Delta y) \cdot \Delta[\Delta y],$$

де $\Delta[\Delta y]$ – ширина інтервалу. Результати визначення занесіть в таблицю 4.8;

г) обчислити міру розбіжності теоретичного та експериментального розподілів

$$\chi^2 = \sum_{J=1}^L \frac{(m_J - m_{j0})^2}{m_{j0}},$$

де m_J – кількість спостережень для кожного інтервалу, що відповідає експериментальному розподілу. Результати визначення занесіть у таблицю 4.8;

Якщо нерівність (4.9) не виконується хоча б для однієї пари груп, то серії об'єднувати не можна. Подальша обробка проводиться для кожної серії окремо.

4.2.3 При виконанні нерівності (4.9) необхідно перевірити рівнорозсіяність спостережень в серіях. При цьому слід користуватися критерієм Фішера [3], який полягає в перевірці виконання нерівності

$$\psi \leq \psi_0, \quad (4.10)$$

де ψ визначається як $\psi = \frac{\hat{D}_{iI}}{\hat{D}_{iII}}$ або $\psi = \frac{\hat{D}_{iII}}{\hat{D}_{iI}}$ так, щоб $\psi \geq 1$; ψ_0 визначається

з таблиці розподілу Фішера для заданої ймовірності P і числа степенів свободи $r_1 = k_1 - 1$ та $r_2 = k_2 - 1$ (див. табл. Б.2);

$\hat{D}_i = S_i^2$ – оцінка дисперсії вибірки.

Якщо нерівність (4.10) виконується, то вимірювання в серіях вважаються рівноточними і оцінка результату вимірювання i -ї об'єднаної групи визначається за формулою

$$\hat{M}_i = \frac{k_1 \hat{M}_{iI} + k_2 \hat{M}_{iII}}{k_1 + k_2}. \quad (4.11)$$

При цьому оцінка її СКВ визначається за формулою

$$S_i = \sqrt{\frac{1}{(k_1 + k_2)(k_1 + k_2 - 1)} \left[\hat{D}_{iI}[k_1 - 1] + \hat{D}_{iII}[k_2 - 1] + (\hat{M}_i - \hat{M}_{iI})^2 k_1 + (\hat{M}_i - \hat{M}_{iII})^2 k_2 \right]} \quad (4.12)$$

Якщо нерівність (4.10) не виконується, то вимірювання нерівноточні. В цьому випадку оцінка результату вимірювання об'єднаних груп визначається за формулою

$$\hat{M}_i = \frac{\frac{k_1 \hat{M}_{iI}}{\hat{D}_{iI}} + \frac{k_2 \hat{M}_{iII}}{\hat{D}_{iII}}}{\frac{k_1}{\hat{D}_{iI}} + \frac{k_2}{\hat{D}_{iII}}}. \quad (4.13)$$

Оцінка СКВ оцінки (4.13)

$$S_i = \sqrt{\frac{1}{\frac{k_1}{\hat{D}_{iI}} + \frac{k_2}{\hat{D}_{iII}}}}. \quad (4.14)$$

Значення \hat{M}_i та S_i розраховують для кожного значення аргументу x_i і заносять в табл. 4.10. Туди ж заносять значення границь випадкової похибки ε_i об'єднаних груп, розраховані за формулою (4.7), в якій t_p для $(k_1 + k_2) > 30$ береться для нормального розподілу.

Таблиця 4.10 – Значення оцінок МО та СКВ об'єднаних груп

x_i	x_1	x_2	...	x_{10}
\hat{M}_i				
S_i				
ε_i				

Залежності \hat{M}_i від x_i для об'єднаних або залежності \hat{M}_{II} та \hat{M}_{III} від x_i необ'єднаних серій зобразити графічно.

4.3 Визначення вигляду емпіричної залежності та оцінювання її параметрів

На практиці шукана залежність може бути подана в різному вигляді: аналітично (формулою), графічно або у вигляді таблиці. Аналітична форма подання є найбільш зручною, оскільки вона компактна і дозволяє вирішити широке коло практичних задач.

