

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

В. Д. Сахацький
В. І. Молявко

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ
З ДИСЦИПЛІНИ
«ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ»

Харків
ХНАДУ
2017

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

В. Д. Сахацький
В. І. Молявко

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ
З ДИСЦИПЛІНИ
«ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ ТА ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ»

для студентів денної форми навчання зі спеціальності
"Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка"

Затверджено методичною
радою механічного факультету,
протокол № 1 від 8 .09. 2017

Харків
ХНАДУ
2017

УДК 621.317.08

*Обговорено та рекомендовано до затвердження на засіданні кафедри
МБЖД ХНАДУ*

Протокол № 1 від “ 27 ” 08. 2017 р.

(номер) (та дата протоколу)

Рецензенти:

О. М. Крюков, доктор технічних наук, професор
(Харківська академія національної гвардії України)

Р.Е. Пащенко, доктор технічних наук, професор
(Інститут радіофізики та електроніки НАНУ)

Сахацький В.Д., Молявко В.І. Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни «Основи метрології та виміральної техніки» - Харків: ХНАДУ, 2018. - 26 с.

В навчально-методичних вказівках викладено завдання до виконання курсової роботи та методичні рекомендації щодо їх виконання для студентів спеціальності "Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка"

Іл. 4. Бібліогр. найм. 14

УДК 621.317.08

©Харківський національний авто-
мобільно-дорожній університет,
2017

Харків
ХНАДУ
2017

ЗМІСТ

Вступ	5
1 Основи теорії вимірювань	7
1.1 Прямі вимірювання	7
1.2 Основні фізичні величини	8
1.3 Класифікація похибок та їх види	8
1.4 Визначення фізичної величини	9
1.5 Фактори, які впливають на виникнення похибки	10
1.6 Багаторазові вимірювання	10
1.7 Динамічні і статичні вимірювання	11
1.8 Завдання до виконання розділу «Основи теорії вимірювань»	11
2 Обробка результатів прямих вимірювань.....	12
2.1 Основні відомості про обробку результатів.....	12
2.2 Визначення емпіричних характеристик прямих вимірів.....	13
2.3 Визначення теоретичної функції щільності розподілу. Графічне зображення емпіричного і теоретичного розподілів.....	14
3 Визначення похибки за результатами непрямих вимірювань.....	17
Висновки	19
Перелік посилань	19
Додатки	20

ВСТУП

Метрологія (від грец. «Метро» - вимір, «логос» - вчення) - наука про вимірювання, методи та засоби забезпечення єдності і необхідної точності вимірювань. У сучасному суспільстві метрологія як наука і область практичної діяльності відіграють велику роль. Це пов'язано з тим, що практично немає жодної сфери людської діяльності, де б не використовувалися результати вимірювань. В нашій країні щодня виконується понад 20 мільярдів різних вимірів. Виміри є невід'ємною частиною більшості трудових процесів. Витрати на забезпечення і проведення вимірювань складають близько 20 % від загальних витрат на виробництво продукції.

Можливість застосування результатів вимірювань для правильного та ефективного вирішення будь якої вимірювальної задачі визначається наступними трьома умовами:

- 1) результати вимірювань виражаються в узаконених (встановлених законодавством України) одиницях;
- 2) значення показників точності результатів вимірювань відомі з необхідною заданою достовірністю;
- 3) значення показників точності забезпечують оптимальне відповідно до обраних критеріїв рішення задачі, для якої ці результати призначені (результати вимірювань отримані з необхідною точністю).

Якщо результати вимірювань задовольняють першим двом умовам, то про них відомо все, що необхідно знати для прийняття обґрунтованого рішення про можливість їх використання. Такі результати можна зіставляти, вони можуть використовуватися в різних поєднаннях, різними людьми, організаціями. У цьому випадку говорять, що забезпечено єдність вимірювань - стан вимірювань, за якого їх результати виражені в узаконених одиницях і похибки результатів не виходять за встановлені межі із заданою вірогідністю.

Третє з перерахованих вище умов визначає вимогу до точності застосовуваних методів і засобів вимірювань. Недостатня точність вимірювань призводить до збільшення помилок контролю, до економічних втрат. Завищена точність вимірювань вимагає витрат на придбання дорожчих засобів вимірювань. Тому ця вимога є не тільки метрологічною, а й економічною вимогою, тому що пов'язане з витратами і втратами при проведенні вимірювань (витрати і втрати - економічні критерії).

МЕТА КУРСОВОЇ РОБОТИ:

визначення закону розподілу та обробка результатів багаторазових вимірювань.

ЗМІСТ КУРСОВОЇ РОБОТИ:

курсний проект виконується студентом індивідуально, згідно з варіантом завдання. **Номер варіанту N співпадає з номером студента в списку навчальної групи.**

Пояснювальна записка курсової роботи містить такі елементи:

- титульний лист;
- завдання на курсову роботу;
- реферат;
- зміст;

- перелік умовних позначень (при необхідності);
- елементи основної частини;
- висновки;
- список літератури;
- додатки (при необхідності).

Нижче перераховані розділи методичних вказівок, як обов'язкові дії студента при виконанні курсової роботи.

В розділі 1 розглянуто основи теорії вимірювань; в розділі 2 наведено методичні вказівки до розрахункової частини роботи; ; в розділі 3 – список рекомендованої літератури; в додатках – вимоги до оформлення курсової роботи.

1 ОСНОВИ ТЕОРІЇ ВИМІРЮВАНЬ

1.1 Прямі вимірювання

Прямими вимірюваннями називають експериментальні порівняння вимірюваної величини з мірою цієї величини або з відліком показання вимірювального приладу, що безпосередньо дає значення вимірюваної величини. Вимірювання розмірів виробу рулеткою з поділками, температури середовища в парильній камері, об'єму сипучих матеріалів (цементу, піску) мірником - все це приклади прямих вимірювань. Прямі вимірювання лежать в основі більш складних методів вимірювань, таких як посередні, сумісні та сукупні.

Розглянемо методи прямих вимірювань, що використовують у технічних вимірюваннях.

