

## **ЗМІСТ**

<b>ВСТУП.....</b>	<b>4</b>
<b>1. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ.....</b>	<b>4</b>
<b>2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ.....</b>	<b>5</b>
<b>3. ЗМІСТ, СТРУКТУРА І ОБСЯГ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ.....</b>	<b>5</b>
3.1. ЗМІСТ І ОБСЯГ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ.....	5
3.2. ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО СТРУКТУРИ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ.....	6
3.3. ЗАХИСТ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ.....	7
<b>4. ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ.....</b>	<b>8</b>
<b>5. ТЕМИ КУРСОВИХ ПРОЕКТІВ.....</b>	<b>11</b>
<b>6. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ.....</b>	<b>12</b>
6.1. ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ПРОВЕДЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ.....	12
6.1.1. <i>Організація та проведення технологічних вимірювань показників мікроклімату виробничих приміщень.....</i>	<i>15</i>
6.2. ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ.....	18
6.2.1. <i>Метрологічні округлення результатів технологічних вимірювань.....</i>	<i>19</i>
6.2.2. <i>Обробка результатів прямих одноразових вимірювань.....</i>	<i>21</i>
6.2.2.1. Прямі одноразові вимірювання з точним оцінюванням похибок.....	22
6.2.2.2. Прямі одноразові вимірювання з наближеним оцінюванням похибок.....	24
6.2.2.2. Додавання похибок при одноразових вимірюваннях.....	27
6.2.3. <i>Обробка результатів прямих багаторазових технологічних вимірювань.....</i>	<i>29</i>
6.2.4. <i>Визначення необхідної кількості технологічних вимірювань .....</i>	<i>33</i>
6.2.3. <i>Обробка результатів опосередкованих технологічних вимірювань.....</i>	<i>37</i>
6.3. ПОБУДОВА ГРАФІКІВ.....	40
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>42</b>

## ВСТУП

З настанням періоду економічних та інших реформ, що проводяться в нашій країні багатократно зросло значення і обсяги робіт з метрології. Одним з найважливіших завдань є організація метрологічного забезпечення сучасного автоматизованого виробництва, що передбачає визначення ролі і місця метрологічного забезпечення в організації виробництва і його взаємозв'язку з системою управління якістю, а також організацію і опис діяльності метрологічного забезпечення виробництва як бізнес-процесу. Особливо важливим є вплив системи метрологічного забезпечення на конкурентоспроможність продукції, на умови праці, на екологічну безпеку виробництва і на економічні показники функціонування підприємства в цілому. Саме тому в структурі управління підприємством окрема важлива роль віддається метрологічній діяльності. Виконання робіт в будь-який з областей діяльності з метрологічного забезпечення та забезпечення єдності вимірювань вимагає спеціальних знань і навичок. Тому курс „Метрологія, технологічні вимірювання та прилади” є профільною дисципліною при підготовці студентів за напрямком 6.0925 „Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології” за спеціальністю “Автоматизоване управління технологічними процесами”. При вивченні курсу важливого значення набуває курсове проектування, що є особливою формою вивчення дисципліни та доповнює аудиторні заняття. Курсове проектування – це самостійна робота студента, яка виконується за індивідуальним завданням та має важливе значення для закріплення знань студентів. Виконання курсового проекту студентами сприяє засвоєнню методів технологічних вимірювань, метрологічних розрахунків, оцінки результатів метрологічних випробувань, обчислення похибок та методів їх зменшення і дозволяє перевірити якість знань студентів.

## 1. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ

**Метою** курсового проектування є закріплення і поглиблення знань студентів, отриманих під час аудиторних занять, шляхом їх активного і творчого використання при вирішенні практичних інженерних завдань з метрологічного забезпечення.

**Завдання** курсового проектування полягає у формуванні у студентів вмінь та навичок на практиці використовувати отриманні під час аудиторних занять знання для вирішенні конкретних інженерних завдань з метрологічного забезпечення, вміння працювати з технічною та довідковою літературою, проводити необхідні розрахунки, вирішувати технологічні задачі, а також коротко і чітко викладати отримані результати з обов'язковим дотриманням вимог щодо оформлення.

**Видача завдання на курсове проектування.** Завдання студентам для виконання курсових проектів видається індивідуально. Воно оформлюється на бланку (див. додаток А) в двох примірниках і підписується керівником проекту. Один примірник завдання видається студенту, а інший залишається у керівника проекту. Завдання видається в терміни передбачені навчальним планом.

## **2. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ**

Курсовий проект виконується поетапно, відповідно до навчального плану та передбаченого індивідуального завдання.

Приступаючи до виконання завдання курсового проекту, ретельно вивчають його, вивчають рекомендовані інформаційні джерела, проводять аналіз варіантів можливих технологічних рішень поставленого завдання, вибирають і обґрунтовують один з них. Цьому присвячують приблизно 10% загального бюджету часу. Потім, згідно із завданням, проводять розрахунки та обробку результатів вимірювання, на що відводять приблизно 60 – 70% виділеного часу. Залишок часу, приблизно 20 - 30% загального обсягу, присвячують складанню пояснювальній записки і її оформленню.

## **3. ЗМІСТ, СТРУКТУРА І ОБСЯГ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ**

### **3.1. Зміст і обсяг курсового проекту**

До курсового проекту, що виноситься на захист входять пояснювальна записка та графічний матеріал. Пояснювальна записка є основним документом і повинна містити вичерпну інформацію про виконане завдання. Загальний обсяг пояснювальної записки повинен складати 20-30 сторінок тексту разом з ілюстраціями. Зміст і обсяг ілюстративної частини визначається завданням. Не слід без

необхідності включати в пояснювальну записку загальні відомості, що не відносяться безпосередньо до змісту роботи, запозичені з літературних джерел і не отримані при виконанні завдання. Загальними вимогами до пояснювальної записки є: логічна послідовність і завершеність викладення матеріалу; переконлива аргументація; точність і стислість формулювань; конкретність і ясність розрахунків та викладення результатів; обґрунтованість висновків і рекомендацій. При виконанні завдань курсового проекту необхідно користуватися Міжнародною системою одиниць та довідниковими таблицями, що наводяться в додатках.

Навчально-методичний посібник розроблений кандидатом технічних наук, доцентом, Черепанською І.Ю., та асистентом кафедри автоматизованого управління технологічними процесами та комп'ютерних технологій Сазоновим А.Ю.

### **3.2. Загальні вимоги до структури пояснювальної записки курсового проекту**

Пояснювальна записка повинна містити:

1. Титульний лист (див. додаток Б).
2. Завдання на курсове проектування.
3. Зміст.
4. Перелік прийнятих скорочень.
5. Вступ.
6. Змістовна (основна) частина курсового проекту, що містить теоретичний та практично-прикладний матеріал розбитий на глави, розділи та підрозділи відповідно до плану курсового проекту.
7. Загальні висновки.
8. Перелік використаних інформаційних джерел.
9. Додатки (за необхідності).

**Вступ** повинен коротко характеризувати сучасний стан науково-технічної проблеми, якій присвячений курсовий проект, і мету його виконання. У вступі відмічаються специфічні особливості завдання, проводяться обґрунтування прийнятих технічних і технологічних рішень. Обсяг вступу 2-3 сторінки.

**Змістовна (основна) частина** курсового проекту повинна містити теоретичний і практично-прикладний матеріал. В основній частині послідовно та детально подається весь зміст виконаної роботи: розрахункової та технологічної. Викладення

матеріалу повинно бути досить детальним, щоб була можливість проводити перевірку отриманих результатів.

Проте не слід висвітлювати докладно відомі факти і загальноприйняті методи. Для цього необхідно робити посилання на джерела або переносити матеріал в додатки. Якщо основна частина розбита на декілька розділів та підрозділів, в кінці кожного з них формулюються висновки, що містять отримані результати. Загальні висновки розташовують в кінці змістовної частини. Обсяг основної частини 18-25 сторінок.

**Загальні висновки** повинні містити оцінку результатів виконання курсового проекту і ступеня їх відповідності вимогам завдання. Обсяг загальних висновків 1-2 сторінки.

**Перелік використаних інформаційних джерел** приводиться після висновків з дотриманням всіх бібліографічних правил.

**Додатки** можуть містити вихідні дані, графічний матеріал, коди програм, екранні копії роботи використаних та розроблених програмних продуктів, копії документів тощо. Додатки нумеруються наскрізною нумерацією літерами кирилиці. Додатки розміщуються в порядку появи на них посилань в тексті пояснювальної записки. Розташовуються додатки під загальним заголовком, який розміщується на окремому аркуші по середині першого рядка і складається із слова «ДОДАТКИ». Заголовок кожного додатка повинен містити порядковий номер додатка, що розташовується в першому рядку аркуша зліва, а також тематичний заголовок який відображає зміст додатка та розміщується в наступному рядку під порядковим номером додатка по центру.

### 3.3. Захист курсового проекту

До захисту приймаються курсові проекти, виконані у відповідності до завдання, оформлені відповідно до вимог даних методичних вказівок, перевірені і допущені до захисту керівником курсового проекту.

Курсовий проект оцінюється за національною та ECTS шкалою і 100-бальною системою оцінювання (табл. 3.3.1).

Таблиця 3.3.1

Шкала оцінювання	
За націона-	Вимоги до проекту

<b>льною шкалою</b>	
відмінно	Всебічне глибоке опрацювання теми на основі аналізу широкого кола інформаційних джерел, самостійність суджень, правильність розрахунків та представлених результатів, повнота та аргументованість висновків
добре	Наявність незначних помилок в розрахунках або у висновках, але за умови достатньої повноти, всебічності та самостійності опрацювання теми
задовільно	Текст і цифрові дані роботи свідчать про те, що студент сумлінно ознайомився і пропрацював основні джерела, без залучення яких робота взагалі не могла б бути виконана, і зміст теми, розкрив в основному правильно
незадовільно	Завдання виконано неправильно, або не самостійно
	Курсовий проект студентом не виконувався

Робота, яку викладач визнав незадовільною, повертається для переробки з урахуванням висловлених зауважень.

Термін здачі курсового проекту затверджується на засіданні кафедри і оголошується на початку роботи над курсовим. Студенти, які не здали без поважних причин курсовий проект в строк, отримують незадовільну оцінку і вважаються такими, що мають академічну заборгованість.

#### **4. ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ**

1. Пояснювальна записка курсового проекту оформлюється на аркушах білого паперу формату А4 (розмір 210×297 мм). На кожному аркуші виконується обрамлююча лінія (рамка) згідно ГОСТ 2.301-68.

2. Першим аркушем є титульний лист, що оформлюється відповідно до зразка (див. Додаток А). Справа в дужках подано відстані від нижньої лінії, яка обрамлює аркуш до основи відповідного рядка та номер шифру, яким слід виконувати запис в рядку.

3. Наступним за титульним листом є аркуш на якому розміщується зміст і виконується основний надпис (штамп) для текстових документів згідно ГОСТ 2.105-79. Цей лист має порядковий номер 2. На наступних аркушах виконується надпис (штамп) по формі 2а для текстових документів згідно ГОСТ 2.105-79. Зміст повинен містити назви глав, розділів та підрозділів, що точно відповідають назвам в тексті пояснювальної записки. Назви глав, розділів та підрозділів наступних листків пояснювальної записки курсового проекту повинні точно відповідати змісту.

4. Текс пояснювальної записки курсового проекту повинен відповідати наступним вимогам:

гарнітура Times New Roman, розмір 14 пунктів, вирівнювання по ширині;

~ інтервали між рядками полуторні;

~ абзац – 3 символи зліва;

~ заголовки та назви розділів пояснювальної записки проекту виділяються жирним; крім того перед назвою розділу та після нього пропускається 1 рядок.

5. Формули набираються за допомогою редактора формул та розміщуються по центру рядка; нумерація формули вказується в круглих дужках відповідно до порядкового номеру розділу та порядкового номеру формули та розташовується в крайньому правому положенні відносно формули. Перед формулою та після неї пропускається 1 рядок, наприклад:

### ===== Приклад запису формули =====

$$R = \frac{U}{I},$$



де R – електричний опір, Ом;

U – напруга, В;

I – електричний струм, А.