При побудові залежності в аналітичному вигляді [3] слід дотримуватись наступного порядку дій:

1. Побудувати графік шуканої залежності $y = f(x)$.
2. Задати передбачуваний функціональний вигляд залежності

$$y = f(x, A_0, \dots, A_m), \quad (4.15)$$

де A_0, \dots, A_m – невідомі параметри залежності.

Вигляд залежності може бути відомий або з фізичних закономірностей, що описують явище, яке покладено в основу роботи засобу вимірювальної техніки, або на підставі попереднього досліду та попереднього аналізу даних (аналіз графіку шуканої залежності).

3. Обрати метод визначення параметрів цієї залежності. При цьому необхідно враховувати вигляд залежності та апріорні відомості щодо похибок вимірювання величин x та y .

4. Обчислити оцінки параметрів залежності обраного вигляду \hat{A}_j .

5. Визначити довірчий інтервал похибки знаходження \hat{A}_j , використовуючи відомі характеристики випадкових і систематичних похибок вимірювання x та y .

Шукана залежність – залежність \hat{M}_i від x_i для об'єднаних або залежності \hat{M}_{ii} та \hat{M}_{iii} від x_i необ'єднаних серій, побудована у попередньому підрозділі. Функціональний вигляд залежності наведений у завданні (табл.) цих методичних вказівок.

В сучасній математиці розроблена велика кількість методів знаходження аналітичного вигляду експериментальних залежностей. В даній курсовій роботі для рішення цієї задачі необхідно скористатись методом найменших квадратів (МНК). Докладно про цей метод викладено у літературі [3].

Задані функції мають нелінійний характер, отже при використанні МНК доцільно лінеаризувати функцію шляхом заміни змінних $x^* = \Phi(x)$, $y^* = \Psi(y)$ (табл. 4.11).

Таблиця 4.11 – Заміна змінних при використанні МНК

Функція, що перетворюється	Заміна змінних	Лінеаризована функція	Зворотна заміна змінних
Показна $y = A_0 e^{A_1 x}$	$y^* = \ln y$; $A_0^* = \ln A_0$	$y^* = A_0^* + A_1 x$	$y = \exp(y^*)$ $A_0 = \exp(A_0^*)$
Ступінна $y = A_0 x^{A_1}$	$y^* = \ln y$ $x^* = \ln x$ $A_0^* = \ln A_0$	$y^* = A_0^* + A_1 x^*$	$y = \exp(y^*)$ $x = \exp(x^*)$ $A_0 = \exp(A_0^*)$
Логарифмічна $y = A_0 + A_1 \ln(x)$	$x^* = \ln x$	$y = A_0 + A_1 x^*$	$x = \exp(x^*)$
Гіперболічна $y = A_0 + A_1 / x$	$x^* = 1/x$	$y = A_0 + A_1 x^*$	$x = 1/x^*$
Дрібно лінійна 1-го виду $y = \frac{1}{A_0 + A_1 x}$	$y^* = 1/y$	$y^* = A_0 + A_1 x$	$y = 1/y^*$
Дрібно лінійна 2-го виду $y = \frac{x}{A_1 + A_0 x}$	$y^* = 1/y$ $x^* = 1/x$	$y^* = A_0 + A_1 x^*$	$y = 1/y^*$ $x = 1/x^*$

Побудувавши графік лінеаризованої функції можна переконатися в правомірності апроксимації емпіричної залежності обраною функцією. Якщо ця перевірка позитивна, то для знаходження параметрів A_0 і A_1 застосовується МНК для випадку, коли ступінь поліному $m = 1$. Тобто МНК зводиться до розв'язання наступної системи рівнянь:

$$\begin{cases} l\hat{A}_0 + [x]\hat{A}_1 = [y^*] \\ [x]\hat{A}_0 + [x^2]\hat{A}_1 = [y^*x] \end{cases}, \quad (4.16)$$

де $[x] = \sum_{i=1}^l x_i$, $[x^2] = \sum_{i=1}^l x_i^2$, $[y^*] = \sum_{i=1}^l y_i^*$, $[y^*x] = \sum_{i=1}^l y_i^* x_i$ – суми Гауса;

l – кількість точок x_i .