Метод безпосередньої оцінки дає можливість одержати значення величини безпосередньо, без будь-яких додаткових дій і обчислень. Винятком може бути тільки множення показників на постійну величину приладу, мірило або на ціну поділки. Найчастіше вимірювання цим методом здійснюється на показуючих приладах, таких як амперметри, вольтметри, ватметри, тягоміри, динамометри, манометри, термометри тощо. Зважування на циферблатних терезах, вимірювання довжини рулеткою, кутів теодолітами - це теж вимірювання методом безпосередньої оцінки.

Метод порівняння з мірою полягає в тому, що вимірювану величину порівнюють безпосередньо з мірою даної величини, наприклад, вимірювання маси на важільних терезах зрівноважуванням гирями.

Метод протиставлення - вимірювана величина і величина, що відтворюється мірою, одночасно впливають на прилад порівняння, за допомогою якого встановлюється співвідношення між цими величинами, наприклад, вимірювання маси на рівноплечих терезах, коли вимірювану масу і зрівноважуючу її гирю розміщують на двох чашах терезів.

Диференціальний (різницевий) метод полягає в вимірюванні різниці між вимірюваною величиною і величиною, значення якої відоме. Використання цього методу дає можливість одержувати результати з високою точністю, навіть при застосуванні засобів вимірювальної техніки низької точності. У практиці вимірювань диференціальний метод має поширене розповсюдження. Цей метод використовують також для компарування стрічок землеірих.

Нульовий метод полягає в порівнянні вимірюваної величини з величиною, значення якої заздалегідь відоме, при цьому обидві величини підбирають рівними за розмірами, щоб різниця між ними дорівнювала нулю. Цей метод застосовують для визначення маси на будь-яких важільних терезах, коли маса гир підбирається рівною вимірюваній масі, або зважувана маса підбирається рівною масі гир.

Метод заміщення полягає в заміні вимірюваної величини відомою величиною, що відтворюється мірою, наприклад, зважування, при якому на одну і ту саму чашу терезів кладуть по черзі вимірювану масу і гирі.

Метод збіжності полягає в вимірюванні по відміткам або сигналам, які збігаються. При цьому значення вимірюваної величини визначають за збіжністю поділок на шкалах або періодичністю сигналів. Наприклад, вимірювання довжини за допомогою штангенциркуля з ноніусом проводять методом збіжності: спостерігають збіжність штрихів на шкалах штанги штангенциркуля і рамки ноніуса.

1.2 Основні фізичні величини

Основна фізична величина - фізична величина, що прийнята за незалежну від інших величин певної системи фізичних величин.

Законодавчо, основна фізична величина визначається як, «фізична величина, що входить у систему величин та визначається через основні величини цієї системи».

Усі фізичні величини вимірюються у визначених одиницях, і вони пов'язані між собою певними співвідношеннями. Якщо деякі з цих величин взяти за основні та встановити для них одиниці, то розмірність всіх інших величин будуть певним чином виражатися через одиниці основних величин. Сукупність певним чином встановлених одиниць, серед яких частина є основними, а решта — похідними, називається системою одиниць фізичних величин.

В SI визначено сім основних фізичних величин, розмірності яких вважаються незалежними одна від одної. Основні фізичні величини у SI:

1. довжина: символ l або L , розмірність $[L]$, назва «метр», позначення m або m ;
2. маса: символ m , розмірність $[M]$, назва «кілограм», позначення kg або kg ;
3. час: символ t або T , розмірність $[T]$, назва «секунда», позначення s або s ;
4. сила електричного струму: символ I , розмірність $[I]$, назва «ампер», позначення A ;
5. термодинамічна температура: символ T або θ , розмірність $[K]$, назва «кельвін», позначення K ;
6. сила світла: символ I_v , розмірність $[J]$, назва «кандела», позначення cd або cd ;
7. кількість речовини: символ N , розмірність $[N]$, назва «моль», позначення моль або mol .

1.3 Класифікація похибок та їх види

Похибка вимірювання – відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірювальної величини.

Під істинним значенням розуміють таке значення фізичної величини, яке б ідеальним чином відображало якісну і кількісну характеристику властивості об'єкта.

Класифікація похибок та їх види:

- 1) за способом оцінки:
 - а) абсолютна похибка;
 - б) відносна похибка;
- 2) залежно від причини виникнення:
 - а) методична похибка;
 - б) інструментальна похибка;
 - в) від зовнішніх умов;
 - г) суб'єктивні похибки;
- 3) від характеру прояву:
 - а) систематичні;
 - б) випадкові;
- 4) за характером залежності від вимірювальної величини:
 - а) адитивні;
 - б) мультиплікативні.

При будь-якому вимірюванні з різних причин неминучі відхилення результатів вимірювання від істинного значення вимірювальної величини.

1.4 Визначення фізичної величини

У Міжнародному словнику з метрології JCGM 200:2012 дано таке визначення: "властивість явища, тіла або речовини, що може бути виражено кількісно у вигляді числа із зазначенням відмітної ознаки як основи для порівняння". У примітці зазначено, що поняття "величина" в загальному сенсі може підрозділятися, наприклад, на поняття "фізична величина", "хімічна величина" і "біологічна величина" або основна величина і похідна величина.

У словнику-довіднику М.Юдіна та ін. (1989) це визначення звучало трохи інакше: "фізична величина - характеристика однієї з властивостей фізичного об'єкта (фізичної системи, явища або процесу), загальна в якісному відношенні багатьом фізичним об'єктам, але в кількісному відношенні індивідуальна для кожного об'єкта". У цьому визначенні фізична величина - не властивість, а характеристика однієї з властивостей. Однак істотної різниці між поняттями "властивість" і "характеристика" немає.

Візьмемо, наприклад, таку властивість, як довжина. Вона дійсно застосовується для характеристики абсолютно різних об'єктів. У механіці - це довжина шляху, в електриці - довжина провідника, в гідравліці - довжина труби, в теплопередачі - товщина стінки радіатора і т.д. Але чисельне значення довжини у кожного з перелічених об'єктів різне. Довжина автомобіля дорівнює кільком метрам, довжина рейкового шляху або дроти високовольтної лінії електропередач - багатьом кілометрам, а товщину стінки радіатора простіше оцінювати в міліметрах. Хоча природа довжини у всіх перерахованих прикладах одна і та ж.