6. Таблиці у випадку оформлення пояснювальної записки проекту у рукописному вигляді, необхідно викреслювати олівцем. Таблиці зазвичай розміщуються по ходу викладення матеріалу після посилання на них. Посилання на таблицю в тексті роботи

здійснюються скорочено, наприклад, наступним чином: "...*вихідні дані наведені в табл. 1.2*". Не рекомендується переносити таблиці з однієї сторінки на другу. Не допустимо розривати заголовок з таблицею розміщуючи їх на різних сторінках. Таблиці розміщуються по центру рядка; нумерація таблиці вказується над таблицею з права відповідно до порядкового номеру розділу та порядкового номеру таблиці, назва таблиці вказується в наступному під номером рядку по центру; перед таблицею та після неї пропускається 1 рядок; назва таблиці та шапка таблиці можуть бути виділені жирним шрифтом, наприклад:

### **Приклад оформлення таблиці**

№ таблиці \_\_\_\_\_  
№ розділу \_\_\_\_\_

Таблиця 1.2

**Вихідні дані**

Напруга, $U$	220	210	215	205
Струм, $I$	2,0	2,3	2,2	2,1

Рисунки, схеми та графіки, у випадку оформлення пояснювальної записки у рукописному вигляді необхідно викреслювати олівцем в масштабі з використанням креслярських інструментів, в іншому випадку, рисунки та схеми виконуються з використанням графічних редакторів, графіки – табличних процесорів, наприклад, MS Excel тощо. Всі сторінки, рисунки, схеми тощо повинні бути пронумеровані. Рисунки, схеми та графіки розміщуються по ходу викладення матеріалу, після посилання на них та розташовуються по центру рядка, перед ними та після них пропускається 1 рядок, підписуються так, як наведено нижче. Нумеруються аналогічно до вимог нумерації формул та таблиць. Не допустимо розривати назву рисунка, схеми та графіка розміщуючи їх на різних сторінках. Посилання на рисунок, схему, графік в тексті здійснюються скорочено, наприклад, наступним чином: "...результат розв'язання задачі приведено на рис. 3.1"



---

---

**Приклад оформлення  
рисунка**

---

---

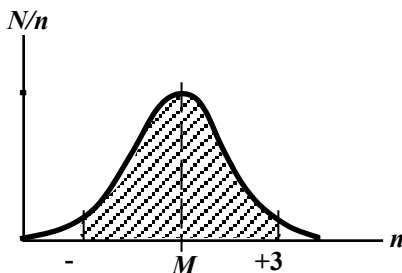


Рис. 3.3. Графік нормального закону розподілу випадкових величин

№ розділу

№ рисунка

7. В роботі можна використовувати тільки загальноприйняті скорочення та умовні позначення.

8. Цитати, цифровий, графічний та інший матеріал, взятий із відповідних інформаційних джерел, повинен супроводжуватись посиланнями на ці інформаційні джерела. Посилання здійснюються одразу ж після розміщення в тексті відповідної інформації у вигляді номеру інформаційного джерела в списку використаних інформаційних джерел. Номер інформаційного джерела, на яке робиться посилання розміщується в квадратних дужках, наприклад, [1]. Якщо в тесті приводиться цитата, то в скобках окрім порядкового номеру інформаційного джерела вказується номер сторінки, наприклад, [1, с.2]. Цитати повинні бути виділені лапками. Студент несе відповідальність за точність приведених даних, а також за об'єктивність викладення міркувань інших авторів.

9. Загальний об'єм пояснювальної записки курсового проекту повинен бути не менше 40 сторінок. Кількість сторінок додатків в загальний об'єм роботи не враховується.

10. Пояснювальна записка курсового проекту підписується студентом-виконавцем та керівником.

## 5. ТЕМИ КУРСОВИХ ПРОЕКТІВ

1. Вимірювання опору в електричних колах постійного струму.
2. Вимірювання опору в електричних колах змінного струму.
3. Вимірювання потужності в електричних колах.
4. Облік споживання електричної енергії.
5. Вимірювання температури повітря у лабораторних приміщеннях.
6. Вимірювання температури повітря при оцінці мікроклімату виробничих приміщень.
7. Вимірювання температури поверхонь стін при оцінці мікроклімату виробничих приміщень.
8. Вимірювання відносної вологості повітря при оцінці мікроклімату виробничих приміщень.
9. Вимірювання швидкості руху повітря при оцінці мікроклімату виробничих приміщень.
10. Вимірювання інтенсивності теплового випромінювання при оцінці мікроклімату виробничих приміщень.
11. Вимірювання потужності на постійному струмі та низькій частоті.
12. Вимірювання витрат паливної суміші в автомобілі.
13. Вимірювання витрат газу.
14. Вимірювання каламутності води.
15. Вимірювання деформації твердих тіл.

## 6. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

### 6.1. Організація та проведення технологічних вимірювань

**Метрологія** – наука про вимірювання, методи і засоби забезпечення їх єдності та способи досягнення необхідної точності.

Таким чином, метрологія включає три взаємопов'язані проблеми: реалізація процесів вимірювання; забезпечення їх єдності; методи та засоби вимірювань.

Основними завданнями метрології згідно є:

встановлення одиниць фізичних величин;

встановлення державних еталонів та зразкових засобів вимірювань;

розробка теорії, методів і засобів вимірювання та контролю;

забезпечення єдності вимірювань;

розробка методів оцінки похибок, стану засобів вимірювання та контролю;

розробка методів передачі розмірів одиниць від еталонів або зразкових засобів вимірювань робочим засобам вимірювань.

Метрологічна діяльність регламентується такими нормативно-правовими документами:

Закон України "Про метрологію та метрологічну діяльність" від 11.02.1998 р., який розглядає загальні положення – основні терміни та їх визначення, сферу дії Закону, законодавство про метрологію та метрологічну діяльність, державну метрологічну систему, нормативні документи з метрології; одиниці вимірювань, їх відтворення та зберігання, здійснення вимірювань, засоби вимірювальної техніки; застосування, ввезення, виробництво, ремонт, продаж і прокат засобів вимірювальної техніки; метрологічну службу України, її структуру, організацію; державний метрологічний контроль і нагляд, державні випробування засобів вимірювальної техніки і затвердження їх типів, державну метрологічну атестацію засобів вимірювальної техніки, акредитацію на право проведення державних випробувань, повірки і калібрування засобів вимірювальної техніки, вимірювань; права і обов'язки державних інспекторів з метрологічного нагляду, права та обов'язки державних повірників; метрологічний контроль і нагляд, що здійснюють метрологічні служби центральних органів виконавчої влади, підприємств і організацій; фінансування метрологічної діяльності.

Закон України "Про забезпечення єдності вимірювань" від 01.12.1997 р.

Декрет Кабінету Міністрів України "Про забезпечення єдності вимірювань" від 26.04.1993 р.

Наказ Держстандарту України: "Типове положення про державні наукові метрологічні центри Держстандарту України" від 28.05.1999 р.

Наказ Держстандарту України "Про затвердження порядку акредитації вимірювальних лабораторій" від 05.11.1999 р.

Держстандарти України: ДСТУ 2568, ДСТУ 2681, ДСТУ 2708, ДСТУ 3215, ДСТУ 3231, ДСТУ 3400, ДСТУ 3651.0, ДСТУ 3651.1, ДСТУ 3651.2, ДСТУ 3921.1, ISO 10012-1.

Організаційно-методичні керівні нормативні документи та рекомендації: КНД 50-032, Р 50-060-95, Р 50-078, Р 50-080.

Нормативні документи на державні повірочні схеми - ДСТУ 2614;

Нормативні документи на методи та засоби повірки і контролю - Р 50-076.

Міждержавні організаційно-методичні документи з метрології: ПМГ 06, ПМГ 07, ПМГ 08, ПМГ 15, ПМГ 16.

Основні терміни метрології (згідно Закону про метрологію та метрологічну діяльність, стаття 1, Закону про забезпечення єдності вимірювань, Декрету Кабінету Міністрів "Про забезпечення єдності вимірювань").

У дійсних законодавчих актах застосовуються наступні поняття:

**вимірювання** – відображення фізичних величин їхніми значеннями за допомогою експерименту та обчислень із застосуванням спеціальних технічних засобів;

**єдність вимірювань** – такий спосіб вимірювань, при якому їх результати, виражені в узаконених одиницях і похибках вимірювань, відомі з заданою вірогідністю;

**законодавча метрологія** — частина метрології, що відноситься до діяльності, чиненої національним органом по метрології, і утримуючу державну вимоги, що стосуються одиниць, методів виміру, засобів вимірів і вимірювальних лабораторій;

**метрологічна служба** – сукупність суб'єктів діяльності і видів робіт, спрямованих на забезпечення єдності вимірів;

**національний орган по метрології** – орган державного керування, уповноважений здійснювати керівництво роботами по забезпеченню єдності вимірів у державі;

**нормативні документи по забезпеченню єдності вимірів** – державні стандарти, застосовувані у встановленому порядку, міжнародні (регіональні) стандарти, правила, положення, інструкції й інші нормативні і методичні документи, що визначають вимоги і порядок проведення робіт із забезпечення єдності вимірів;

**характеристики вимірювань**: принцип, метод, одиниця, похибка, точність, вірність і достовірність вимірювань;

**принцип вимірювань** – фізичне явище або сукупність фізичних явищ, що покладені в основу вимірювань. Наприклад, вимірювання температури з використанням термоелектричного ефекту;

**метод вимірювань** – сукупність прийомів використання принципів і засобів вимірювання. Засобами вимірювань є вживані технічні засоби, що мають нормовані метрологічні характеристики;

**одиниця вимірювань** – фізична величина певного розміру, прийнята для кількісного відображення однорідних з нею величин;

**похибка вимірювання** – це відхилення результату вимірювань від істинного значення вимірюваної величини;

**точність вимірювань** характеризується близькістю їх результатів до дійсного значення вимірюваної величини;

**вірність вимірювань** – це якість вимірювання, що відображає близькість до нуля систематичних похибок результатів (тобто таких похибок, які залишаються постійними або закономірно змінюються при повторних вимірюваннях однієї і тієї ж величини);

**достовірність вимірювань** – це довіра до результатів вимірювання. Вимірювання можуть бути достовірними і недостовірними залежно від того, відомі чи невідомі ймовірні характеристики їх відхилень від дійсних значень відповідних величин. Результати вимірювань, ймовірність яких невідома, не мають ніякої цінності і в деяких випадках можуть служити джерелом дезінформації.

Присутність похибок обмежує достовірність вимірювань, тобто вносить обмеження в число достовірних значущих цифр числового значення вимірюваної величини і визначає точність вимірювань.

### **6.1.1. Організація та проведення технологічних вимірювань показників мікроклімату виробничих приміщень**

#### **Порядок проведення вимірювань показників мікроклімату**

1. Вимірювання та оцінка показників мікроклімату виробничих приміщень проводиться для встановлення відповідності параметрів мікроклімату виробничих приміщень санітарно-гігієнічним вимогам, спрямованим на запобігання несприятливого впливу мікроклімату на самопочуття, функціональний стан, працездатність і здоров'я людини.

2. Вимірюються та контролюються наступні показники мікроклімату:

- ~ Температура повітря;
- ~ Температура поверхонь (стіни, огорожувальні конструкції, екрани тощо);
- ~ Відносна вологість повітря;
- ~ Швидкість руху повітря;
- ~ Інтенсивність теплового опромінення;
- ~ Нормовані комплексні показники мікроклімату (ТНС-індекс).

#### **Підготовка до проведення вимірювань**

1. Вимірювання показників мікроклімату з метою контролю їх відповідності гігієнічним вимогам повинні проводитися в холодний період року – в дні з температурою зовнішнього повітря, що відрізняється від середньої температури найбільш холодного місяця зими не більше ніж на 5°C, в теплий період року – в дні з температурою зовнішнього повітря, що відрізняється від середньої максимальної температури найбільш жаркого місяця не більше ніж на

5°C. Частота вимірів в обидва періоду року визначається стабільністю виробничого процесу, функціонуванням технологічного та санітарно - технічного обладнання.

2. При виборі часу вимірювання необхідно враховувати всі фактори, що впливають на мікроклімат робочого місця (РМ) (фази технологічного процесу, функціонування систем вентиляції та опалення). Вимірювання показників мікроклімату слід проводити не менше 3 разів на зміну (на початку, середині і в кінці). При коливаннях показників мікроклімату, пов'язаних з технологічними та іншими причинами (у т. ч. і з виробничою необхідністю переміщення працівника протягом зміни з однієї контрольної зони (КЗ) в іншу), необхідно проводити додаткові вимірювання при найбільших і найменших величинах термічних навантажень на працюючих з урахуванням тривалості їх впливу.

3. Вимірювання параметрів мікроклімату слід проводити безпосередньо на РМ. Якщо РМ є кілька ділянок виробничого приміщення, то вимірювання здійснюються на кожному з них. У цьому випадку РМ включає кілька КЗ.