Для знаходження коефіцієнтів використовуємо метод Крамера, для чого обчислюємо три визначники:

$$D = \begin{vmatrix} l & [x] \\ [x] & [x^2] \end{vmatrix}, \quad D_0 = \begin{vmatrix} [y^*] & [x] \\ [y^*x] & [x^2] \end{vmatrix}, \quad D_1 = \begin{vmatrix} l & [y^*] \\ [x] & [y^*x] \end{vmatrix}.$$

Тоді рішення системи має вигляд:

$$\hat{A}_0 = \frac{D_0}{D} = \frac{[y^*][x^2] - [y^*x][x]}{l[x^2] - [x]^2}, \quad \hat{A}_1 = \frac{D_1}{D} = \frac{l[y^*x] - [x][y^*]}{l[x^2] - [x]^2}.$$

Після знаходження коефіцієнтів можна перейти до наступного пункту - обчислення оцінок параметрів залежності обраного вигляду \hat{A}_j . В МНК оцінки параметрів шуканої залежності визначають з умови, що сума квадратів відхилень експериментальних значень y від розрахованих значень мінімальна, тобто

$$\sum_{i=1}^l [\bar{y}_{i,II} - f(x_i, \hat{A}_0, \dots, \hat{A}_m)]^2 = \sum_{i=1}^l \delta_i^2 = Q = \min, \quad (4.17)$$

де δ_i - нев'язання.

Тобто значення коефіцієнтів \hat{A}_j повинні бути такими, при яких виконується умова (4.17).

Оцінка СКВ величин \hat{A}_j визначається за формулою

$$S_a(\hat{A}_j) = \sqrt{\frac{D_{(j+1)(j+1)}}{D}} S(\delta),$$

де $D_{(j+1)(j+1)}$ - алгебраїчне доповнення елементів головного визначника D , що отримано шляхом видалення з його матриці стовпчика $(j+1)$ і строки $(j+1)$.

$$S(\delta) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^l \delta_i^2}{l-m-1}},$$

де δ_i обчислюються за формулою

$$\delta_i = \bar{y}_{i,II} - f(x_i, \hat{A}_0, \dots, \hat{A}_m).$$

Для системи (4.16) для \hat{A}_0 алгебраїчне доповнення елементів головного визначника $D_{11} = [x^2]$, для \hat{A}_1 алгебраїчне доповнення – $D_{22} = l$.

Тоді оцінки параметрів розраховуються за формулами:

$$S_a(\hat{A}_0) = \sqrt{\frac{[x^2]}{l[x^2] - [x]^2}} \cdot S(\delta); \quad S_a(\hat{A}_1) = \sqrt{\frac{l}{l[x^2] - [x]^2}} \cdot S(\delta)$$

$$S(\delta) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^l \delta_i^2}{l-2}}.$$

Довірчий інтервал похибки визначення \hat{A}_j обчислюють за формулою

$$\varepsilon_a(\hat{A}_j) = t_S S(\hat{A}_j),$$

де t_S визначається з розподілу Ст'юдента для кількості степенів свободи $\nu = l - m - 1$ і довірчої ймовірності P_0 .

При визначенні похибок знаходження оцінок \hat{A}_0 і \hat{A}_1 необхідно враховувати, що в випадках показної та ступінної функцій похибки A_0 та A_0^* пов'язані співвідношенням $\varepsilon_a(A_0) = \varepsilon_a(A_0^*) \exp(A_0^*)$, оскільки $A_0 = \exp(A_0^*)$.

Значення коефіцієнтів \hat{A}_0, \hat{A}_1 для першої і другої серій, оцінки СКВ та значення довірчих інтервалів похибки занесіть в таблицю 4.12.