1.5 Фактори, які впливають на виникнення похибки

Причинами виникнення похибок є: недосконалість методів вимірювань, технічних засобів, що застосовуються при вимірах, та органів чуття спостерігача. В окрему групу слід об'єднати причини, пов'язані з впливом умов проведення вимірювань. Останні проявляються двояко. З одного боку, всі фізичні величини, що грають якусь роль при проведенні вимірювань, в тій чи іншій мірі залежать один від одного. Тому зі зміною зовнішніх умов змінюються істинні значення вимірюваних величин. З іншого боку, умови проведення вимірювань впливають і на характеристики засобів вимірювань і фізіологічні властивості органів чуття спостерігача і через їх посередництво стають джерелом похибок вимірювання.

Описані причини виникнення похибок визначаються сукупністю великого числа факторів, під впливом яких складається сумарна похибка вимірювання. Їх можна об'єднати в дві основні групи.

1. Фактори, які проявляються дуже нерегулярно і так само несподівано зникають або проявляються з інтенсивністю, яку важко передбачити. До них належать, наприклад, перекося елементів приладів в їх напрямних, нерегулярні зміни моментів тертя в опорах, малі флуктуації впливають величин, зміни уваги операторів та ін;

Доля, або складова, сумарної похибки вимірювання, що визначається дією факторів цієї групи, називається випадковою похибкою вимірювання. Її основна особливість в тому, що вона випадково змінюється при повторних вимірах однієї і тієї ж величини.

При створенні вимірювальної апаратури та організації процесу вимірювання в цілому інтенсивність прояву більшості чинників цієї групи вдається звести до загального рівня, так що всі вони впливають більш-менш однаково на формування випадкової похибки. Однак деякі з них, наприклад раптове падіння напруги в мережі електроживлення, можуть проявитися несподівано сильно, в результаті чого похибка прийме розміри, явно виходять за межі, обумовлені ходом експерименту в цілому. Такі похибки у складі випадкової похибки називаються грубими. До них тісно примикають промахи - похибки, які залежать від спостерігача і пов'язані з неправильним поводженням із засобами вимірювань, невірним відліком показань або помилками при записі результатів.

Фактори, постійні чи закономірно змінюються в процесі вимірювального експерименту, наприклад плавні зміни впливають величин або похибки застосовуваних при вимірах зразкових мір. Складові сумарної похибки, що визначаються дією факторів цієї групи, називаються систематическіми похибками вимірювання. Їх відмінна особливість в тому, що вони залишаються постійними або закономірно змінюються при повторних вимірах однієї і тієї ж величини. До тих пір, поки систематичні похибки більше випадкових, їх найчастіше можна обчислити або виключити з результатів вимірювань належної постановкою досвіду.

1.6 Багаторазові вимірювання

Головна особливість багаторазових вимірювань, на відміну від одноразових, полягає в одержанні і використанні великого обсягу апостеріорної вимірювальної

інформації. Це не означає, що необхідність в аналізі апріорної інформації відповідає. Такий аналіз обов'язково передує багаторазовому вимірюванню і має ту саму мету, що й при одноразових вимірюваннях, але з тією відмінністю, що при багаторазових вимірюваннях розподіл ймовірностей їх результатів устанавлюється експериментально.

Визначення результату і похибки вимірювань з багаторазовими спостереженнями ґрунтується на статистичних оцінках або навпаки - статистичні оцінки одержують на підставі багаторазових рівноточних вимірювань. Багаторазове вимірювання однієї і тієї ж величини постійного розміру проводиться при підвищених вимогах до точності вимірювань. Такі вимірювання характерні для професійної метрологічної діяльності і виконуються в основному співробітниками державної і відомчих метрологічних служб, а також при тонких наукових експериментах. Це складні, трудомісткі і дорогі вимірювання, доцільність яких завжди має бути переконливо обґрунтована. Повною мірою це відноситься і до вимірювальної інформації.

1.7 Динамічні і статичні вимірювання

За характером залежності вимірюваної величини від часу вимірювання виділяють статичні і динамічні вимірювання.

Статичні - це вимірювання, при яких вимірювана величина залишається постійною в часі. Такими вимірами є, наприклад, вимірювання розмірів виробу, величини постійного тиску, температури та ін.

Динамічні - це вимірювання, в процесі яких вимірювана величина змінюється в часі, наприклад, вимірювання тиску і температури при стисненні газу в циліндрі двигуна.

При статичних вимірах є можливість скористатися градуванням шкали відлікового пристрою по відомих входним впливів. Зв'язок між входним впливом і відгуком на нього встановлюється функцією перетворення засобів вимірювань. При динамічних вимірах істотну роль грають інерційні властивості засобів вимірювань. Вони враховуються його динамічними характеристиками, які можуть бути повними і приватними.

Повні динамічні характеристики вичерпним чином описують інерційні властивості засобів вимірювань. До них відносяться: рівняння динаміки, передавальна функція, комплексний коефіцієнт перетворення (сукупність амплітудно-частотної і фазо-частотної характеристик), перехідна характеристика, імпульсна характеристика.

1.8 Завдання до виконання розділу «Основи теорії вимірювань»

Надати відповідь на два наведених нижче питання. При цьому перше питання це те, яке відповідає номеру варіанту N. Друге питання це те, яке слідує за першим питанням під номером N.

1. Роль метрології в загальнонаукових методах пізнання
2. Якісні та кількісні характеристики вимірюваних величин
3. Розмір величини і значення величини
4. Назви, одиниці величин та їх розміри

5. Єдність вимірювань та їх метрологічне забезпечення
6. Метрологічна служба України
7. Еталони одиниць фізичних величин
8. Ієрархічні схеми передачі розмірів одиниць фізичних величин. Класифікація методів вимірювання
9. Види вимірювань
10. Точність вимірювання
11. Види і класифікація похибок вимірювань
12. Промахи, правильність, відтворюваність і збіжність результатів вимірювань
13. Систематичні похибки
14. Прогресуючі похибки
15. Регулярні похибки
16. Основні положення теорії імовірності
17. Густина та функція розподілу випадкової похибки
18. Типові моделі густини розподілу випадкової похибки
19. Математичне сподівання
20. Дисперсія та стандартне відхилення випадкової похибки
21. Довірчі границі похибки
22. Сумісна густина розподілу декількох похибок
23. Числові характеристики алгебраїчної суми незалежних випадкових похибок
24. Статистичний (імовірнісний) зв'язок між похибками. Кореляція. Коваріація
25. Адитивна похибка
26. Мультиплікативна похибка
27. Нелінійна похибка
28. Відкидання спотворених грубими похибками результатів спостережень
29. Умови нехтування малою похибкою
30. Умови нехтування систематичною похибкою
31. Умови нехтування випадковими похибками
32. Заокруглення похибок
33. Заокруглення і подання результату вимірювання
34. Перевірка гіпотези про заданий розподіл випадкових похибок. Гістограма, полігон.
35. Коефіцієнти асиметрії та ексцесу