4. За наявності джерел локального тепловиділення, охолодження або вологовиділення (нагрітих агрегатів, вікон, дверних просвітів, воріт, відкритих ванн і так далі) вимірювання слід проводити на кожному РМ у точках, мінімально і максимально віддалених від джерел термічної дії, тобто одне РМ слід розбити на дві КЗ.

5. У приміщеннях з великою щільністю РМ (в яких кількість РМ перевищує вказане в табл. 6.1.1 кількість КЗ) за відсутності джерел локального тепловиділення, охолодження або вологовиділення ділянки вимірювання параметрів мікроклімату повинні розподілятися рівномірно по площі приміщення.

Таблиця 6.1.1

**Мінімальна кількість контрольних зон відповідно до площі приміщення**

Площа приміщення, м <sup>2</sup>	Кількість КЗ
до 100	4
від 100 до 400	8
більше 400	кількість КЗ визначається відстанню між ними, яка не повинна перевищувати 10 м

6. Вимірювання параметрів мікроклімату проводиться на кількох висотах над рівнем підлоги (робочої площадки) залежно від пози працівника:

- при роботах, що виконуються сидячи, температуру та швидкість руху повітря слід вимірювати на висоті 0,1 і 1,0 м, а відносну вологість повітря – на висоті 1,0 м від рівня підлоги або робочої площадки;

- при роботах, що виконуються стоячи, температуру та швидкість руху повітря слід вимірювати на висоті 0,1 і 1,5 м, а відносну вологість повітря – на висоті 1,5 м;

- за наявності джерел променевого тепла, теплове опромінення на РМ необхідно вимірювати на висоті 0,5; 1,0 і 1,5 м від підлоги або робочої площадки, у разі необхідності – на рівні голови працівника;

- для нагріваючого мікроклімату (коли температура або потік теплового випромінювання вище допустимих значень) слід вимірювати температуру всередині кульового термометра і температуру змоченого термометра на тих же висотах, що і при вимірюванні температури повітря (0,1 і 1,0 м для робочої пози "сидячи" і 0,1 і 1,5 м для робочої пози "стоячи"), і визначати індекс теплового навантаження середовища (ТНС-індекс).

7. Вимірювання та контроль показників мікроклімату повинен здійснюватися приладами, що пройшли державну атестацію та мають свідоцтво про повірку. Метрологічні характеристики приладів для вимірювання та контролю параметрів мікроклімату повинні відповідати вимогам, наведеним у табл. 6.1.2.

Таблиця 6.1.2

**Метрологічні вимоги до вимірювальних приладів**

Найменування показника	Діапазон вимірювання	Допустима похибка
температура повітря за сухим термометром, °C	від -10 до 50	± 0,2
температура поверхні, °C	від 0 до 50	± 0,5
відносна вологість повітря, %	від 3 до 90	± 5,0
швидкість руху повітря, м/с	від 0 до 1,0	± 0,05
	більше 1,0	± 0,1
інтенсивність теплового випромінювання, Вт/м²	від 10 до 350	± 5,0
	більше 350	± 50,0
температура всередині кульового термометра (затемненої кулі), °C	від 10 до 70	± 0,5

8. Вимірювання параметрів мікроклімату в КЗ проводяться згідно складеного плану виробничого приміщення. Склад і точки вимірювань визначаються особливостями КЗ.

9. При проведенні вимірювань повинні враховуватися допустимі межі вимірюваних показників і межі допустимих коливань температурно-вологісних параметрів для даного типу засобу вимірювання.

10. Реєстрація результатів вимірювань повинна проводитися тільки після встановлення робочого режиму показів приладу.

11. Вимірювання температури повітря необхідно проводити приладами, що забезпечують згідно керівництва по експлуатації захист датчика температури від дії теплового випромінювання.

## **6.2. Обробка результатів технологічних вимірювань**

Обробка результатів вимірювань статистичними методами застосовується на практиці для вирішення наступних завдань:

- визначення похибки засобів вимірювань;
- визначення похибки результату вимірювання;
- визначення відповідності параметрів технологічного процесу заданих точності виробів;
- встановлення технологічного допуску при обробці;
- визначення точнісних характеристик установочних і вибірковок партій деталей, з метою контролю та управління якістю продукції;
- встановлення розсіювання показників якості однотипних виробів та ін.

**Результати вимірювань** знаходять шляхом відповідної обробки **результатів спостережень**, показань отриманих за допомогою засобів вимірювань.

При цьому вводяться такі поняття:

**Результат спостереження** – значення величини відліку показів засобу вимірювань, отримане при окремому вимірі;

**Результат вимірювання** – значення величини, отримане після обробки результатів спостережень.

При виготовленні засобів вимірювання, партії деталей тощо неминуче відбувається розсіювання їх геометричних, фізико-механічних параметрів тощо. Тому результати вимірювання параметрів кожної окремої деталі, засобу вимірювання тощо є випадковими величинами. Теж саме відбувається при багаторазовому вимірі однієї фізичної величини за допомогою конкретного засобу вимірювань.



При проведенні вимірювань виникають **систематичні** і **випадкові похибки**.

**Систематичними** називають похибки, постійні за величиною і знаком або змінюються за певним законом залежно від дії певних заздалегідь передбачуваних причин.

Систематичні похибки виникають, наприклад, через: неточне налаштування обладнання, похибок вимірювального приладу, відхилення робочої температури від нормальної (в т.ч. суб'єктивних дій оператора), силових деформацій, та ін.

Систематичні похибки вимірювання можуть бути повністю або частково усунені, наприклад, за допомогою поправочних таблиць до неправильно проградуєваної шкали приладу або шляхом визначення середньої арифметичної величини з декількох відліків в протилежних положеннях, наприклад, при вимірюванні кроку і половини кута профілю різьби, корекції неправильних дій оператора (вплив на температуру дихання або дотику, перевищення зусиль).

**Випадковими** називають змінні за величиною і знаком похибки, які виникають при виготовленні або вимірюванні і приймають те чи інше числове значення в залежності від ряду випадково діючих причин.

Характерною ознакою випадкових похибок є варіація їх значень при повторних дослідях.

Ці похибки виникають через безліч змінюваних випадкових факторів причому в загальному випадку жоден з цих факторів не є домінуючим.

Випадкові похибки важко усунути, тому їх вплив враховують при призначенні допуску на розмір або на який-небудь інший параметр шляхом проведення багаторазових спостережень.

### **6.2.1. Метрологічні округлення результатів технологічних вимірювань**

Вимірювання вважається закінченим, коли відомо з якою похибкою воно проведено. Похибка результату вимірювання дозволяє визначити достовірні цифри результату. При розрахунку величини похибки, особливо за допомогою калькуляторів, значення похибки виходить з великим числом знаків. Це створює враження про високу точність вимірювань, що не відповідає дійсності, так як вихідними даними для розрахунку найчастіше є нормовані значення похибки використовуваного засобу вимірювання, які вказуються всього з однією або двома значущими цифрами. Внаслідок цього і в остаточному

значенні розрахованої похибки не слід записувати більше двох значущих цифр. У метрології існують такі правила:

1. Похибка результату вимірювання вказується двома значущими цифрами, якщо перша з них дорівнює 1 або 2, і однією – якщо перша 3 і більше. Значущими цифрами називаються всі вірні цифри числа, крім нулів, що стоять попереду числа.

---

---

### **Приклад**

---

---

$$\begin{array}{ll} 0,237 \approx 0,24; & 0,00035 \approx 0,0004; \\ 0,0862 \approx 0,09 & 7,5 \approx 8. \end{array}$$

2. Результати вимірювання округлюють з точністю "до похибки", тобто остання значуща цифра в результаті повинна бути того ж розряду, що і в похибки.

---

---

### **Приклад**

---

---

$$\begin{array}{l} 243,871 \pm 0,036 \approx 243,87 \pm 0,04; \\ 243,871 \pm 3,4 \approx 244 \pm 3. \end{array}$$

3. Округлення результату вимірювання досягається простим відкиданням цифр, якщо перша з відкинутих цифр менше 5.

---

---

### **Приклад**

---

---

$$\begin{array}{l} 8,337 \text{ (округлити до десятих)} \approx 8,3; \\ 833,438 \text{ (округлити до цілих)} \approx 833; \\ 0,27375 \text{ (округлити до сотих)} \approx 0,27. \end{array}$$

4. Якщо перша з відкинутих цифр більше або дорівнює 5, (а за нею одна або декілька цифр відмінні від нуля), то остання з цифр, що залишаються збільшується на одиницю.

---

---

### **Приклад**

---

---

$$\begin{array}{l} 8,3351 \text{ (округлити до сотих)} \approx 8,34; \\ 0,2510 \text{ (округлити до десятих)} \approx 0,3; \\ 271,515 \text{ (округлити до цілих)} \approx 272. \end{array}$$

5. Якщо цифра, що відкидається дорівнює 5, а за нею немає значущих цифр (або стоять одні нулі), то останню цифру, що залишається збільшують на одиницю, якщо вона непарна, і залишають незмінною, якщо вона парна.

---

---

### **Приклад**

---

---

0,875 (округлити до сотих)  $\approx$  0,88;  
0,5450 (округлити до сотих)  $\approx$  0,54;  
275,500 (округлити до цілих)  $\approx$  276;  
276,500 (округлити до цілих)  $\approx$  276.

6. Результат вимірювання повинен бути представлений числом із зазначенням одиниць вимірювання.

#### **6.2.2. Обробка результатів прямих одноразових вимірювань**

Більшість технічних вимірювань, що проводяться у виробничих умовах є одноразовими. Точність прямих одноразових вимірювань є цілком прийнятною для виробничих умов. Крім того прямі одноразові вимірювання відрізняються порівняно простою проведення і високою продуктивністю. Тому вони (одноразові вимірювання) є найбільш поширеними. Як правило при технологічних вимірюваннях прямі одноразові вимірювання проводяться у випадках, якщо: відсутня можливість повторних вимірювань, при вимірах може відбутися руйнування об'єкта вимірювання, проведення таких вимірювань є економічно доцільним.

Ці виміри можливі лише за певних умов:

- обсяг апріорної (попередньо визначеної) інформації про об'єкт вимірювання такий, що модель об'єкта та визначення вимірюваної величини не викликають сумнівів;

- метод вимірювання вивчений, а його похибки або заздалегідь усунуті, або оцінені;

- засоби вимірювань справні, а їх метрологічні характеристики відповідають встановленим нормам.

При прямих одноразових вимірюваннях можливе виникнення інструментальної, методичної та суб'єктивної складової похибки вимірювання. Інструментальні похибки розраховуються за метрологічними характеристикам засобів вимірювання. Методична похибка визначається на основі аналізу методу вимірювання в кожному

конкретному випадку. Суб'єктивна похибка вноситься конкретним оператором. Якщо останні дві складові не перевищують 15 % похибки засобу вимірювання, то за похибку результату одноразового вимірювання приймають похибку використовуваного засобу вимірювання. Дана ситуація дуже часто має місце на практиці.

В кожній з цих похибок можуть бути виділені невиключені систематичні і випадкові похибки. Тому перед проведенням вимірювання повинна бути проведена апріорна оцінка складових похибки вимірювання з використанням усіх доступних даних. При визначенні довірчих меж похибки результату вимірювань довірна ймовірність  $P$  приймається, як правило, рівною 0,95.

Оцінювання похибок прямих одноразових вимірювань можна розділити на точне і наближене.

Названі складові можуть складатися з невиключених систематичних і випадкових похибок.

### **6.2.2.1. Прямі одноразові вимірювання з точним оцінюванням похибок**

Головною особливістю одноразового вимірювання є те, що закони розподілу випадкових складових невідомі і уявлення про них формують лише на основі обмеженої апріорної інформації.

Методика прямих одноразових вимірювань з точною оцінкою похибок приведена в рекомендаціях Р50.2.038–2004 "ГСИ. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей и неопределенности результата измерений". Дана методика застосовується при виконанні таких умов:

- складові похибки відомі;
- випадкові складові розподілені по нормальному закону, а не виключені систематичні, задані своїми границями  $\theta_i$  – рівномірно.

За наявності декількох систематичних похибок, заданих своїми границями  $\pm \Theta_i$  межа результату вимірювання може бути розрахована за формулою:

$$\Theta(P) = k \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m \Theta_i^2}, \quad (6.2.1)$$

де  $k$  – границі невиключеної систематичної похибки вимірювання;

$m$  – кількість невиключених систематичних похибок;

$k$  – коефіцієнт, що залежить від довірчої ймовірності  $P$  та кількості невиключених систематичних похибок  $m$  (Додаток ).