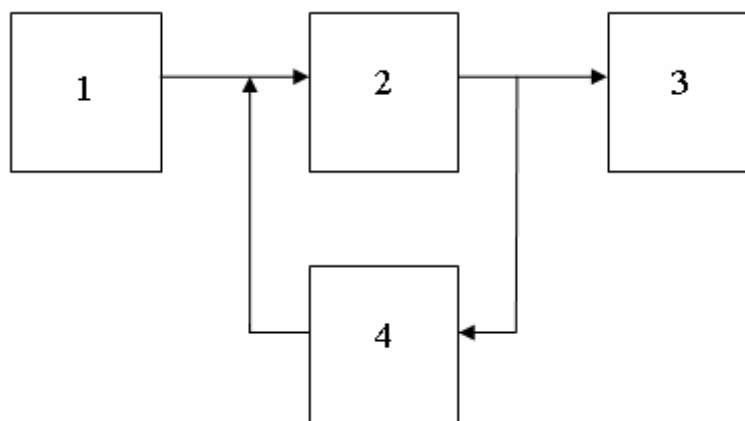
Таблиця 4.12 – Результати визначення вигляду емпіричної залежності та оцінювання її параметрів

Розраховані параметри	I серія	II серія
\hat{A}_0		
\hat{A}_1		
$S_a(\hat{A}_0)$		

$S_a(\hat{A}_1)$		
$\varepsilon_a(\hat{A}_0)$		
$\varepsilon_a(\hat{A}_1)$		

4.4 Оцінювання похибки визначення емпіричної залежності з урахуванням похибки засобу вимірювання

Необхідно відобразити структурну схему експериментальної виміральної установки. Приклад наведений на рис. 4.2



- 1 – генератор змінної напруги ГЗ-112;
- 2 – підсилювач змінної напруги;
- 3 – вольтметр В7-16А;
- 4 – магазин опорів Р4831.

Рисунок 4.2 – структурна схема експериментальної установки

Похибка визначення шуканої емпіричної залежності складається з двох складових – похибки апроксимації та інструментальної похибки.

Процедуру знаходження похибки апроксимації $\varepsilon_a(A_j)$ викладено в п. 4.3 цих методичних вказівок. При визначенні границь інструментальної похибки $\varepsilon_{in}(A_j)$ необхідно враховувати, що задача отримання залежності $y = f(x)$ відноситься до сумісних вимірювань. В такому випадку джерелами похибки $\varepsilon_{in}(A_j)$ є похибки вимірювання значень y_i і похибки вимірювання значень x_i .

При прямих вимірюваннях відносна похибка вимірювання значень y_i визначається з класу точності засобу вимірювання, який вказано в завданні (див. табл. 2.1).

Якщо на приладі клас точності зазначений у вигляді $\sqrt{1,5}$ або 1,5, то вказується межа зведеної до кінця шкали похибки

$$\gamma = \frac{\Delta}{y_k} \cdot 100\%,$$

де Δ – абсолютна похибка вимірювання; y_k – використана межа засобу вимірювальної техніки.

Тоді відносна похибка вимірювання значень y_i визначається за формулою

$$\delta_{li} = \frac{y_k}{\bar{y}_i},$$

де \bar{y}_i – значення вимірюваної величини.

Якщо клас точності приладу зазначений у вигляді $\textcircled{1.5}$, то вказується границя відносної похибки

$$\delta_{li} = \frac{\Delta}{\bar{y}_i} \cdot 100\%.$$

Якщо клас точності зазначений у вигляді c/d , де c , d - постійні коефіцієнти, то відносна похибка визначається за формулою

$$\delta_{li} = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{y_k}{\bar{y}_i} \right| - 1 \right) \right].$$

Границя абсолютної похибки визначається з виразу

$$\Delta_{li} = \delta_{li} \bar{y}_i / 100.$$

Вважаючи закон розподілу рівномірним, оцінка СКВ визначається виразом

$$S_{li} = \frac{\Delta_{li}}{\sqrt{3}}.$$

Розраховані значення δ_{li} , Δ_{li} , S_{li} занести в таблицю вигляду 4.13.