2 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ПРЯМИХ ВИМІРЮВАНЬ

2.1 Основні відомості про обробку результатів

Обробка результатів вимірювань широко застосовується при дослідженнях і у виробничій практиці, наприклад, для аналізу технологічних процесів, встановлення технологічних допусків, для визначення статистичних характеристик установчих і вибірковок партій деталей, тобто при статистичному контролі і регулюванні якості продукції тощо.

При виготовленні партії деталей неминує відбуватися розсіювання їхніх розмірів, що виявляється при їх вимірюваннях. Воно може бути викликано недосконалістю устаткування, пристосувань і вимірювальних інструментів. Коливаннями режимів обробки, помилками оператора тощо. Тому результат

виміру конкретної деталі є випадковою величиною. Випадковою величиною є і похибка розміру деталі, тобто різниця між заданим розміром і результатом виміру.

Внаслідок викладеного, для обробки результатів вимірювання використовують методи теорії ймовірності і математичної статистики.

Через обмеженість числа результатів вимірювань при обробці замість математичного очікування і дисперсії одержують наближені до них відповідно емпіричне середнє значення \bar{x} і емпіричну дисперсію σ^2 , які характеризують середній результат вимірювань і степінь розкиду результатів.

2.2 Визначення емпіричних характеристик прямих вимірів

Завдання №1. При вимірюванні величин радіальних биттів зовнішньої поверхні втулок отримано ряд результатів вимірювань: від 0,01 до 0,25 мм.

Визначити емпіричні характеристики вимірів $\bar{x}, \sigma, \sigma^2$, побудувати гістограму та полігон. Частоту попадання результату вимірювання m_i для кожного інтервалу наведено в табл. 1, де N- це номер варіанту завдання.

Методичні вказівки до виконання завдання.

1. Визначення емпіричних характеристик вимірів $\bar{x}, \sigma, \sigma^2$.

Величину зони розсіювання $x_{max} - x_{min} = 0,25 - 0,01 = 0,24$ мм краще всього розбити на 12 інтервалів по $h = 0,02$ мм.

Далі визначаємо границі інтервалів, середину кожного інтервалу та заносимо у таблицю 1.

Також визначаємо $m_i * x_i$ для кожного інтервалу, а потім $\sum m_i * x_i$.

Аналогічні розрахунки робимо для останнього стовпчика таблиці 2.1.

Для того, щоб розрахувати емпіричні характеристики вимірів $\bar{x}, \sigma, \sigma^2$ потрібно скористатися наступними формулами:

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

$$\sigma^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n m_i * x_i^2}{\sum_{i=1}^n m_i} \right) - \bar{x}^2 \quad (2);$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad (3).$$

Підставляючи данні у формулу (1) обчислюємо \bar{x} .

Аналогічні розрахунки робимо по формулам (2), (3) і обчислюємо σ, σ^2 .

Таблиця 2.1- Вхідні дані та результати проміжувочних обчислень

Номер інтервалу	Границі інтервалів, мм		Середина інтервалу x_i	Частота m_i	$m_i * x_i$	$m_i * x_i^2$
	Понад	До (включно)				
1	0,00	0,02	0,01	3		
2	0,02	0,04	0,03	7		
3	0,04	0,06	0,05	10		
4	0,06	0,08	0,07	34		
5	0,08	0,10	0,09	46+N		
6	0,10	0,12	0,11	53+N		
7	0,12	0,14	0,13	49		
8	0,14	0,16	0,15	35		
9	0,16	0,18	0,17	24		
10	0,18	0,20	0,19	N		
11	0,20	0,22	0,21	4		
12	0,22	0,24	0,23	1		
Сума				Кількість вимірів $n =$		

2.3 Визначення теоретичної функції щільності розподілу. Графічне зображення емпіричного і теоретичного розподілів

Вид функції теоретичного розподілу вибирають, виходячи з передумов про фізичну природу появи розкиду результатів вимірювань і аналізу цих результатів. При цьому слід враховувати як загальні розуміння про закон розподілу, так і вид графічних зображень емпіричного розподілу - гістограми. Знаючи форму кривої щільності теоретичного розподілу і порівнюючи її з гістограмою, виносять попереднє судження про можливість використання конкретного виду функції теоретичного розподілу.

Для графічного зображення емпіричного і теоретичного розподілів необхідно зробити розрахунки і записати їх у таблицю 2.1.

Таблиця 2-Результати обчислень

Номер інтервалу	Середина інтервалу x_i , мм	Частота m_i	Емпіричні частоти P_i'	$x_i - \bar{x}$	z_i	$\varphi(z)$	P_i
1	0,01						
2	0,03						
3	0,05						
4	0,07						
5	0,09						
6	0,11						
7	0,13						
8	0,15						
9	0,17						
10	0,19						
11	0,21						
12	0,23						