Якщо кожна із невиключених систематичних похибок вимірювання задана довірчими межами  $\pm \Theta_i (P)$ , то сумарна невиключена систематична похибка оцінюється за формулою:

$$\Theta(P) = k \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\Theta_i^2(P_j)}{k_j^2}}, \quad (6.2.2)$$

де  $\Theta(P_j)$  – довірна границя  $i$ -ї невиключеної систематичної похибки, що відповідає довірчій ймовірності  $P_j$ ;

$m$  – кількість невиключених систематичних похибок;

$k_j$  – коефіцієнт, що залежить від довірчої ймовірності  $P$  та кількості невиключених систематичних похибок  $m$  (табл.);

$k$  – коефіцієнт, що залежить від вибраної довірчої ймовірності  $P$  та закону розподілення випадкових величин.

Кінцевий результат вимірювання фізичної величини може бути представлений у вигляді:

$$x_U = A \pm \Theta(P), P. \quad (6.2.3)$$

Систематичну складову похибки вимірювання інструментального характеру (інструментальну систематичну похибку) визначають отримавши оцінку систематичної похибки вимірювального приладу шляхом його повірки або за паспортними даними. При наявності в документації на засіб вимірювання, що застосовується відомостей про додаткові систематичні похибки, виникнення яких обумовлюється додатковими впливаючими величинами, ці похибки також необхідно оцінювати і враховувати.

Отримавши окремо оцінки невиключеної систематичної похибки та випадкової похибки результату одноразового вимірювання їх доцільно співставити. Якщо необхідно враховувати ці дві складові, до їх додають за формулою:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Theta^2 + \Delta^2}, \quad (6.2.4)$$

де  $\Delta$  – сумарна похибка вимірювання;

$\Delta_{\text{с}} – систематична складова похибки вимірювання;$

$\Delta_{\text{в}} – випадкова складова похибки вимірювання.$

Регламентована стандартом форма запису результату вимірювання:

$$x_U = A \pm \Delta, P. \quad (6.2.5)$$

#### 6.2.2.2. Прямі одноразові вимірювання з наближеним оцінюванням похибок

При наближеній оцінці похибок, як і при точній, необхідно перед початком вимірювань провести попередню оцінку складових похибки результату вимірювання. Цю інформацію отримують з досвіду проведення аналогічних вимірів, нормативно-технічної документації на використовувані засоби вимірювання та інших джерел. Якщо оцінка похибки перевищує допустиму, то слід вибрати більш точний засіб вимірювання або змінити методику вимірювання.

У найпростішому випадку похибка дорівнює границі допустимої абсолютної основної похибки засобу вимірювання, що визначається із нормативно-технічної документації, якщо вимірювання проводилися в нормальних умовах. При цьому результат вимірювання можна записати у вигляді  $x_U = A \pm \Delta_{\text{вт}}$ , тобто без вказання довірчої ймовірності  $P$ , яка приймається рівною 0,95.

#### Приклад

Визначити границю допустимої абсолютної похибки вимірювання вольтметра з границями вимірювання 0...250 В та класом точності 0,2, якщо його покази становлять 200 В.

#### Розв'язання

Абсолютне значення похибки приладу визначається за граничним значенням шкали приладу та його класом точності із формули:

$$k = \frac{\Delta}{U_N} 100\% \Rightarrow \Delta = \frac{k U_N}{100\%} = \frac{0,2 \cdot 250}{100} = 0,5 \text{ В},$$

де  $k$  – клас точності приладу;

$U_N$  – граничне значення шкали приладу.

Результат вимірювання  $(200,0 \pm 0,5) B$

Якщо ж вимірювання проводилися в умовах, що відрізняються від нормальних, то слід визначати і враховувати границі додаткових похибок, а потім додавати їх з основними.

### Приклад

Оцінити результат одноразового вимірювання напруги на ділянці електричного кола опором  $R = 4 \text{ Ом}$ , виконаного вольтметром з класом точності  $k = 0,5$  та верхньою границею вимірювання  $U_B = 1,5 B$  та внутрішнім опором  $R_V = 1000 \text{ Ом}$ . Покази вольтметра  $U_x = 0,90 B$ . Відомо, що додаткові відносні похибки показів вольтметра обумовлені впливом магнітного поля та температури оточуючого середовища не перевищують значень  $\varphi_{\text{мл}} = \pm 0,75\%$  та  $\varphi_t = \pm 0,3\%$  допустимої граничної відносної похибки відповідно.

Розв'язок:

1. Інструментальну складову похибки вимірювання визначають основна та додаткова похибка. Додаткова похибка обумовлена впливом магнітного поля та температурою оточуючого середовища.

2. Границя основної допустимої відносної похибки вольтметра при показанні вольтметра  $0,90 B$  на цій позначці у відсотках дорівнює:

$$\delta_O = \pm \frac{k U_B}{U_x} = \pm \frac{0,5 \cdot 1,5}{0,9} = \pm 0,83\% .$$

3. Додаткова похибка обумовлена впливом магнітного поля  $\varphi_{\text{мл}} = \pm 0,75\%$  та температурою оточуючого середовища  $\varphi_t = \pm 0,3\%$ . В даному випадку основна та додаткові систематичні похибки задані своїми границями тому, сумарна невиключена систематична похибка вимірювання обчислюється за формулою (6.2.1) наступним чином:

$$\delta_{\text{звт}}(P) = k \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m \delta_i^2} = 1,1 \sqrt{0,83^2 + 0,75^2 + 0,3^2} = 1,3\% ,$$

де  $m$  – кількість невиключених систематичних похибок,  $m = 3$ ;

$k$  – коефіцієнт, що залежить від довірчої ймовірності  $P$  та кількості невиключених систематичних похибок  $m$  визначається за табл. В.1 (див. додаток В)  $k = 1,1$ .

Абсолютне значення інструментальної сумарної систематичної похибки становить:

$$\Delta_{\Sigma 3BT} = \frac{\delta_{3BT} U_x}{100\%} = \frac{1,30,9}{100} = 0,012 \text{ В.}$$

#### 4. Оцінка методичної похибки.

Для визначення методичної похибки вимірювання напруги використовують метод еквівалентного генератора [1] (рис. 6.2.1).

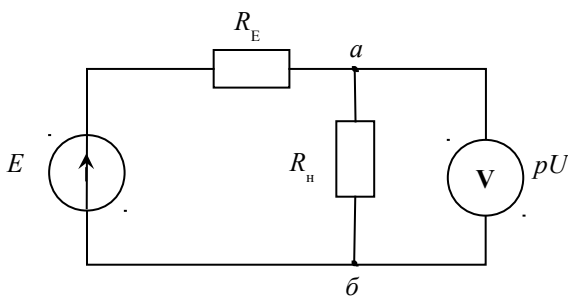


Рис. 6.2.1.

Вхідний опір схеми знаходять, відключивши вольтметр від опору навантаження та подумки перемкнувши джерело живлення:

$$R_{ex} = \frac{R_E \cdot R_H}{R_E + R_H}.$$

Напруга на затискачах "а", "б" є напругою холостого ходу при відключеному вольтметрі. Тоді напруга на вольтметрі визначається із виразу:

$$U_B = \frac{U_{aб \text{ } xx}}{R_{ex} + R_V} R_V \Rightarrow \frac{U_B}{U_{aб \text{ } xx}} = \frac{R_V}{R_{ex} + R_V}.$$



Методична похибка вимірювання напруги, що обумовлюється внутрішнім опором вольтметра у відносній формі становить:

$$\begin{aligned}\delta_{мет} &= \frac{U_B - U_{аб\ xx}}{U_{аб\ xx}} 100\% = \left[ \frac{U_B}{U_{аб\ xx}} - 1 \right] 100\% = \\ &= \left[ \frac{R_V}{R_{ex} + R_V} - 1 \right] 100\% = - \frac{R_{ex}}{R_{ex} + R_V} 100\% = \\ &= - \frac{4}{4+1000} 100\% = - 0,4\%.\end{aligned}$$

Абсолютне значення методичної похибки становить:

$$\Delta_{мет} = \frac{U_x \delta_{мет}}{100\%} = \frac{0,9 (- 0,4\%)}{100\%} = - 0,004 .$$

Дана похибка є систематичною і повинна бути внесена до результату вимірювання у вигляді поправки  $\Delta_{мет} = - 0,004\text{ В}$ . Тоді результат вимірювання з врахуванням поправки  $U = 0,9 + 0,004 = 0,904\text{ В}$ .

5. Оскільки  $\kappa_{ЗВТ} \gg \kappa_{мет}$ , то  $\kappa_{мет}$  можна знехтувати і остаточний результат вимірювання записати наступним чином:

$$U = (0,900 \pm 0,012)\text{ В}, P=0,95.$$

#### 6.2.2.2. Додавання похибок при одноразових вимірюваннях

При одноразових вимірюваннях границі граничної похибки вимірювання визначаються сумою граничних значень систематичної і випадкової складових:

$$\Delta_{\Sigma} \pm (\Delta_{сист} + \Delta_{вип}). \quad (6.2.6)$$

Одноразові вимірювання вважають достатніми, якщо невиключена систематична похибка, наприклад, обумовлена класом точності засобу вимірювання, більше випадкової. Практично це досягається за умови:

$$\Delta_{\text{дн}} = (0,5 \dots 0,25) \cdot \Delta_{\text{ист.}} \quad (6.2.7)$$

При цьому результуюча похибка буде визначатися систематичними складовими, що зумовлюються похибками засобів вимірювання  $\Delta_{\text{звт}}$  та методу вимірювання  $\Delta_{\text{мет}}$ :

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\text{звт}}^2 + \Delta_{\text{мет}}^2} \quad (6.2.8)$$

Результат вимірювання записується у вигляді:

$$A = x_{\text{звт}} \pm \Delta \text{ при ймовірності } P=0,95. \quad (6.2.9)$$

Для уточненої оцінки можливості застосування одноразових вимірювань слід співставити сумарні похибки, отримані при цьому, з сумарними похибками багаторазових вимірювань при наявності випадкової і невиключеної систематичної похибки.

Практично при одноразових вимірюваннях, щоб уникнути промахів, роблять 2–3 вимірювання та за результат приймають середнє значення. Відомо, що при одноразових вимірюваннях, як і при багаторазових, одноразовий відлік показань може містити промах. Щоб уникнути промаху при виконанні одноразових вимірювань рекомендується повторювати вимірювання 2–3 рази, прийнявши за результат середнє арифметичне. Статистичній обробці ці вимірювання не піддаються. У простому випадку, якщо впливаючі величини відповідають нормальній області значень, похибка результату прямого одноразового вимірювання дорівнює основній похибці засобу вимірювань  $\Delta_{\text{звт}}$ , яка визначається за нормативно-технічною документацією. Тоді результат вимірювань записують у вигляді:

$$A = x_{\text{звт}} + \Delta_{\text{звт}}, (P), \quad (6.2.10)$$

де  $A$  – результат вимірювання;

$x_{\text{звт}}$  – покази засобу вимірювання;

$\Delta_{\text{звт}}$  – інструментальна похибка засобу вимірювання;

$P$  – довірча ймовірність, як правило приймається 0,95.

## ===== Приклад =====

При вимірюванні довжини стрижня  $l = (50 \pm 0,3) \text{ мм}$  штангенциркулем ШЦ-II, основна похибка якого за паспортом становить  $\Delta_{звт} = \pm 0,05 \text{ мм}$  отримані наступні результати:  $x_1 = 50,10 \text{ мм}$ ;  $x_2 = 50,20 \text{ мм}$ ;  $x_3 = 50,15 \text{ мм}$ .

Записати кінцевий результат вимірювання.

Розв'язання:

1. Середнє арифметичне значення довжини стрижня, що вимірюється розраховується за формулою:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{50,10 + 50,20 + 50,15}{3} = 50,15 \text{ мм.}$$

2. Результат вимірювання записується у вигляді:

$$A = \bar{x}_{звт} + \Delta_{звт}, (P),$$

Тобто  $l = (50,15 \pm 0,05) \text{ мм}, (P=0,95)$ .

