

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

МЕТРОЛОГІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

Методичні вказівки
до курсового проектування
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
за спеціальностями 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка» та 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

Київ 2024

ББК 31.264

Е50

Укладачі: В.Ю. Луценко, канд. техн. наук, доцент;
М.В. Волчков, асистент

Рецензент Г.М. Голенков, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск А.В. Заприводе, канд. техн. наук,
доцент

*Затверджено на засіданні кафедри автоматизації
технологічних процесів, протокол № 6 від 13 грудня 2023 року.*

В авторській редакції.

Метрологія та технологічні вимірювання : методичні вказівки
Е45 до курсового проектування / уклад. : В.Ю. Луценко, М.В. Волчков. –
Київ : КНУБА, 2024. – 24 с.

Розглянута методологія та методика написання курсової роботи, яка є однією із форм індивідуального завдання та виконується студентом самостійно з консультуванням викладачем. Надано короткі теоретичні відомості та сформульовано завдання на курсову роботу за темою «Проектування інформаційно-вимірювальних систем».

Призначено для студентів спеціальностей 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» та 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузей знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації» та 14 «Електрична інженерія».

© КНУБА, 2024

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Ми живемо в світі предметів, процесів, явищ і постійно потребуємо кількісної та якісної інформації про них. Таку інформацію можна отримати шляхом вимірювання відповідних фізичних величин. Проведення необхідних вимірювань також лежить в основі підвищення ефективності виробництва, якості продукції, оптимізації виробничих процесів, оцінки якості продукції на всіх стадіях її виготовлення, перевірки наукових гіпотез тощо. Все це визначає особливе місце метрології як науки про вимірювання, серед інших дисциплін, що складають основу інженерної освіти.

Курс «Метрологія та технологічні вимірювання» базується на відповідних розділах математики і фізики. Результатом вивчення курсу «Метрологія та технологічні вимірювання» є поява у студента чітких уявлень про види, методи і засоби вимірювання, класифікацію, джерела і способи опису похибок, вмінь методично правильно планувати, організувати і проводити вимірювання та обробляти їх результати. Досягненню високих результатів у вивченні курсу «Метрологія та технологічні вимірювання» сприяє виконання курсового проекту, метою якого є поглиблення знань, вмінь та навичок, необхідних для створення сучасних інформаційно-вимірювальних систем та ефективного розв'язування питань метрологічного забезпечення технологічних процесів будівельної галузі.

1. Короткі теоретичні відомості

Вимірювальні системи (ВС) – це сукупність функціонально-об'єднаних між собою засобів вимірювання, засобів обчислювальної техніки та допоміжних пристроїв, що виконують функції вимірювання фізичних величин, властивих даному об'єкту, у формі, зручній для автоматичної обробки, передачі та (або) використання в автоматичних системах керування. Прикладами можуть служити системи, розгорнуті на великих підприємствах і призначені для контролю технологічного процесу виробництва якого-небудь виробу. Залежно від призначення ВС поділяють на вимірювальні, контролюючі, керуючі. За кількістю вимірювальних каналів системи поділяють на одно-, двох-, трьох- і багатоканальні. Важливим різновидом вимірювальних систем є інформаційно-вимірювальні системи.

Під інформаційно-вимірювальними системами (ІВС) розуміють системи, призначені для автоматичного отримання кількісної інформації безпосередньо від досліджуваного об'єкта шляхом процедур вимірювання та контролю, обробки інформації та видачі її у вигляді сукупності іменованих чисел, висловлювань, графіків тощо, які відображають стан цього об'єкта. ІВС повинні сприймати досліджувані величини безпосередньо від об'єкта, а на їх виході повинна з'являтися кількісна інформація про досліджуваний об'єкт.

Існує кілька різновидів ІВС:

– Інформаційно-вимірювальні системи призначені для отримання кількісної інформації щодо значення контрольованих фізичних величин шляхом їх прямих сукупних вимірювань з подальшою її обробкою, наданням оператору і передачею іншим споживачам.

– Інформаційно-вимірювальні системи автоматичного контролю відповідають за встановлення відповідності між станом об'єкта і заданою нормою і вироблення судження про даний і (або) майбутній стан об'єкта.

– Інформаційно-вимірювальні системи для технічної діагностики виконують функції контролю стану різних технічних пристроїв, виявлення їх відмов та визначення несправних елементів.

– Інформаційно-вимірювальні системи розпізнавання образів призначені для визначення відповідності між досліджуваним об'єктом і заданим образом, в якості якого може бути «людина», «символ», «нормальний стан об'єкта» і т. п.

– Телевимірювальні системи – інформація про значення вимірюваних величин передається від об'єкта контролю, розташованого на значній відстані.

1.1. Узагальнена структурна схема ІВС

Для опису ІВС, пояснення складу функціональних частин і елементів, їх призначення і взаємозв'язків в системі застосовуються структурні схеми. Опис ІВС і функціональних елементів, що входять до їх складу, може здійснюватися за допомогою функціональних схем. Узагальнена структурна схема ІВС наведена на рис. 1.1.