Для початку треба визначити емпіричну частоту P_i' . Скористуємось формулою

$$P_i' = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

Конкретні значення ймовірності попадання результату виміру в конкретний інтервал слід визначити, використовуючи табульовані значення функції

$$\varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{z^2}{2}}$$

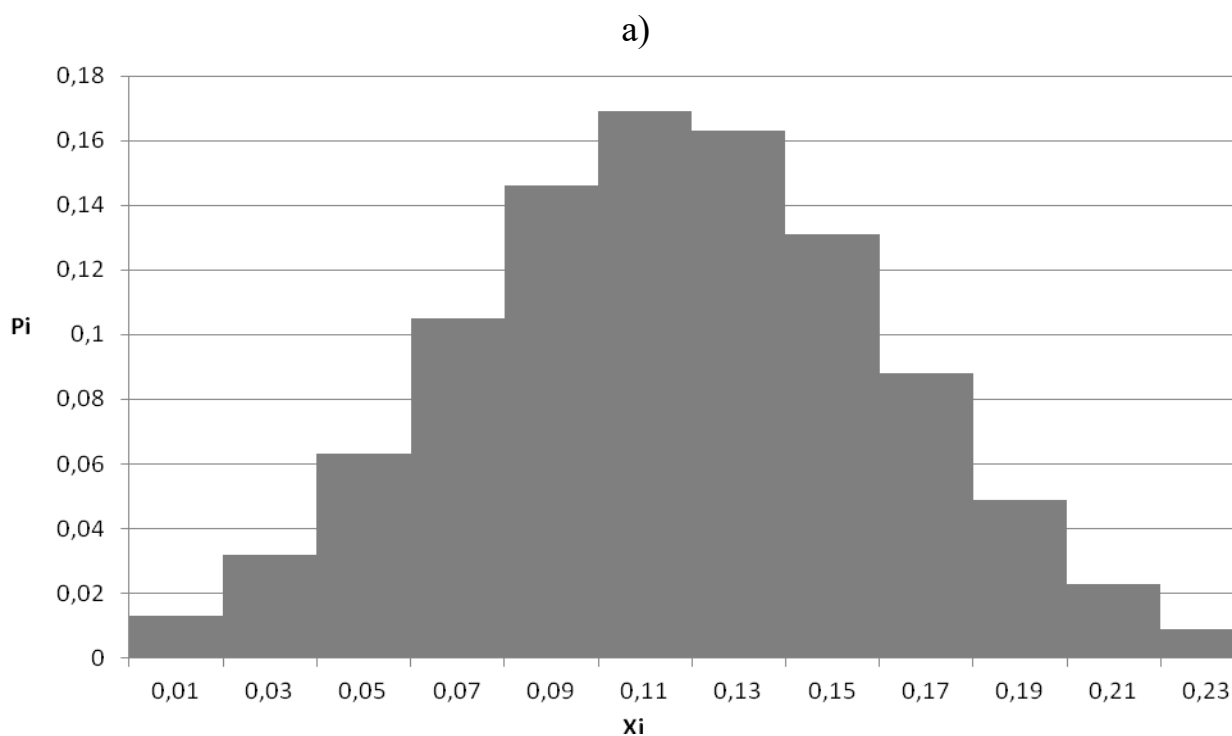
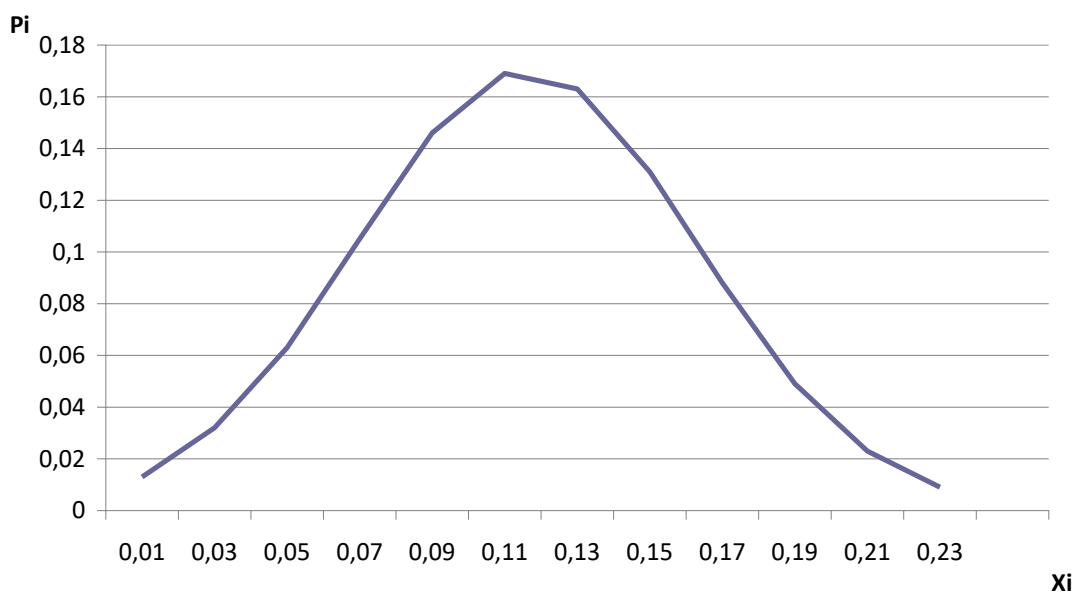
При цьому

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}_i}{\sigma}$$

а ймовірність попадання результату вимірювання в i -ий інтервал величиною h дорівнює

$$P_i = h \cdot \varphi(z_i)$$

По результатам даних таблиці 2.1 будемо розподіл функцій P_i' та P_i . Ці функції будуть мати приблизно такий вигляд, як показано на рисунку 2.1 а, б.



б)

Рисунок 2.1.- Графічне зображення: а) Функція розподілу P_i' ; б) гістограма розподілу .

Проводимо прямі лінії через середні точки вершин прямокутників і отримуємо полігон.

Завдання № 2. Визначити мінімальну кількість вимірів щоб забезпечити знайдену вище похибку СКВ σ при довірчій ймовірності $P_{\text{дов}} = 0,98$, тобто рівні значущості $\alpha = 0,02$.

Методичні вказівки до виконання завдання.

1. Спочатку треба визначити відносну похибку СКВ ε :

$$\varepsilon = \sigma / \bar{x}.$$

2. Мінімальна кількість вимірювань n визначається з рівняння:

$$n - 1 = 4\varepsilon^2 / [1/\chi_{k, 1-0,5\alpha} - 1/\chi_{k, 0,5\alpha}]^2,$$

де $k = n - 1$,

χ - визначається з таблиць Пирсона (таблиця 14.2 [1]).

Оскільки ліва та права часті рівняння залежать від n , то поступово збільшую n знаходимо таке його значення, при якому різниця між обидвими частями рівняння буде мінімальна.

3. ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ НЕПРЯМИХ ВИМІРЮВАНЬ

Завдання № 3. Визначити, як буде змінюватися абсолютна та середньоквадратична похибки виміру об'єму паралелограма, при таких змінах його висоти: $h_i = (10; 9; 8; 7; 6; 5; 4; 3; 2; 1)$ м.