### 6.2.3. Обробка результатів прямих багаторазових технологічних вимірювань

Багаторазові вимірювання проводять з метою зменшення впливу випадкових похибок. Припустимо, що вимірюють деяку фізичну величину  $x$ . Для цього проводять багаторазові вимірювання. В результаті отримують декілька значень величини, які називають результатами спостереження:  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ . Цей ряд значень величини  $x$  називають *вибіркою*. Маючи таку вибірку, можна дати оцінку результату вимірювань, яку позначають  $\bar{x}$ . Величина  $\bar{x}$  є *дійсним значенням фізичної величини*. Як відомо *істинним значенням фізичної величини* (англ. true value (of a quantity)) називається значення фізичної величини, яке ідеальним чином відображало б в якісному і кількісному відношенні фізичну величину. Істинне значення фізичної величини може бути отримано тільки в результаті нескінченного процесу вимірювань з нескінченим вдосконаленням методів і засобів вимірювань. Визначити експериментально істинне значення фізичної величини неможливо внаслідок неминучих похибок вимірювання. Для кожного рівня розвитку вимірювальної техніки можна знати тільки

дійсне значення фізичної величини, яке застосовується замість істинного значення фізичної величини. Дійсне значення фізичної величини (англ. conventional true value (of a quantity)) – значення фізичної величини, отримане експериментальним шляхом і настільки близьке до істинного значення, що в поставленому вимірювальному завданні може бути використане замість нього.

Так як значення оцінки результатів вимірів  $\bar{x}$  не може бути істинним, необхідно оцінити його похибку  $\Delta x$ . Результат вимірювань записують у вигляді  $\mu \Rightarrow \bar{x} \pm \Delta x$ . Так як оціночні значення результату вимірювань  $\bar{x}$  і похибки  $\Delta x$  не можуть бути точними, запис результату вимірювань супроводжують із зазначенням певного ступеню довіри отриманим результатам  $P$ . Під *довірчою ймовірністю* розуміють ймовірність того, що істинне значення вимірюваної величини знаходиться в деякому інтервалі. Сам цей інтервал називається *довірчим інтервалом*.

Наприклад, при вимірюванні довжини деякого відрізка, остаточний результат записали наступним чином:

$$l = (8,34 \pm 0,02) \text{ мм}, (P = 0,95).$$

Це означає, що із 100 шансів – 95 за те, що істинне значення довжини відрізка знаходиться в інтервалі від 8,32 до 8,36 мм.

Таким чином, при обробці результатів багаторазових вимірювань, необхідно знайти оцінку результату вимірювань  $\bar{x}$ , його похибку  $\Delta x$  і довірчу ймовірність  $P$ . Це здійснюється за допомогою теорії ймовірностей та математичної статистики.

Опускаючи теоретичні обґрунтування в даних методичних вказівках пропонується наступний порядок обробки результатів прямих багаторазових вимірювань:

1. Результат кожного спостереження записують у таблицю.
2. Обчислюють середнє значення з  $n$  спостережень:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (6.2.11)$$

3. Знаходять похибку окремого спостереження:

$$\Delta x_i = \bar{x} - x_i \quad (6.2.12)$$

4. Обчислюють квадрати похибок окремих спостережень:

$$(\Delta x_1)^2, (\Delta x_2)^2, \dots, (\Delta x_n)^2. \quad (6.2.13)$$

5. Визначають середнє квадратичне відхилення  $\tilde{\sigma}$  окремого спостереження  $x_i$  від середнього арифметичного  $\bar{x}$ :

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \Delta x_i^2}. \quad (6.2.14)$$

6. Обчислюють середнє квадратичне відхилення  $\tilde{\sigma}_{ca}$  середнього арифметичного  $\bar{x}$  від істинного значення фізичної величини  $\mu$ :

$$\tilde{\sigma}_{ca} = \frac{\tilde{\sigma}}{\sqrt{n}}. \quad (6.2.15)$$

7. Задають значення надійності (зазвичай приймають  $P = 0,95$ ).

8. Проводять оцінку грубих похибок експерименту, які мають суттєвий вплив на оцінку точності технологічних вимірювань і призводять до того, що окремі результати спостережень за своєю величиною суттєво відрізняються від інших. Якщо деяке спостереження  $x_i$  різко виділяється із множини спостережень  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  то, визначають чи воно є результатом грубої похибки чи випадковим відхиленням:

Визначають довірчий інтервал результатів спостереження та перевіряють, чи всі результати спостереження входять у нього:

$$\Delta_i \Rightarrow \bar{x} \pm K \tilde{\sigma}, \quad (6.2.16)$$

де  $K$  – коефіцієнт Лапласа, що визначають за табл. В.2 (див. додаток В) для заданої довірчої ймовірності  $P$ .

Обчислюють границі грубої похибки:

$$\Delta_{\Gamma} = K_{\Gamma} \tilde{\sigma}, \quad (6.2.17)$$

де  $K_{\Gamma}$  – коефіцієнт для визначення грубої похибки, що визначають за табл. В.4 (див. додаток В) в залежності від об'єму вибірки  $n$ .

Якщо  $|x_i - \bar{x}| < \Delta_{\Gamma}$ , то спостереження  $x_i$ , що різко виділяється із множини спостережень  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  не містить грубої похибки, а є випадковим відхиленням. Якщо спостереження  $x_i$  містить грубу похибку, то його виключають із множини спостережень  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  та проводять повторні обчислення за п. 2 – 8.

9. Знаходять довірчий інтервал результату вимірювання:

$$\Delta_{ca} = \bar{x} \pm K_c \tilde{\sigma}_{ca}, \quad (6.2.18)$$

де  $K_c$  – коефіцієнт Ст'юдента, що визначають за табл. В.3 (див. додаток В) в залежності від об'єму вибірки  $n$  та заданої довірчої ймовірності  $P$ .

10. Кінцевий результат записують у вигляді:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x. \quad (6.2.19)$$

### ===== Приклад =====

При вимірюванні напруги джерела живлення отримані наступні результати спостереження, В: 9,78; 9,65; 9,83; 9,69; 9,74; 9,80; 9,68; 9,71; 9,81. Знайти результат і похибку вимірювання напруги та записати в стандартній формі, якщо систематична похибка відсутня, а випадкова розподілена за нормальним законом.

#### Обробка результатів

Таблиця 6.2.1

№ з/п	Результат спостереження $x_i$	Випадкове відхилення $\Delta x_i = x_i - \bar{x}$	Квадрат випадкового відхилення $\Delta x_i^2$	Примітка
1	9,78	0,0367	0,0367	
2	9,65	-0,0933	-0,0933	

3	9,83	0,0867	0,0867	
4	9,69	-0,0533	-0,0533	
5	9,74	-0,0033	-0,0033	
6	9,80	0,0567	0,0567	
7	9,68	-0,0633	-0,0633	
8	9,71	-0,0333	-0,0333	
9	9,81	0,0667	0,0667	
	$\bar{x} = 9,7433$	$\sum_{i=1}^n \Delta x_i = 0,0003$	$\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta x_i^2} = 0,064421$ $\tilde{\sigma}_{ca} = \frac{\tilde{\sigma}}{\sqrt{n}} = 0,0215$	

1. Довірчий інтервал результатів спостереження:

$$\Delta_i = \bar{x} \pm K \tilde{\sigma} = (9,7433 \pm 2,0 \cdot 0,064421) B ;$$

$$\underline{9,614459} B; \overline{9,872141} B$$

Сумнівних результатів спостереження у вибірці немає, тому, що жоден із результатів спостереження не виходить за границі довірчого інтервалу. В зв'язку з цим проводити оцінку грубих похибок експерименту не потрібно.

2. Довірчий інтервал результату вимірювання:

$$\Delta_{ca} = \bar{x} \pm K_c \tilde{\sigma}_{ca} = 9,7433 \pm 2,31 \cdot 0,0215 = 9,7433 \pm 0,049665 \approx (9,74 \pm 0,05) B,$$

де  $K_c = 2,31$  – коефіцієнт Ст'юдента визначений за табл. В.3 для вибірки з 9 елементів та довірчої ймовірності 0,95.

Відповідь:  $U = (9,74 \pm 0,05) B, (P = 0,95)$

## 6.2.4. Визначення необхідної кількості технологічних вимірювань

Від правильного визначення об'єму вибірки, кількості спостережень залежить точність та надійність результатів дослідження, об'єм дослідження, терміни в які воно буде проведено, фінансові витрати та інші організаційні витрати.

Найбільш простим методом визначення необхідного об'єму вибірки  $n$  є метод з використанням таблиці достатньо великих чисел [ Колкер] за табл. 6.2.2, що складена на підставі теореми Бернуллі, яка визначає залежність між об'ємом вибіркової сукупності  $n$ , похибки  $\Delta$  та довірчої ймовірності  $P$ .

Таблиця 6.2.2.

Таблиця достатньо великих чисел

$P$	$\Delta$									
	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
0,95	96	118	150	195	266	384	600	1067	2400	9603
0,99	165	204	259	338	460	663	1036	1843	4146	16587
<i>Примітка:</i> похибка $\Delta$ задана в абсолютних значеннях, та вимірюється в одиницях ознаки, що досліджується										

При використанні табл. 6.2.2 отримується дещо завищений об'єм вибірки  $n$ , тому даний метод використовується у випадках, коли вибірка сукупність  $n$  складає невелику частину генеральної сукупності  $N$  ( $N > 20 \cdot n$ ).

Якщо в результаті попередніх досліджень коефіцієнт варіації  $V$  визначений, то об'єм вибірки  $n$  може бути знайдений в залежності від величини похибки  $\Delta$  та довірчої ймовірності  $P = 0,95$  за номограмою приведеною на рис. 6.2.2

**Коефіцієнт варіації  $V$**  – відносна величина, що характеризує ступінь коливання (мінливості) деякої ознаки і визначається як відношення середнього квадратичного відхилення  $\sigma_0$  до середнього арифметичного  $\bar{x}_0$ , виражений у відсотках:

$$V_0 = \frac{\sigma_0}{\bar{x}_0} 100\%, \quad (6.2.20)$$

де  $V_0$  – коефіцієнт варіації генеральної сукупності  $N$ ;



$\sigma_0$  – середнє квадратичне відхилення генеральної сукупності  
 $N$  від істинного значення;

$\bar{x}_0$  – середнє арифметичне значення генеральної сукупності  
 $N$ .

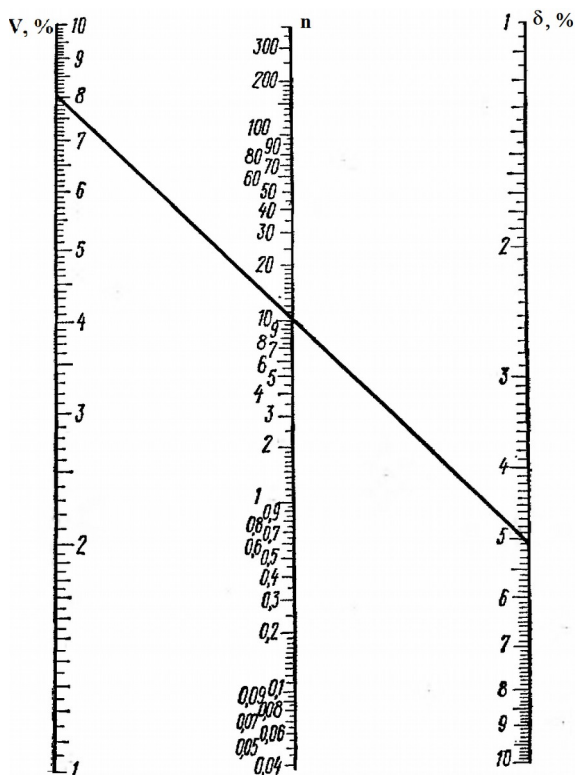



Рис. 6.2.2. Номограма достатньо великих чисел  
при довірчій імовірності  $P = 0,95$  [Колкер]

На номограмі похибка  $\rightarrow$  виражена у відсотках від величини, що досліджується. Якщо значення коефіцієнта варіації  $V$  становить більше 10%, то на лівій шкалі відкладається величина  $V_1 = 0,1 \cdot V$ . Потім визначивши значення  $n_1$  обчислюють необхідний об'єм вибірки  $n = 100 \cdot n_1$ . Наведена на рис. 6.2.2 номограма дозволяє отримати об'єм вибірки  $n$  значно менший ніж за табл. 6.2.2.

У випадку невідомого значення коефіцієнта варіації  $V$  рекомендується визначати його значення користуючись вибірками невеликого об'єму  $n = 5 \dots 10$  шт.

В загальному випадку об'єм вибірки  $n$  в залежності від абсолютної похибки  $\Delta$ , та довірчої імовірності  $P$ , а також в залежності від виду статистичних характеристик, що визначаються і співвідношень об'ємів вибіркової генеральної сукупності  $N$  визначається за формулами наведеними в табл. 6.2.3.