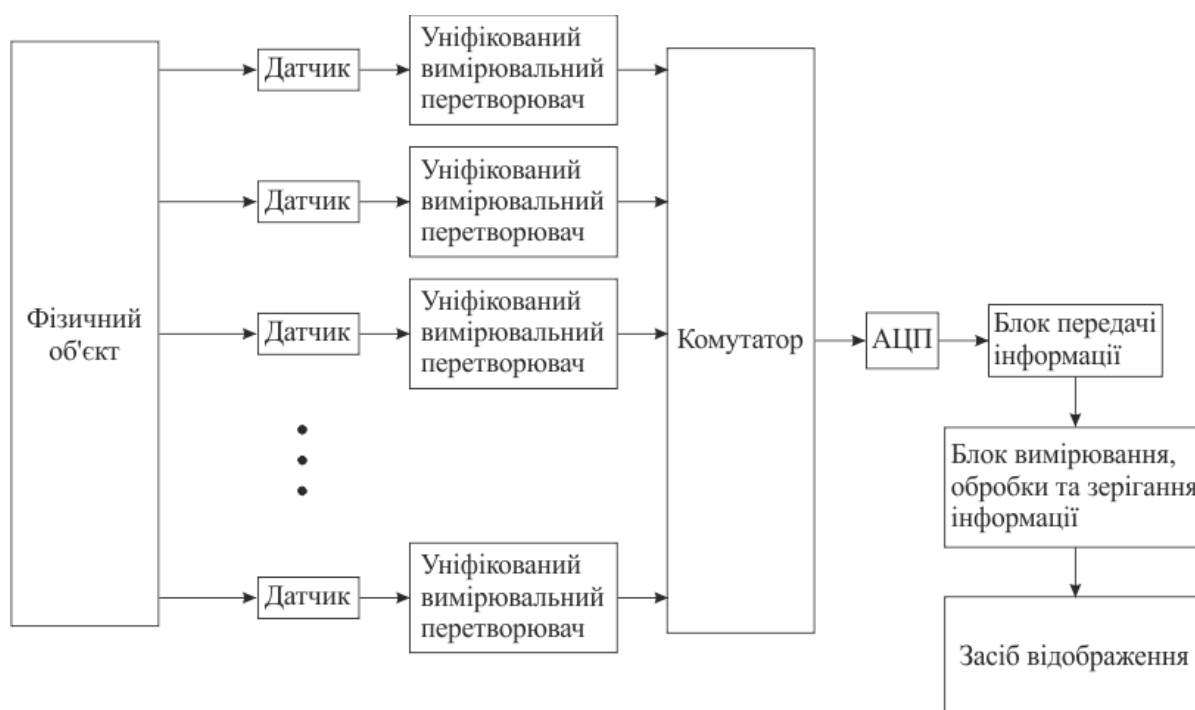


Рис. 1.1. Узагальнена структурна схема ІВС

Усі реальні ІВС можуть бути представлені у вигляді сукупності пов'язаних між собою функціональних блоків (ФБ). ФБ – це частини системи, що виконують інформаційні та керуючі функції і потребують організації спільної та узгодженої роботи. При цьому для організації взаємодії з іншими ФБ не потрібно знання їх внутрішніх структур та особливостей функціонування. Об'єднання ФБ в однорівневу структуру може бути виконано в наступних варіантах (рис. 1.2):

a – ланцюгова структура, в якій керування роботою подальшого ФБ проводиться після закінчення перетворення в попередньому ФБ. На рис. виділена ланцюгова схема управління, що включає інтерфейсні пристрої (ІФП);

б – радіальна структура, в якій керування роботою ФБ ведеться централізовано від одного пристрою управління;

в – магістральна структура з централізованим керуванням;

г – магістральна структура з децентралізованим керуванням;

т – магістральна петльова структура з централізованим керуванням;

д – радіально-магістральна структура з централізованим керуванням.