При цьому об'єм паралелепіпеду $V = \text{const}$ і дорівнює 10 Н м^3 , сторона $a = 1 \text{ м}$, а сторона b визначається з виразу:

$$b_i = \frac{V}{a \cdot h_i}$$

Абсолютні похибки визначення сторін прямокутника $\Delta h = \Delta a = \Delta b = 0,1 \text{ мм}$.

Методичні вказівки до виконання завдання.

Для визначення похибки використовують формули:

$$\Delta V = \frac{\partial V}{\partial a} \Delta a + \frac{\partial V}{\partial b} \Delta b + \frac{\partial V}{\partial h} \Delta h$$

$$\Delta V_i = b_i h_i \Delta a + a h_i \Delta b + a b_i \Delta h$$

Визначити середньоквадратичну похибку можна за допомогою формули:

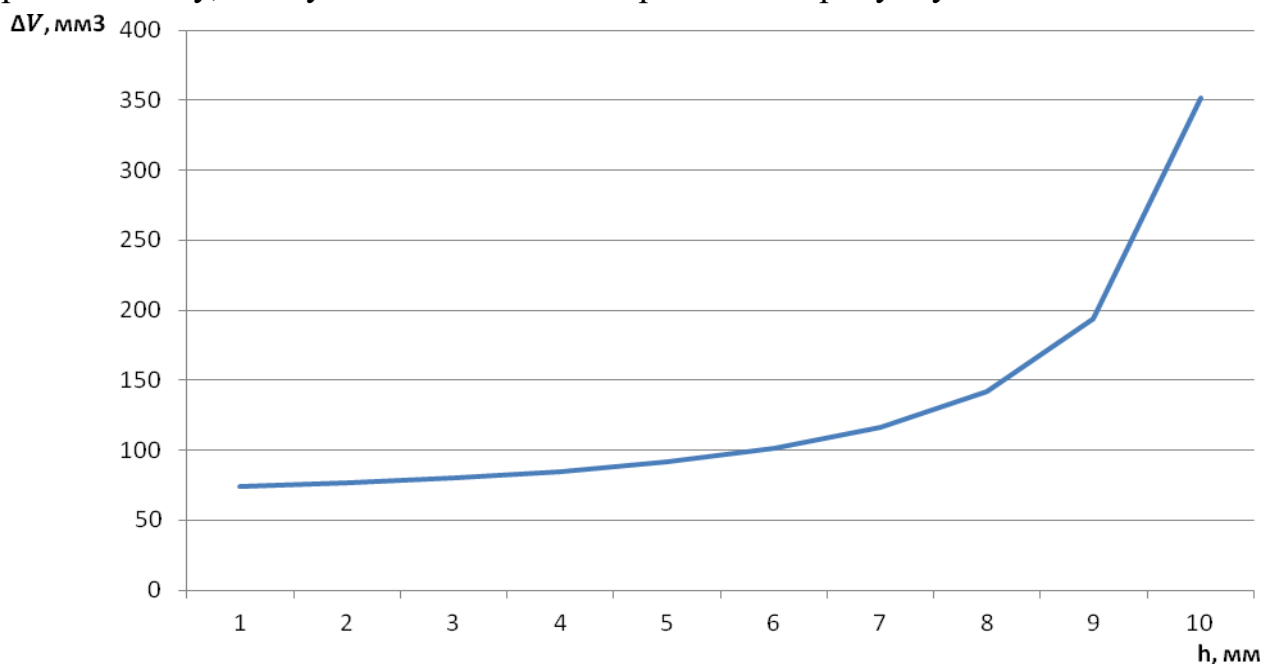
$$\Delta V_i = \sqrt{b_i h_i \Delta a + a h_i \Delta b + a b_i \Delta h}$$

Підставляючи значення по варіанту, отримуємо результати, які представлені у таблиці 3.

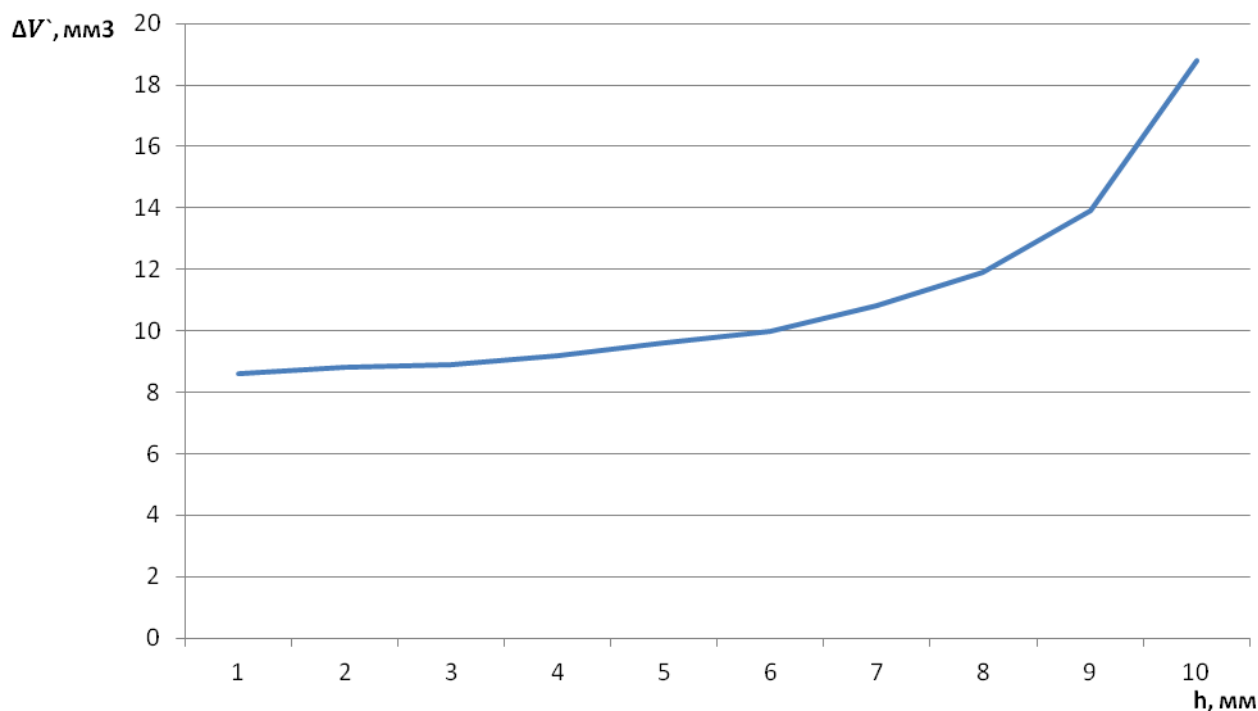
Таблиця 3 – Результати розрахунків

№	Сторони паралелепіпеду, b_i	Значення похибки, ΔV_i	Середньоквадратична похибка, $\Delta V'_i$
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