Таблиця 6.2.3

Характеристика	Умови	Об'єм вибірки					
		$n > 20;$ $N > 20 \cdot n$	№	$n > 20;$ $N < 20 \cdot n$	№	$n \leq 20$	№
$\bar{x}$	$\sigma_0$ – відоме; $\Delta$ – задана в абсолютних одиницях	$n = \frac{t^2 \sigma_0^2}{\Delta^2}$	(6.2.21)	$\frac{t^2 \sigma_0^2 \cdot N}{\Delta^2 (N-1) + t^2 \sigma_0^2}$	(6.2.30)	–	
	$\sigma_0$ – невідоме; $\Delta$ – задана в абсолютних одиницях	$n = \frac{t^2 \tilde{\sigma}^2}{\Delta^2}$	(6.2.22)	$n = \frac{t^2 \tilde{\sigma}^2 \cdot N}{\Delta^2 (N-1) + t^2 \tilde{\sigma}^2}$	(6.2.31)	$\frac{t_c^2 \sigma_0^2 + \Delta^2}{\Delta^2}$	(6.2.39)
	$\sigma_0$ – невідоме; $\Delta = q$ 	$n = \frac{t^2}{q^2}$	(6.2.23)	$n = \frac{t^2 \cdot N}{q^2 (N-1) + t^2}$	(6.2.32)	$n = \frac{t_c^2 + q^2}{q^2}$	(6.2.40)
$\tilde{\sigma}$	$\sigma_0$ – відоме; $\Delta$ – задана в абсолютних одиницях	$n = \frac{t^2 \sigma_0^2}{2 \Delta^2}$	(6.2.24)	$n = \frac{t^2 \sigma_0^2 \cdot N}{2 \Delta^2 (N-1) + t^2 \sigma_0^2}$	(6.2.33)	–	
	$\sigma_0$ – невідоме; $\Delta$ – задана в абсолютних одиницях	$n = \frac{t^2 \tilde{\sigma}^2}{2 \Delta^2}$	(6.2.25)	$n = \frac{t^2 \tilde{\sigma}^2 \cdot N}{2 \Delta^2 (N-1) + t^2 \tilde{\sigma}^2}$	(6.2.34)	–	

	$\sigma_0$ – невідоме; = q	$n = \frac{t^2}{2 q^2}$	(6.2.26)	$n = \frac{t^2 \cdot N}{2 q^2 (N-1) + t^2}$	(6.2.35)	$n = k+1$	(6.2.41)
$V_0$	$V_0$ – відоме; – задана в абсолютних одиницях	$n = \frac{t^2 V_0^2}{2 \cdot \Delta^2}$	(6.2.27)	$n = \frac{t^2 V_0^2 \cdot N}{2 \cdot \Delta^2 (N-1) + t^2 V_0^2}$	(6.2.36)	–	
	$V_0$ – невідоме; – задана в абсолютних одиницях	$n = \frac{t^2 V^2}{2 \cdot \Delta^2}$	(6.2.28)	$n = \frac{t^2 V^2 \cdot N}{2 \cdot \Delta^2 (N-1) + t^2 V^2}$	(6.2.37)	–	
	$V_0$ – невідоме; = q · $\tilde{\sigma}$	$n = \frac{t^2 10^4}{2 \bar{x}^2 q^2}$	(6.2.29)	$n = \frac{t^2 \cdot N 10^4}{2 \bar{x}^2 q^2 (N-1) + t^2}$	(6.2.38)	$n = k+1$	(6.2.42)
<u>Примітка:</u> $t$ – аргумент функції Лапласа, що визначається за табл. В.5 (див. додаток В); $t_c$ – аргумент функції Ст'юдента, що визначається за табл. В.6 (див. додаток В); $k$ – аргумент функції $L(q; k)$ , що визначається за табл. В.7 (див. додаток В)							

Якщо середнє квадратичне відхилення генеральної сукупності  $\sigma_0$  або коефіцієнт варіації генеральної сукупності  $V_0$  невідомі (що найчастіше буває), то за величину середнього квадратичного відхилення генеральної сукупності  $\sigma_0$  або коефіцієнта варіації генеральної сукупності  $V_0$  приймають відповідну величину отриману в результаті будь яких попередніх досліджень такого ж виду або приймають вибірку не дуже великого об'єму ( $n \bullet 10$ ) і по ній визначають величину середнього квадратичного відхилення вибірки  $\tilde{\sigma}$  та коефіцієнта варіації вибірки  $V$ . Отримане значення середнього квадратичного відхилення вибірки  $\tilde{\sigma}$  підставляють у вирази (6.2.22), (6.2.25), (6.2.31), (6.2.34), а значення коефіцієнта варіації вибірки  $V$  – у вирази (6.2.28), (6.2.37).

**Методика визначення об'єму вибірки** за виразами (6.2.39) та (6.2.40) полягає в наступному:

- 1) вибирають попередню вибірку малого об'єму ( $n_1 \bullet 10$ );
- 2) за даними цієї вибірки об'ємом  $n_1$  визначають середнє квадратичне відхилення  $\tilde{\sigma}$  (див. п. 6.2.3., вираз (6.2.14));

- 3) обчислюють функцію  $S_n(t_c) = \frac{P+1}{2}$  в залежності від заданої довірчої імовірності  $P$ ;
- 4) за табл. В.6 (див. додаток В) в залежності від значення  $S_n(t_c)$  та  $n_1$  визначають величину аргументу функції Ст'юдента  $t_c$ ;
- 5)

### 6.2.3. Обробка результатів опосередкованих технологічних вимірювань

При обробці результатів опосередкованих вимірювань вихідними даними є формула зв'язку та масиви результатів спостережень, попередньо оброблені за методикою обробки результатів багатократних спостережень. Запис результату опосередкованого вимірювання представляють у формі:

$$Y = A_Y \pm \Delta A_Y, \quad (6.2.21)$$

де  $Y$  – результат опосередкованого вимірювання;

$A_Y$  – ймовірне значення шуканої фізичної величини;

$\Delta A_Y$  – загальна похибка результату опосередкованого вимірювання.

Метрологічна обробка результатів опосередкованих вимірювань полягає в обчисленні ймовірного значення шуканої фізичної величини  $A_Y$ . Для цього у формулу зв'язку підставляють результати  $A_j$  прямих вимірювань:

$$A_Y = f(A_1, A_2, \dots, A_n), \quad (6.2.22)$$

де  $A_1, A_2, \dots, A_n$  – результати прямих вимірювань визначені із результатів спостережень:

$$x = (A_i \pm \Delta A_i). \quad (6.2.23)$$

Загальна похибка результату опосередкованого вимірювання  $\Delta A_Y$  обчислюється в залежності від формули зв'язку аргументів:

$$\Delta A_Y = f(\Delta A_1, \Delta A_2, \dots, \Delta A_n). \quad (6.2.24)$$

Таблиця 6.2.4

№ з/п	Рівняння, що зв'язує аргументи	Загальна похибка результату вимірювання $\Delta A_r$
1	$y = x^a$	$\Delta y = y a \frac{\Delta x}{x}$
2	$y = \sqrt[a]{x}$	$\Delta y = y \frac{1}{a} \frac{\Delta x}{x}$
3	$y = a x_1 + b x_2 + \dots$	$\Delta y = \sqrt{(a \Delta x_1)^2 + (b \Delta x_2)^2 + \dots}$
4	$y = k x_1^a x_2^b \dots$	$\Delta y = y \sqrt{\left(a \frac{\Delta x_1}{x_1}\right)^2 + \left(b \frac{\Delta x_2}{x_2}\right)^2 + \dots}$
<u>Примітка:</u> величини $k, a, b$ у формулах – це деякі цілі або дробові, додатні або від'ємні числа		

**Приклад.** Визначити покази вольметра (рис. 6.2.3), якщо  $U_1 = (121 \pm 2) \text{ В}$ ;  $U_2 = (142 \pm 3) \text{ В}$ . Формула зв'язку:  $Y = U = U_1 + U_2$ . Записати результат опосередкованого вимірювання.

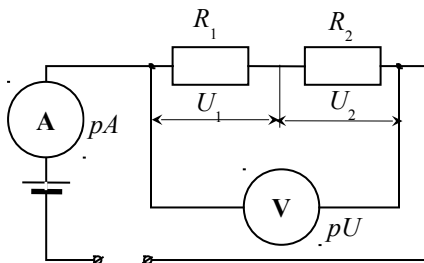


Рис. 6.2.3

Розв'язання:

$$A_U = 121 + 142 = 236 \text{ В};$$

$$\Delta A_U = \sqrt{(2)^2 + (3)^2} = 3,6055512 \approx 4.$$

Результат вимірювання:  $U = (236 \pm 4) \text{ В}$ .

**Приклад**

Обчислити потужність споживача постійного електричного струму на підставі результатів прямих вимірювань напруги та струму:  $U = (120,50 \pm 0,23) \text{ В}$ ;  $I = (5,2401 \pm 0,0052) \text{ А}$ . Формула зв'язку відома:  $P = U \cdot I$ .

Розв'язання:

$$A_P = 120,50 \cdot 5,2401 = 631,43205 \text{ Вт.}$$

$$\Delta A_P = 631,43205 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,23}{120,50}\right)^2 + \left(\frac{0,0052}{5,2401}\right)^2} = 1,3583776 \approx 1,4 \text{ Вт.}$$

Результат вимірювання:  $P = (631,4 \pm 1,4) \text{ Вт}$ .

### ===== Приклад =====

Обчислити площу диска  $F$ , якщо діаметр кола  $d = (12,0 \pm 0,1) \text{ см}$ ; вважати  $\pi = 3,141\,592\,6$ . Формула зв'язку:  $F = \pi \cdot d^2 / 4$ .

Розв'язання:

Найімовірніше значення результату опосередкованого вимірювання:

$$A_F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,141\,592\,6 \cdot 12^2}{4} = 113,04 \text{ см}^2.$$

Абсолютна систематична похибка константи  $\pi$ :

$$\Delta\pi = |3,14 - 3,141\,592\,6| = 0,001\,592\,6 \approx 0,0016.$$

Загальна похибка результату:

$$\begin{aligned} \Delta F &= A_F \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta\pi}{\pi}\right)^2 + \left(2 \frac{\Delta d}{d}\right)^2} = \\ &= 113,4 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,0016}{3,14}\right)^2 + \left(2 \frac{0,1}{12}\right)^2} = 1,884 \approx 1,9 \text{ см}^2. \end{aligned}$$

Результат опосередкованого вимірювання:  $F = (113,0 \pm 1,9) \text{ см}^2$ .

### 6.3. Побудова графіків

При виконанні деяких завдань курсового проекту необхідно будувати графіки, наприклад, при дослідженні статичних характеристик засобів вимірювання. При побудові та оформленні графіків необхідно дотримуватись наступних правил:

1. Графіки будують на міліметровому аркуші формату А4. Як виняток допускається побудова графіків із використанням комп'ютерних програм, але з обов'язковою побудовою масштабно-координатної сітки.

2. На координатних осях обов'язково вказуються позначення фізичних величин, що відкладаються та одиниці їх вимірювання.

3. Початок координат, при необхідності, може не співпадати з нульовим значенням величин. Його (тобто початок координат) вибирають таким чином, щоб площа креслення була максимально використана.

4. Експериментальні точки відображають на графіку чітки та крупно.

5. Масштабні поділки на координатних осях необхідно наносити рівномірно. Координати експериментальних точок на осях не вказують, а лінії, що визначають ці координати не проводять.

6. Масштаб вибирають наступним чином:

6.1. крива повинна бути рівномірно розтягнута вздовж обох осей, а якщо графік має вигляд прямої – кут її нахилу до осей повинен бути близьким до  $45^\circ$ ;

6.2. повинна забезпечуватись можливість швидкого визначення положення будь якої точки на графіку (масштаб при якому ускладнено читання графіку вважається непридатним).

7. Якщо спостерігається значний розкид експериментальних точок, то криву або пряму проводять не за точками, а між ними, так, щоб кількість точок з обох боків від неї була однаковою. Крива повинна бути плавною.

## ДОДАТКИ

Додаток А

Міністерство освіти та науки України

ЖИТОМИРСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра автоматизованого управління технологічними процесами та  
комп'ютерних технологій

## ЗАВДАННЯ

### НА КУРСОВИЙ ПРОЕКТ

з метрології, технологічних вимірювань та приладів

на тему: \_\_\_\_\_

Студента (ки) \_\_\_\_\_ курсу \_\_\_\_\_ групи  
напряму підготовки 6.0925 „Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології”  
спеціальності "Автоматизоване управління  
технологічними процесами"

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Керівник доцент каф. АУТПтаКТ, доцент,  
к.т.н., Черепанська І. Ю.