Таблиця 4.13 – Розраховані значення

x_i	δ_{li}	Δ_{li}	S_{li}	δ_{xi}	Δ_{xi}	Δ_{2i}	S_{2i}
x_1							
x_2							
.							
.							

.							
x_n							

Оцінку впливу похибок вимірювання значень аргументу x_i на загальну інструментальну похибку Δ_{in} виконують в наступному порядку:

- 1) визначають відносну похибку вимірювання значення x_i , виходячи з класу точності засобу вимірювань x_i , як було описано вище.
- 2) визначають границі абсолютної похибки вимірювання x_i

$$\Delta_{xi} = \delta_{xi} x_i / 100;$$

3) границі абсолютної похибки вимірювання шуканої залежності Δ_{2i} , що обумовлені похибками Δ_{xi} , визначаються за формулою

$$\Delta_{2i} = \left. \frac{\partial f(x_i, \hat{A}_0, \dots, \hat{A}_m)}{\partial x} \right|_{x=x_i} \cdot \Delta_{xi},$$

де $f(x_i, \hat{A}_0, \dots, \hat{A}_m)$ - аналітична функція емпіричної залежності, визначена в попередньому підрозділі;

4) оцінки СКВ визначаються за формулою

$$S_{2i} = \frac{\Delta_{2i}}{\sqrt{3}}.$$

Результати розрахунків δ_{xi} , Δ_{xi} , Δ_{2i} , S_{2i} занесіть в табл. 4.13.

Значення інструментальної складової оцінки середнього квадратичного відхилення визначення шуканої залежності визначається за формулою

$$S_{in} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^l (S_{1i}^2 + S_{2i}^2)}{l - m - 1}}.$$

Оцінки інструментальних складових СКВ коефіцієнтів \hat{A}_j визначаються за формулою

$$S_{in}(\hat{A}_j) = \sqrt{\frac{D_{(j+1)(j+1)}}{D}} S_{in}.$$

Границі інструментальної складової похибки визначення коефіцієнтів \hat{A}_j шуканої залежності визначаються за формулою

$$\varepsilon_{in}(\hat{A}_j) = t_S S_{in}(\hat{A}_j),$$

де t_S визначається з розподілу Ст'юдента для кількості степенів свободи $\nu = n - m - 1$ і довірчої ймовірності P .

Границі загальної похибки визначення коефіцієнтів \hat{A}_j складається з похибки апроксимації та інструментальної похибки:

$$\varepsilon(\hat{A}_j) = t_S \sqrt{S_{in}^2(\hat{A}_j) + S_a^2(\hat{A}_j)} = \sqrt{\varepsilon_{in}^2(\hat{A}_j) + \varepsilon_a^2(\hat{A}_j)}.$$

5 ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Розрахунково-пояснювальна записка оформлюється згідно вимог [1].

Текст основної частини розбивається на розділи, підрозділи, пункти та підпункти. Розділи і підрозділи повинні мати заголовки. Пункти та підпункти можуть мати заголовки. Заголовки структурних елементів пояснювальної записки і заголовки розділів слід розташовувати посередині рядка і пишуться прописними літерами. Перенесення слів у заголовках не допускається.

Заголовки підрозділів, пунктів та підпунктів починаються з абзацного відступу (15-17 мм) з великої літери і писати малими літерами. Підкреслення заголовків не допускається. Якщо заголовок складається з двох і більше речень, їх розділяють крапкою. У кінці заголовків крапка не ставиться.

Відстань між заголовками розділу та підрозділу має бути не менше 10 мм. Відстань між заголовком підрозділу і текстом - не менше 5 мм.

Розділи повинні мати порядкову нумерацію в межах пояснювальної записки, позначатися арабськими цифрами без крапки. Підрозділи повинні мати порядкову нумерацію в межах кожного розділу. Номер підрозділу складається з номера розділу та порядкового номера підрозділу, відокремлених крапкою. Після номера підрозділу крапку не ставлять, наприклад. Аналогічно нумеруються пункти та підпункти.