За результатами розрахунків побудувати залежність ΔV_i та $\Delta V'_i$ від висоти паралелепіпеду, очікуваний вид яких зображено на рисунку 3.1.



a)



б)

Рисунок 3.1 – Зміна загальної похибки непрямих вимірів в залежності від h: а) максимально можлива похибка; б) середньоквадратична похибка

ВИСНОВКИ

У висновках кратко викладаються основні результати роботи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дорожавец М. Основы метрологии та вимірювальної техніки Т.1 / М. Дорожавец , В. Мотало, Б. Стадник та інші. – М. : Індік, 2005.-532с.
2. Пронкин, Н.С. Основы метрологии [Текст] / Н.С. Пронкин.– М. : Логос, 2007. – 392 с.
3. Первышина, Н.Г. Основы метрологии [Текст] / Н.Г. Первышина. – К. : ЦНЛ, 2006. – 104 с.
4. Гончаров А.А. Метрология, стандартизация, сертификация/ Гончаров А.А. – М. : Наука, 2001.
5. Аксенова Е.Н. Элементарные способы оценки погрешностей результатов прямых и косвенных измерений/ Аксенова Е.Н. – М. : Политиздат, 2008.
6. Гвоздев В.Д. Прикладная метрология: Величины и измерения/ Гвоздев В.Д. – М. : МИИТ, 2011.
7. Герасимова А.Б. Метрология, стандартизация и сертификация/ Герасимова А.Б. – М. : Педагогика, 2010.
8. Мишина В.М. Основы стандартизации, метрологии и сертификации: учебник/ Мишина В.М. – М. : Юнити - Дана, 2012.

9. Сергеев А.Г. Метрология: история, современность, перспективы: учебное пособие/ Сергеев А.Г. – М. : Логос, 2009.
10. Тарасова, В.В. Метрологія, стандартизація і сертифікація [Текст] / В.В Тарасова. – К. : ЦНЛ, 2006. – 264 с.
11. Радкевич, Я.М. Метрология, стандартизация и взаимозаменяемость [Текст]: учеб. / Я.М Радкевич, Б.И. Лактионов. – М. : МГУ, 2000. – 240 с.
12. Маркин, Н. С . Метрология. Введение в специальность [Текст] : учеб. / Н.С. Маркин, В.С. Ершов. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 208 с.
13. Васильев, А.С. Основы метрологии [Текст] / А.С Васильев. – М. : Машиностроение, 1980. – 192 с.
14. Сергеев, А. Г. Метрология [Текст] / А.Г. Сергеев. – М. : Логос, 2005. – 275с.

ДОДАТКИ:

- ДОДАТОК А- Титульний лист
- ДОДАТОК Б- Завдання на курсовий проект
- ДОДАТОК В- Приклад оформлення реферату
- ДОДАТОК Г- Приклад оформлення змісту курсового проекту
- ДОДАТОК Д – Допоміжні таблиці функцій і коефіцієнтів
- ДОДАТОК Е – Приклад оформлення рамки
- ДОДАТОК Ж – Приклад оформлення штампу

ХАРКІВСЬКІЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО – ДОРОЖНІЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності

КУРСОВА РОБОТА

з дисципліни: «Основи метрології та вимірювальної техніки»

на тему: «Обробка результатів прямих і непрямих вимірювань»

Студента 3 курсу групи ММ–31
Напряму підготовки 6.051001 «Метрологія
та інформаційно вимірювальні технології»
спеціальності «Метрологія та
вимірювальна техніка»

(ПІБ)

Керівник _____

(ПІБ)

Національна шкала _____

Кількість балів _____

Оцінка ECTS _____

Члени комісії

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

м. Харків – 201 рік

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Кафедра “Метрології та безпеки життєдіяльності”

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Напрямок підготовки 6.051001 “Метрологія та інформаційно-вимірвальні технології”

Спеціальність “Метрологія та вимірвальна техніка”

ЗАВДАННЯ

На КУРСОВИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту: Обробка результатів прямих і непрямих вимірювань
2. Строк здачі студентом закінченого проекту (роботи) « 20 » травня 201 р.
3. Вхідні дані до проекту (роботи):
 1. Частота попадання результату вимірювання m_i для кожного інтервалу вимірювань відповідає номеру варіанту завдання N.
 2. Об'єм паралелепіпеду $V = \text{const}$ і дорівнює 10 N м^3
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити):
 - 4.1 Вступ
 - 4.2 Основи теорії вимірювань (згідно варіанту N)
 - 4.3 Обробка результатів прямих вимірювань (згідно варіанту N)
 - 4.4 Визначення похибки за результатами непрямих вимірювань (згідно варіанту N)
 - 4.5 Висновок
 - 4.6 Перелік посилань
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
 - 1) графік закону розподілу випадкової величини;
 - 2) гістограма.
 - 3) графік зміни загальної похибки непрямих вимірів в залежності від висоти паралелепіпіда.
6. Дата видачі завдання « » 201 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів курсового проекту (роботи)	Строки виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Основи теорії вимірювань		
2	Обробка результатів прямих вимірювань		
3	Визначення похибки за результатами непрямих вимірювань		
4	Оформлення курсового проекту		

Студент гр.

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

РЕФЕРАТ

Курсова робота: 28с., 3 рис., 3 табл., 7 джерел.

ПОХИБКА, ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ, ПРЯМІ ВИМІРЮВАННЯ,
НЕПРЯМІ ВИМІРЮВАННЯ, ЕМПІРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ,
ТЕОРИТИЧНИЙ РОЗПОДІЛ

Мета роботи – визначення емпіричних характеристик прямих вимірів, визначення теоретичної функції щільності розподілу і визначення похибок за результатами непрямих вимірів.