\_\_\_\_\_  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)



1. Описати прямі та непрямі методи вимірювання фізичної величини відповідно до індивідуального завдання.
2. Вибрати схему вимірювання фізичної величини прямим методом та провести обробку результатів вимірювання при однократному та багатократному спостереженнях. При проведенні багатократного спостереження обґрунтовано визначити необхідну кількість спостережень (об'єм вибірки).
3. Вибрати схему вимірювання фізичної величини непрямым методом та провести обробку результатів вимірювання.
4. Визначити метрологічні характеристики та параметри засобів вимірювальної техніки, що використовувались (побудувати статичну характеристику, визначити чутливість, діапазон вимірювань, діапазон показів, варіацію тощо).
5. Скласти структурно-функціональну схему вимірювання фізичної величини.

Дата видачі завдання " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_

Дата захисту курсового проекту " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_

Керівник курсового проекту \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

Студент (ка) \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

ЖИТОМИРСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

\_\_\_\_\_  
(повна назва кафедри)

## КУРСОВИЙ ПРОЕКТ

3 \_\_\_\_\_  
(назва дисципліни)

на тему: \_\_\_\_\_

Студента (ки) \_\_\_\_\_ курсу \_\_\_\_\_ групи  
напряму підготовки \_\_\_\_\_  
спеціальності \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна шкала \_\_\_\_\_

Кількість балів: \_\_\_\_\_ Оцінка: ECTS \_\_\_\_\_

### Члени комісії

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

(

Житомир - 20 \_\_рік

## ДОВІДНИКОВІ МАТЕРІАЛИ

Таблиця В.1

**Залежність коефіцієнта  $k$  від довірчої ймовірності  $P$  і кількості складових  $m$  невиключених систематичних похибок**

$P$	0,95	0,99	0,99		
$m$	–	4 та більше	2	3	4
$k$	1,1	1,4	Визначають із табл. В.1.1		

Таблиця В.1.1

$l$	0	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8
$m=2$	0,90	1,21	1,27	1,21	1,16	1,12	1,09	1,07	1,05	1,04
$m=3$	1,27	1,34	1,36	1,31	1,24	1,18	1,14	1,11	1,09	1,08
$m=4$	1,36	1,39	1,41	1,36	1,28	1,23	1,17	1,15	1,13	1,10

Примітка:  $l = \frac{\Theta_1}{\Theta_2}$ , де  $\blacktriangleright$  – границі невиключених систематичних похибок. При трьох або чотирьох доданках за  $\blacktriangleright$  приймають складову, що за числовим значенням найбільше відрізняється від інших, за  $\blacktriangleright$  приймають найближчу до  $\blacktriangleright$  складову.

## Значення функції Лапласа

$$P\{|t| < K\} = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^K e^{-\frac{y^2}{2}} dy$$

К	Р	К	Р	К	Р
0	0,0000	1,00	0,6826	2,0	0,9545
0,05	0,0399	1,05	0,7063	2,1	0,9643
0,10	0,0797	1,10	0,7287	2,2	0,9722
0,15	0,1192	1,15	0,7499	2,3	0,9786
0,20	0,1585	1,20	0,7699	2,4	0,9836
0,25	0,1974	1,25	0,7887	2,5	0,9876
0,30	0,2358	1,30	0,8064	2,6	0,9907
0,35	0,2737	1,35	0,8230	2,7	0,9931
0,40	0,3108	1,40	0,8385	2,8	0,9949
0,45	0,3473	1,45	0,8529	2,9	0,9963
0,50	0,3829	1,50	0,8664	3,0	0,9973
0,55	0,4177	1,55	0,8789	3,1	0,9981
0,60	0,4515	1,60	0,8904	3,2	0,9986
0,65	0,4843	1,65	0,9011	3,3	0,9990
0,70	0,5161	1,70	0,9109	3,4	0,9993
0,75	0,5468	1,75	0,9199	3,5	0,9995
0,80	0,5763	1,80	0,9281	3,6	0,9997
0,85	0,6047	1,85	0,9357	3,7	0,9998
0,90	0,6319	1,90	0,9426	3,8	0,9999
0,95	0,6579	1,95	0,9488	3,9	0,9999

Таблиця В.3

Критичні значення коефіцієнта Ст'юдента ( $t$ -критерія) для різної довірчої ймовірності  $P$  та числа ступенів вільності  $n$

$$P(|t| < t_s) = 2 \int_0^{t_s} f(t, n) dt$$

n	P						
	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,995	0,999
2	30,8	6,31	12,71	31,82	63,71	127,3	636,6
3	1,89	2,92	4,30	6,96	9,92	14,1	31,6
4	1,64	2,35	3,18	4,54	5,84	7,45	12,94
5	1,53	2,13	2,77	3,75	4,6	5,6	8,61
6	1,48	2,02	2,57	3,36	4,03	4,77	6,86
7	1,44	1,94	2,45	3,14	3,71	4,32	5,96
8	1,42	1,89	2,36	3,00	3,50	4,03	5,40
9	1,40	1,86	2,31	2,90	3,36	3,83	5,04
10	1,38	1,83	2,26	2,82	3,25	3,69	4,78
11	1,37	1,81	2,23	2,76	3,17	3,58	4,59
12	1,36	1,80	2,20	2,72	3,11	3,50	4,49
13	1,36	1,78	2,18	2,68	3,06	3,43	4,32
14	1,35	1,77	2,16	2,65	3,01	3,37	4,22
15	1,34	1,76	2,14	2,62	2,98	3,33	4,14
16	1,34	1,75	2,13	2,60	2,95	3,29	4,07
17	1,34	1,75	2,12	2,58	2,92	3,25	4,02
18	1,33	1,74	2,11	2,57	2,90	3,22	3,96
19	1,33	1,73	2,10	2,55	2,88	3,20	3,92
20	1,33	1,73	2,09	2,54	2,86	3,17	3,88
25	1,32	1,71	2,06	2,49	2,80	3,09	3,74
30	1,31	1,69	2,04	2,46	2,76	3,04	3,66
40	1,30	1,68	2,02	2,42	2,70	2,97	3,55
60	1,30	1,67	2,00	2,39	2,66	2,91	3,46
120	1,29	1,66	1,98	2,36	2,62	2,86	3,37

Таблиця В.4

Коефіцієнти  $K_T$  для визначення границь грубих похибок

n	P			n	P		
	0,90	0,95	0,99		0,90	0,95	0,99
3	1,41	1,41	1,41	28	2,58	2,76	3,12
4	1,64	1,69	1,72	29	2,60	2,78	3,14
5	1,79	1,87	1,96	30	2,61	2,79	3,16
6	1,89	2,00	2,13	31	2,62	2,80	3,17
7	1,97	2,09	2,26	32	2,63	2,82	3,18
8	2,04	2,17	2,37	33	2,65	2,83	3,20
9	2,10	2,24	2,46	34	2,66	2,84	3,21
10	2,15	2,29	2,54	35	2,67	2,85	3,22
11	2,19	2,34	2,61	36	2,68	2,86	3,24
12	2,23	2,39	2,66	37	2,69	2,87	3,25
13	2,26	2,43	2,71	38	2,70	2,88	3,26
14	2,30	2,46	2,76	39	2,71	2,89	3,27
15	2,33	2,49	2,80	40	2,72	2,90	3,28
16	2,35	2,52	2,84	41	2,73	2,91	3,29
17	2,38	2,55	2,87	42	2,74	2,92	3,30
18	2,40	2,58	2,90	43	2,74	2,93	3,31
19	2,43	2,60	2,93	44	2,75	2,94	3,32
20	2,45	2,62	2,96	45	2,76	2,95	3,33
21	2,47	2,64	2,98	46	2,77	2,96	3,34
22	2,49	2,66	3,01	47	2,78	2,96	3,35
23	2,50	2,68	3,03	48	2,78	2,97	3,35
24	2,52	2,70	3,05	49	2,79	2,98	3,36
25	2,54	2,52	3,07	50	2,80	2,99	3,37
26	2,55	2,73	3,09	51	2,81	2,99	3,38
27	2,57	2,75	3,11	52	2,81	3,00	3,39

Таблиця В.5

Значення функції Лапласа  $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^x e^{-\frac{x^2}{2}} dx$ ,  $\Phi(-x) = -\Phi(x)$

$t$	$2\Phi(t)$	$\Phi(t)$	$t$	$2\Phi(t)$	$\Phi(t)$	$t$	$2\Phi(t)$	$\Phi(t)$	$t$	$2\Phi(t)$	$\Phi(t)$	$t$	$2\Phi(t)$	$\Phi(t)$
0	0,0000	0,000	0,42	0,3255	0,163	0,84	0,5991	0,300	1,26	0,7923	0,396	1,68	0,9070	0,454
0,01	0,0080	0,004	0,43	0,3328	0,166	0,85	0,6047	0,302	1,27	0,7959	0,398	1,69	0,9090	0,454
0,02	0,0160	0,008	0,44	0,3401	0,170	0,86	0,6102	0,305	1,28	0,7995	0,400	1,7	0,9109	0,455
0,03	0,0239	0,012	0,45	0,3473	0,174	0,87	0,6157	0,308	1,29	0,8029	0,401	1,71	0,9127	0,456
0,04	0,0319	0,016	0,46	0,3545	0,177	0,88	0,6211	0,311	1,3	0,8064	0,403	1,72	0,9146	0,457
0,05	0,0399	0,020	0,47	0,3616	0,181	0,89	0,6265	0,313	1,31	0,8098	0,405	1,73	0,9164	0,458
0,06	0,0478	0,024	0,48	0,3688	0,184	0,9	0,6319	0,316	1,32	0,8132	0,407	1,74	0,9181	0,459
0,07	0,0558	0,028	0,49	0,3759	0,188	0,91	0,6372	0,319	1,33	0,8165	0,408	1,75	0,9199	0,460
0,08	0,0638	0,032	0,5	0,3829	0,191	0,92	0,6424	0,321	1,34	0,8198	0,410	1,76	0,9216	0,461
0,09	0,0717	0,036	0,51	0,3899	0,195	0,93	0,6476	0,324	1,35	0,8230	0,411	1,77	0,9233	0,462
0,1	0,0797	0,040	0,52	0,3969	0,198	0,94	0,6528	0,326	1,36	0,8262	0,413	1,78	0,9249	0,462
0,11	0,0876	0,044	0,53	0,4039	0,202	0,95	0,6579	0,329	1,37	0,8293	0,415	1,79	0,9265	0,463
0,12	0,0955	0,048	0,54	0,4108	0,205	0,96	0,6629	0,331	1,38	0,8324	0,416	1,8	0,9281	0,464
0,13	0,1034	0,052	0,55	0,4177	0,209	0,97	0,6680	0,334	1,39	0,8355	0,418	1,81	0,9297	0,465
0,14	0,1113	0,056	0,56	0,4245	0,212	0,98	0,6729	0,336	1,4	0,8385	0,419	1,82	0,9312	0,466
0,15	0,1192	0,060	0,57	0,4313	0,216	0,99	0,6778	0,339	1,41	0,8415	0,421	1,83	0,9328	0,466

Продовження табл. В.5

$t$	$2\Phi(t)$	$\Phi(t)$	$t$	$2\Phi(t)$	$\Phi(t)$	$t$	$2\Phi(t)$	$\Phi(t)$	$t$	$2\Phi(t)$	$\Phi(t)$	$t$	$2\Phi(t)$	$\Phi(t)$
0,16	0,1271	0,064	0,58	0,4381	0,219	1	0,6827	0,341	1,42	0,8444	0,422	1,84	0,9342	0,467
0,17	0,1350	0,067	0,59	0,4448	0,222	1,01	0,6875	0,344	1,43	0,8473	0,424	1,85	0,9357	0,468
0,18	0,1428	0,071	0,6	0,4515	0,226	1,02	0,6923	0,346	1,44	0,8501	0,425	1,86	0,9371	0,469
0,19	0,1507	0,075	0,61	0,4581	0,229	1,03	0,6970	0,348	1,45	0,8529	0,426	1,87	0,9385	0,469
0,2	0,1585	0,079	0,62	0,4647	0,232	1,04	0,7017	0,351	1,46	0,8557	0,428	1,88	0,9399	0,470
0,21	0,1663	0,083	0,63	0,4713	0,236	1,05	0,7063	0,353	1,47	0,8584	0,429	1,89	0,9412	0,471
0,22	0,1741	0,087	0,64	0,4778	0,239	1,06	0,7109	0,355	1,48	0,8611	0,431	1,9	0,9426	0,471
0,23	0,1819	0,091	0,65	0,4843	0,242	1,07	0,7154	0,358	1,49	0,8638	0,432	1,91	0,9439	0,472
0,24	0,1897	0,095	0,66	0,4907	0,245	1,08	0,7199	0,360	1,5	0,8664	0,433	1,92	0,9451	0,473
0,25	0,1974	0,099	0,67	0,4971	0,249	1,09	0,7243	0,362	1,51	0,8690	0,434	1,93	0,9464	0,473
0,26	0,2051	0,103	0,68	0,5035	0,252	1,1	0,7287	0,364	1,52	0,8715	0,436	1,94	0,9476	0,474
0,27	0,2128	0,106	0,69	0,5098	0,255	1,11	0,7330	0,367	1,53	0,8740	0,437	1,95	0,9488	0,474
0,28	0,2205	0,110	0,7	0,5161	0,258	1,12	0,7373	0,369	1,54	0,8764	0,438	1,96	0,9500	0,475
0,29	0,2282	0,114	0,71	0,5223	0,261	1,13	0,7415	0,371	1,55	0,8789	0,439	1,97	0,9512	0,476
0,3	0,2358	0,118	0,72	0,5285	0,264	1,14	0,7457	0,373	1,56	0,8812	0,441	1,98	0,9523	0,476
0,31	0,2434	0,122	0,73	0,5346	0,267	1,15	0,7499	0,375	1,57	0,8836	0,442	1,99	0,9534	0,477
0,32	0,2510	0,126	0,74	0,5407	0,270	1,16	0,7540	0,377	1,58	0,8859	0,443	2	0,9545	0,477
0,33	0,2586	0,129	0,75	0,5467	0,273	1,17	0,7580	0,379	1,59	0,8882	0,444	2,02	0,9566	0,478