Графічний матеріал - ілюстрації (креслення, схеми, рисунки, графіки, діаграми, фотознімки) слід розміщувати безпосередньо після першого посилання або на наступній сторінці. Ілюстрація нумерується арабськими цифрами за порядком у межах розділу або додатка, наприклад, рисунок 3.2 - другий рисунок третього розділу; рисунок Г.3 - третій рисунок додатка Г. Ілюстрації можуть мати назву, яку розміщують після пояснювальних даних через тире. Наприклад, "Рисунок 3.2 – Графік залежності $y = f(x)$ ".

Формули та рівняння розташовують безпосередньо після тексту, в якому вони згадуються, посередині сторінки. Вище і нижче кожної формули або рівняння повинно бути залишено не менше одного вільного рядка. Нумерація формул порядкова в межах розділу. Номер формули зазначають на рівні формули в дужках у крайньому правому положенні на рядку.

Пояснення значень символів і числових коефіцієнтів, що входять до формули, наводяться безпосередньо під формулою у тій послідовності, в якій вони наведені у формулі. Пояснення значення кожного символу та числового коефіцієнту дається з нового рядка. Перший рядок пояснення починають з абзацу словом "де" без двокрапки.

Однотипні розрахунки, що виконуються за однією формулою, слід зводити в таблиці. Таблиці розташовуються безпосередньо після тексту, у якому вона згадується вперше, або на наступній сторінці. Таблиці нумеруються арабськими цифрами порядковою нумерацією в межах розділу або додатку. Таблиця може мати назву, яку друкують малими літерами (крім першої великої) і вміщують над таблицею. Наприклад, "Таблиця 2.1 – Результати розрахунків". В таблицях необхідно вказувати розмірність розрахованих величин.

Посилання в тексті записки на джерела зазначаються порядковим номером за переліком посилань, виділеним двома квадратними дужками, наприклад, “...згідно [7]...”.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3008-95. Документація звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. – Введ. 23.02.95. – Київ: Держстандарт України, 1995. – 38 с.

ДОДАТОК Б

Статистичні таблиці

Таблиця Б.1 – Значення коефіцієнтів розподілу Ст'юдента

ν	Довірча ймовірність P_0		
	0,9	0,95	0,99
8	1,86	2,31	3,36
9	1,83	2,26	3,25
10	1,81	2,23	3,17
11	1,80	2,20	3,11
12	1,78	2,18	3,06
13	1,77	2,16	3,01
14	1,76	2,15	2,98
15	1,75	2,13	2,95
16	1,75	2,12	2,92
17	1,74	2,11	2,90
18	1,73	2,10	2,88
19	1,73	2,09	2,86
20	1,73	2,09	2,84
21	1,72	2,08	2,83
22	1,71	2,07	2,82
23	1,71	2,07	2,81
24	1,71	2,06	2,80
25	1,71	2,06	2,79
26	1,71	2,06	2,78
27	1,70	2,05	2,77
28	1,70	2,05	2,76
29	1,70	2,04	2,76

Таблиця Б.2 – Значення $(1 - P)$ - процентних точок розподілу Фішера

k_1	P	k_2							
		4	9	14	19	24	29	39	49
4	0,9	4,11	3,94	3,88	3,84	3,83	3,82	3,80	3,79
	0,95	6,39	6,00	5,87	5,81	5,77	5,75	5,72	5,70
	0,99	16,0	14,7	14,2	14,0	13,9	13,9	13,8	13,7
9	0,9	2,69	2,44	2,35	2,31	2,28	2,26	2,23	2,22
	0,95	4,26	3,18	3,02	2,95	2,90	2,87	2,83	2,80
	0,99	8,02	5,35	5,00	4,84	4,73	4,66	4,57	4,52
14	0,9	2,39	2,12	2,02	1,97	1,94	1,92	1,89	1,87
	0,95	3,11	2,65	2,47	2,40	2,35	2,31	2,27	2,24
	0,99	5,56	4,03	3,70	3,54	3,43	3,36	3,27	3,22