Об'єкт дослідження – процес визначення похибок прямих і непрямих вимірів.

Предмет дослідження – методи розрахунку похибок вимірювань.

Методи дослідження – методи теорії вимірювання у галузі машинобудування, математичного модулювання, обчислювального та інженерно-фізичного експерименту, прикладної метрології, теорії ймовірностей, математичної статистики

(Привести кратко основні результати роботи)

ЗМІСТ

Вступ	4
1 Основи теорії вимірювань	7
1.1	7
1.2	8
1.3	10
2 Обробка результатів прямих вимірювань.....	20
2.1 Основні відомості про обробку результатів.....	20
2.2 Визначення емпіричних характеристик прямих вимірів.....	29
2.3 Визначення теоретичної функції щільності розподілу. Графічне зображення емпіричного і теоретичного розподілів.....	42
3 Визначення похибки за результатами непрямих вимірювань.....	46
Висновки	58
Перелік посилань	60

Мера расхождения Пирсона

Значения χ^2 для уровня значимости α и количества степеней свободы k

k	α													
	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0,000	0,001	0,004	0,016	0,064	0,148	0,455	1,074	1,642	2,71	3,84	5,41	6,64	10,83
2	0,020	0,040	0,103	0,211	0,446	0,713	1,386	2,41	3,22	4,60	5,99	7,82	9,21	13,82
3	0,115	0,185	0,352	0,584	1,005	1,424	2,37	3,66	4,64	6,25	7,82	9,84	11,34	16,27
4	0,297	0,429	0,711	1,064	1,649	2,20	3,36	4,88	5,99	7,78	9,49	11,67	13,28	18,46
5	0,554	0,752	1,145	1,610	2,34	3,00	4,35	6,06	7,29	9,24	11,07	13,39	15,09	20,5
6	0,872	1,134	1,645	2,20	3,07	3,83	5,35	7,23	8,56	10,64	12,59	15,03	16,81	22,5
7	1,239	1,564	2,17	2,83	3,82	4,67	6,35	8,38	9,80	12,02	14,07	16,62	18,48	24,3
8	1,646	2,03	2,73	3,49	4,59	5,53	7,34	9,52	11,03	13,36	15,51	18,17	20,1	26,1
9	2,09	2,53	3,32	4,17	5,38	6,39	8,34	10,66	12,24	14,68	16,92	19,68	21,7	27,9
10	2,56	3,06	3,94	4,86	6,18	7,27	9,34	11,78	13,44	15,99	18,31	21,2	23,2	29,6
11	3,05	3,61	4,58	5,58	6,99	8,15	10,34	12,90	14,63	17,28	19,68	22,6	24,7	31,3
12	3,57	4,18	5,23	6,30	7,81	9,03	11,34	14,01	15,81	18,55	21,0	24,1	26,2	32,9
13	4,11	4,76	5,89	7,04	8,63	9,93	12,34	15,12	16,98	19,81	22,4	25,5	27,7	34,6
14	4,66	5,37	6,57	7,79	9,47	10,82	13,34	16,22	18,15	21,1	23,7	26,9	29,1	36,1
15	5,23	5,98	7,25	8,55	10,31	11,72	14,34	17,32	19,31	22,3	25,0	28,3	30,6	37,7
16	5,81	6,61	7,96	9,31	11,15	12,62	15,34	18,42	20,5	23,5	26,3	29,6	32,0	39,3
17	6,41	7,26	8,67	10,08	12,00	13,53	16,34	19,51	21,6	24,8	27,6	31,0	33,4	40,8
18	7,02	7,91	9,39	10,86	12,86	14,44	17,34	20,6	22,8	26,0	28,9	32,3	34,8	42,3
19	7,63	8,57	10,11	11,65	13,72	15,35	18,34	21,7	23,9	27,2	30,1	33,7	36,2	43,8
20	8,26	9,24	10,85	12,44	14,58	16,27	19,34	22,8	25,0	28,4	31,4	35,0	37,6	45,3

Коэффициенты Стьюдента $t(P_d, n)$

n	P			
	0,80	0,95	0,98	0,99
1	3,08	12,71	31,82	63,66
2	1,89	4,30	6,97	9,93
3	1,64	3,18	4,54	5,84
4	1,53	2,78	3,75	4,60
5	1,48	2,57	3,36	4,03
6	1,44	2,45	3,14	3,71
7	1,42	2,37	3,00	3,50
8	1,40	2,31	2,90	3,35
9	1,38	2,26	2,82	3,25
10	1,37	2,23	2,76	3,17
11	1,36	2,20	2,72	3,11
12	1,36	2,18	2,68	3,05
13	1,35	2,16	2,65	3,01
14	1,34	2,14	2,62	3,00
15	1,34	2,13	2,60	2,95
16	1,34	2,12	2,58	2,92
17	1,33	2,11	2,57	2,90
18	1,33	2,10	2,55	2,88
19	1,33	2,10	2,54	2,86
20	1,32	2,09	2,53	2,84
25	1,32	2,06	2,49	2,79
30	1,31	2,04	2,46	2,75
∞	1,28	1,96	2,33	2,58

Значения нормированной функции Лапласа

z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$
0,0	0,00000	0,9	0,31594	1,8	0,46407	2,7	0,49653	3,6	0,49984
0,1	0,03983	1,0	0,34134	1,9	0,47128	2,8	0,49744	3,7	0,49989
0,2	0,07926	1,1	0,36433	2,0	0,47725	2,9	0,49813	3,8	0,49993
0,3	0,11791	1,2	0,38493	2,1	0,48214	3,0	0,49865	3,9	0,49995
0,4	0,15542	1,3	0,40320	2,2	0,48610	3,1	0,49903	4,0	0,49997
0,5	0,19146	1,4	0,41924	2,3	0,48928	3,2	0,49931	4,5	0,49999
0,6	0,22575	1,5	0,43319	2,4	0,49180	3,3	0,49952		
0,7	0,25804	1,6	0,44520	2,5	0,49379	3,4	0,49966		
0,8	0,28814	1,7	0,45543	2,6	0,49534	3,5	0,49977		