Продовження табл. В.5

$t$	$2\Phi(t)$	$\Phi(t)$	$t$	$2\Phi(t)$	$\Phi(t)$	$t$	$2\Phi(t)$	$\Phi(t)$	$t$	$2\Phi(t)$	$\Phi(t)$	$t$	$2\Phi(t)$	$\Phi(t)$
0,34	0,2661	0,133	0,76	0,5527	0,276	1,18	0,7620	0,381	1,6	0,8904	0,445	2,04	0,9586	0,479
0,35	0,2737	0,137	0,77	0,5587	0,279	1,19	0,7660	0,383	1,61	0,8926	0,446	2,06	0,9606	0,480
0,36	0,2812	0,141	0,78	0,5646	0,282	1,2	0,7699	0,385	1,62	0,8948	0,447	2,08	0,9625	0,481
0,37	0,2886	0,144	0,79	0,5705	0,285	1,21	0,7737	0,387	1,63	0,8969	0,448	2,1	0,9643	0,482
0,38	0,2961	0,148	0,8	0,5763	0,288	1,22	0,7775	0,389	1,64	0,8990	0,450	2,12	0,9660	0,483
0,39	0,3035	0,152	0,81	0,5821	0,291	1,23	0,7813	0,391	1,65	0,9011	0,451	2,14	0,9676	0,484
0,4	0,3108	0,155	0,82	0,5878	0,294	1,24	0,7850	0,393	1,66	0,9031	0,452	2,16	0,9692	0,485
0,41	0,3182	0,159	0,83	0,5935	0,297	1,25	0,7887	0,394	1,67	0,9051	0,453	2,18	0,9707	0,485
2,2	0,9722	0,486	2,54	0,9889	0,494	2,88	0,9960	0,498	3,55	0,9996	0,500	4,4	1,0000	0,500
2,22	0,9736	0,487	2,56	0,9895	0,495	2,9	0,9963	0,498	3,6	0,9997	0,500	4,45	1,0000	0,500
2,24	0,9749	0,487	2,58	0,9901	0,495	2,92	0,9965	0,498	3,65	0,9997	0,500	4,5	1,0000	0,500
2,26	0,9762	0,488	2,6	0,9907	0,495	2,94	0,9967	0,498	3,7	0,9998	0,500	4,55	1,0000	0,500
2,28	0,9774	0,489	2,62	0,9912	0,496	2,96	0,9969	0,498	3,75	0,9998	0,500	4,6	1,0000	0,500
2,3	0,9786	0,489	2,64	0,9917	0,496	2,98	0,9971	0,499	3,8	0,9999	0,500	4,65	1,0000	0,500
2,32	0,9797	0,490	2,66	0,9922	0,496	3	0,9973	0,499	3,85	0,9999	0,500	4,7	1,0000	0,500
2,34	0,9807	0,490	2,68	0,9926	0,496	3,05	0,9977	0,499	3,9	0,9999	0,500	4,75	1,0000	0,500
2,36	0,9817	0,491	2,7	0,9931	0,497	3,1	0,9981	0,499	3,95	0,9999	0,500	4,8	1,0000	0,500
2,38	0,9827	0,491	2,72	0,9935	0,497	3,15	0,9984	0,499	4	0,9999	0,500	4,85	1,0000	0,500

Закінчення табл. В.5

$t$	$2\Phi(t)$	$\Phi(t)$	$t$	$2\Phi(t)$	$\Phi(t)$	$t$	$2\Phi(t)$	$\Phi(t)$	$t$	$2\Phi(t)$	$\Phi(t)$	$t$	$2\Phi(t)$	$\Phi(t)$
2,4	0,9836	0,492	2,74	0,9939	0,497	3,2	0,9986	0,499	4,05	0,9999	0,500	4,9	1,0000	0,500
2,42	0,9845	0,492	2,76	0,9942	0,497	3,25	0,9988	0,499	4,1	1,0000	0,500	4,95	1,0000	0,500
2,44	0,9853	0,493	2,78	0,9946	0,497	3,3	0,9990	0,500	4,15	1,0000	0,500	5	1,0000	0,500
2,46	0,9861	0,493	2,8	0,9949	0,497	3,35	0,9992	0,500	4,2	1,0000	0,500			
2,48	0,9869	0,493	2,82	0,9952	0,498	3,4	0,9993	0,500	4,25	1,0000	0,500			
2,5	0,9876	0,494	2,84	0,9955	0,498	3,45	0,9994	0,500	4,3	1,0000	0,500			
2,52	0,9883	0,494	2,86	0,9958	0,498	3,5	0,9995	0,500	4,35	1,0000	0,500			

Таблиця В.6

Значення ймовірності  $P(t_c)$  для розподілу Ст'юдента

$t_c$	$n_1$														
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	$\infty$
0,0	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,50000
0,2	0,563	0,570	0,573	0,574	0,575	0,576	0,576	0,577	0,577	0,577	0,578	0,578	0,578	0,578	0,57926
0,4	0,621	0,636	0,642	0,645	0,647	0,648	0,650	0,650	0,651	0,652	0,652	0,653	0,653	0,653	0,65542
0,6	0,672	0,695	0,705	0,710	0,713	0,715	0,716	0,717	0,718	0,720	0,721	0,721	0,722	0,722	0,72575
0,8	0,715	0,746	0,759	0,766	0,770	0,773	0,775	0,777	0,778	0,780	0,781	0,782	0,783	0,783	0,78814
1,0	0,750	0,788	0,804	0,813	0,818	0,822	0,825	0,827	0,828	0,831	0,832	0,833	0,834	0,835	0,84134
1,2	0,779	0,824	0,842	0,852	0,858	0,862	0,865	0,868	0,870	0,872	0,874	0,876	0,877	0,878	0,88493
1,4	0,803	0,852	0,872	0,883	0,890	0,894	0,898	0,900	0,902	0,906	0,908	0,909	0,910	0,911	0,91924
1,6	0,822	0,875	0,896	0,908	0,915	0,920	0,923	0,926	0,928	0,931	0,933	0,935	0,936	0,937	0,94520
1,8	0,839	0,893	0,915	0,927	0,934	0,939	0,943	0,945	0,947	0,950	0,952	0,954	0,955	0,956	0,96407
2,0	0,852	0,908	0,930	0,942	0,949	0,954	0,957	0,960	0,962	0,965	0,967	0,968	0,969	0,970	0,97725
2,2	0,864	0,921	0,942	0,954	0,960	0,965	0,968	0,970	0,972	0,975	0,977	0,978	0,979	0,980	0,98610
2,4	0,874	0,931	0,952	0,963	0,969	0,973	0,976	0,978	0,980	0,982	0,984	0,985	0,986	0,987	0,99180
2,6	0,883	0,938	0,960	0,970	0,976	0,980	0,982	0,984	0,986	0,988	0,989	0,990	0,991	0,991	0,99534
2,8	0,891	0,946	0,966	0,976	0,981	0,984	0,987	0,988	0,990	0,991	0,992	0,993	0,994	0,994	0,99744
3,0	0,898	0,952	0,971	0,980	0,985	0,988	0,990	0,992	0,992	0,994	0,995	0,996	0,996	0,996	0,99865
3,2	0,904	0,957	0,975	0,984	0,988	0,991	0,992	0,994	0,995	0,996	0,996	0,997	0,997	0,998	0,99931
3,4	0,909	0,962	0,979	0,986	0,990	0,993	0,994	0,995	0,996	0,997	0,998	0,998	0,998	0,998	0,99966
3,6	0,914	0,965	0,982	0,989	0,992	0,994	0,996	0,996	0,997	0,998	0,998	0,999	0,999	0,999	0,99984
3,8	0,918	0,969	0,986	0,990	0,994	0,996	0,997	0,997	0,998	0,998	0,999	0,999	0,999	0,999	0,99993
4,0	0,922	0,971	0,986	0,992	0,995	0,996	0,997	0,998	0,998	0,999	0,999	0,999	1,000	1,000	0,99997
4,2	0,926	0,974	0,988	0,993	0,996	0,997	0,998	0,998	0,999	0,999	1,000	1,000	—	—	0,99999
4,4	0,929	0,976	0,989	0,994	0,996	0,998	0,998	0,999	0,999	1,000	—	—	—	—	0,99999
4,6	0,932	0,978	0,990	0,995	0,997	0,998	0,999	0,999	0,999	—	—	—	—	—	—
4,8	0,935	0,980	0,991	0,996	0,998	0,998	0,999	0,999	1,000	—	—	—	—	—	—
5,0	0,937	0,981	0,992	0,996	0,998	0,999	0,999	1,000	—	—	—	—	—	—	—

Таблица В.7

Таблица функций  $L(q; k)$ 

$k$	$q = \frac{\Delta}{\sigma}$																	
	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,50	3,00
6	0,264	0,388	0,501	0,599	0,681	0,791	0,849	0,886	0,913	0,933	0,948	0,959	0,978	0,987	0,992	0,995	0,998	0,999
8	0,305	0,444	0,567	0,669	0,748	0,845	0,895	0,926	0,948	0,963	0,974	0,981	0,991	0,996	0,998	0,999	1,000	1,000
10	0,340	0,491	0,620	0,722	0,797	0,882	0,925	0,961	0,968	0,979	0,986	0,991	0,997	0,999	0,999	1,000	—	—
12	0,371	0,532	0,664	0,764	0,833	0,900	0,946	0,968	0,980	0,988	0,993	0,996	0,999	1,000	1,000	—	—	—
14	0,399	0,567	0,701	0,798	0,862	0,929	0,960	0,978	0,988	0,993	0,996	0,998	0,999	—	—	—	—	—
16	0,425	0,599	0,733	0,826	0,885	0,944	0,971	0,985	0,992	0,996	0,998	0,999	1,000	—	—	—	—	—
18	0,448	0,627	0,760	0,849	0,903	0,955	0,980	0,990	0,996	0,998	0,999	0,999	—	—	—	—	—	—
20	0,470	0,652	0,784	0,868	0,918	0,964	0,984	0,993	0,997	0,999	0,999	1,000	—	—	—	—	—	—
25	0,518	0,706	0,832	0,905	0,944	0,979	0,992	0,997	0,999	1,000	1,000	—	—	—	—	—	—	—
30	0,559	0,749	0,867	0,930	0,962	0,988	0,996	0,999	1,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35	0,597	0,787	0,893	0,944	0,969	0,990	0,997	0,999	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
40	0,628	0,815	0,913	0,957	0,978	0,994	0,999	1,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
45	0,657	0,840	0,929	0,967	0,984	0,996	0,999	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
50	0,682	0,860	0,942	0,974	0,993	0,998	0,999	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
60	0,726	0,893	0,960	0,984	0,996	0,999	1,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
70	0,762	0,917	0,972	0,990	0,998	1,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
80	0,792	0,935	0,980	0,994	0,999	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
90	0,818	0,949	0,986	0,996	0,999	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100	0,840	0,959	0,990	0,997	1,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
150	0,914	0,986	0,998	1,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
200	0,951	0,995	1,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
250	0,972	0,998	1,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
500	0,998	1,000	1,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1000	1,000	1,000	1,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