19	0,9	2,27	1,98	1,88	1,82	1,79	1,76	1,73	1,71
	0,95	2,00	2,42	2,26	2,17	2,11	2,08	2,03	2,00
	0,99	4,50	3,53	3,19	3,03	2,93	2,86	2,77	2,71
24	0,9	2,19	1,91	1,80	1,74	1,70	1,68	1,64	1,62
	0,95	2,78	2,30	2,13	2,05	1,98	1,95	1,90	1,86
	0,99	4,22	3,26	2,93	2,77	2,66	2,59	2,50	2,44
29	0,9	2,15	1,86	1,75	1,69	1,65	1,62	1,59	1,56
	0,95	2,70	2,22	2,05	1,96	1,90	1,86	1,81	1,78
	0,99	4,04	3,09	2,77	2,60	2,49	2,43	2,33	2,28
39	0,9	2,10	1,79	1,68	1,62	1,58	1,55	1,52	1,49
	0,95	2,61	2,13	1,95	1,86	1,76	1,76	1,70	1,67
	0,99	2,83	2,89	2,57	2,41	2,29	2,22	2,14	2,08
49	0,9	2,09	1,74	1,68	1,58	1,52	1,49	1,46	1,45
	0,95	2,56	2,07	1,90	1,78	1,74	1,66	1,64	1,61
	0,99	3,77	2,73	2,47	2,28	2,19	2,11	2,02	1,96

Таблиця Б.3 – Граничні значення χ_q^2

Число ступенів свободи k	Рівні значущості		
	0,01	0,025	0,05
1	6,6	5,0	3,8
2	9,2	7,4	6,0
3	11,3	9,4	7,8
4	13,3	11,1	9,5
5	15,1	12,8	11,1
6	16,8	14,4	12,6
7	18,5	16,0	14,1
8	20,09		15,507
9	21,666		16,919

ДОДАТОК В

Приклад оформлення титульного аркуша

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет..... Телекомунікацій та вимірювальної техніки.....
Кафедра..... Метрології та вимірювальної техніки.....

КУРСОВА РОБОТА

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Ідентифікація емпіричної характеристики підсилювача змінної напруги
(тема роботи)

Основи метрології та вимірювальної техніки
(дисципліна)

Керівник..... проф. Захаров І.П.....
(підпис, дата, посада, прізвище, ініціали)

Студент..... гр. МВТ-04-1..... Іванов І.І.....
(група, підпис, дата, прізвище, ініціали)

ДОДАТОК Г

Приклад оформлення завдання

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Кафедра “Метрології та вимірювальної техніки”

Дисципліна Основи метрології та вимірювальної технікиСпеціальність Метрологія та вимірювальна технікаКурс 3 Група МВТ-04-1 Семестр II

ЗАВДАННЯ № 3 0

на курсову роботу студента

Іванова Івана Івановича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Ідентифікація емпіричної характеристики підсилювача змінної напруги

2 Термін здачі студентом закінченої роботи _____

3 Вихідні дані _____

1 Табл. 2.1, ряд 302 Табл. 2.2, ряд 303 Додаток А, табл. А1, ряд 30

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань) _____

Вступ1 Визначення оцінок математичного очікування та середнього квадратичного відхилення результату вимірювання2 Визначення статистичної однорідності двох серій спостережень2.1 Перевірка на нормальність розподілу випадкових похибок результатів спостережень2.2 Перевірка однорідності двох груп за математичним очікуванням3 Визначення вигляду емпіричної залежності та оцінювання її параметрів4 Оцінювання похибки визначення емпіричної залежності з урахуванням похибки засобу вимірюванняВисновкиПерелік посилань

5 Перелік обов'язкового графічного матеріалу

Студент _____
(підпис)Іванов І.І.

(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник _____
(підпис)проф. Захаров І.П.

(посада, прізвище, ім'я, по батькові)

“ _____ ” _____ 2007р.