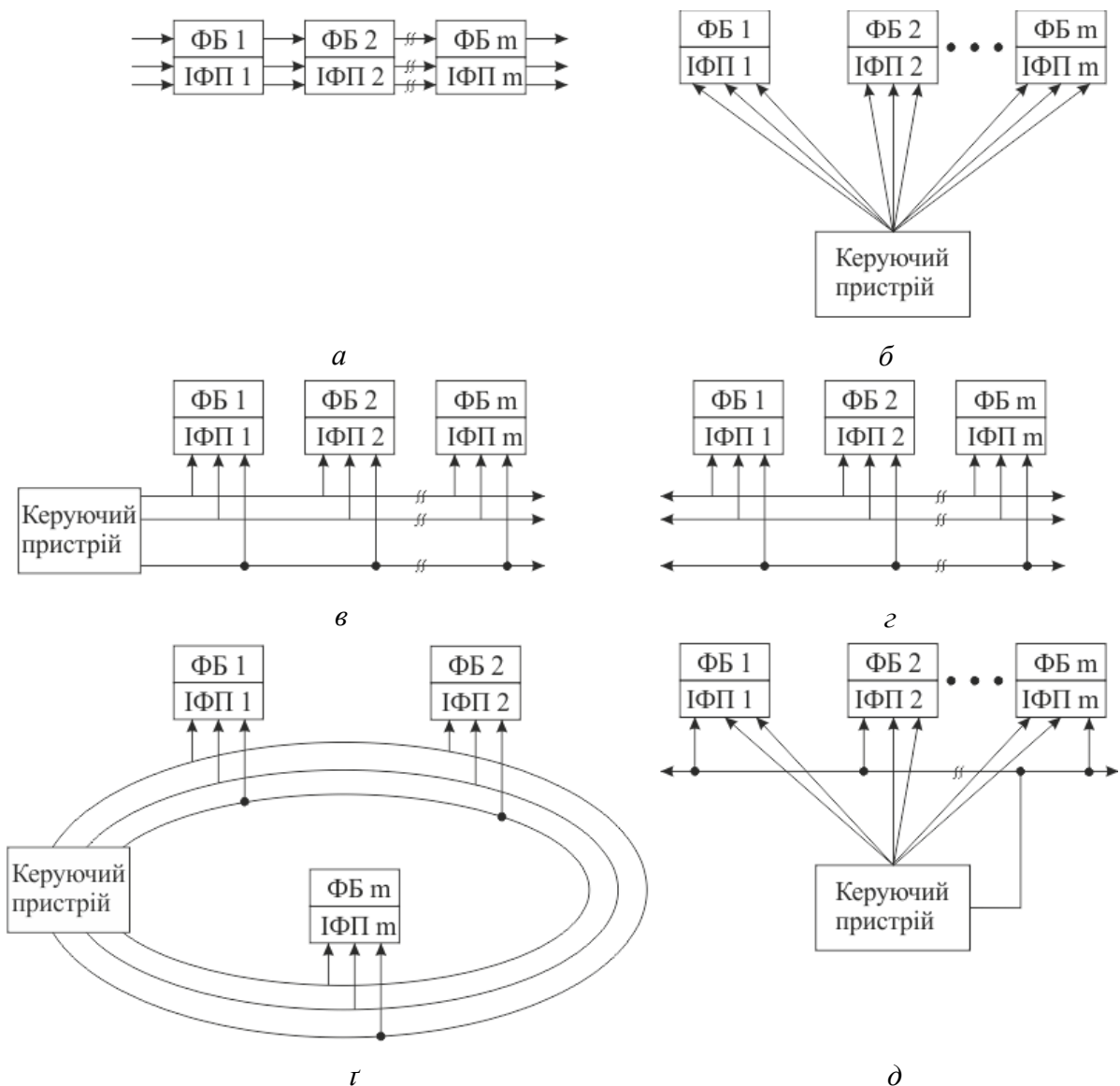


Рис. 1.2. Однорівневі архітектури ІВС

1.2. Основні структури аналого-цифрової частини

Аналого-цифрова частина (АЦЧ) ІВС складається з аналогових вимірювальних каналів і системних аналого-цифрових пристроїв. Аналогові вимірювальні канали призначені для сприйняття вхідних величин, їх перетворення на вимірювальні сигнали з допомогою вимірювальних ланцюгів. Системні аналого-цифрові пристрої служать для виконання певних аналого-цифрових перетворень в складі самих систем.

До основних елементів будь-яких АЦЧ відносяться датчики і аналогові вимірювальні кола (Д), пристрої, що формують значення зразкових мір (М), пристрої порівняння аналогових сигналів зразкових заходів (ПП).

У випадку, коли необхідно виміряти n величин, максимальна кількість датчиків дорівнює n , а мінімальна – одному. В останньому випадку датчик повинен послідовно сприймати всі, n величин. Аналогічно максимальна кількість пристроїв порівняння та зразкових мір дорівнює n , а мінімальна – 1. На рис. 1.3 наведено найбільш поширені структури АЦЧ, до яких належать структури АЦЧ паралельного типу (рис. 1.3, а), паралельного типу із загальним набором зразкових мір (рис. 1.3, б) і послідовного принципу дії (рис. 1.3, в, г).

Основні переваги багатоканальних структур паралельного типу (рис. 1.3, а) пов'язані з можливістю вимірювання різнорідних фізичних величин, використанням одноканальних вимірювальних пристроїв, досягненням максимальної швидкодії і високою схемною надійністю. Основний недолік паралельної архітектури пов'язаний з більшою порівняно з іншими структурами кількістю елементів, що її утворюють.

У структурі з загальною зразковою величиною (мірою) (рис. 1.3, б) проводиться колективне перетворення всіх n аналогових сигналів від вимірювальних ланцюгів за один цикл зміни зразкової величини. У таких структурах є можливість поділу загальної кількості датчиків на групи, кожна з яких охоплює свій діапазон зміни зразкової величини. На виході пристроїв порівняння в момент рівності вимірюваної величини і відомого поточного значення зразкової величини з'являються сигнали, що дозволяють одержувати результати перетворення. Пристрій формування зразкової величини може генерувати сигнал, що лінійно залежить від часу. У цьому випадку маємо час-імпульсне перетворення вимірюваних величин, що суттєво спрощує отримання цифрового результату вимірювання.

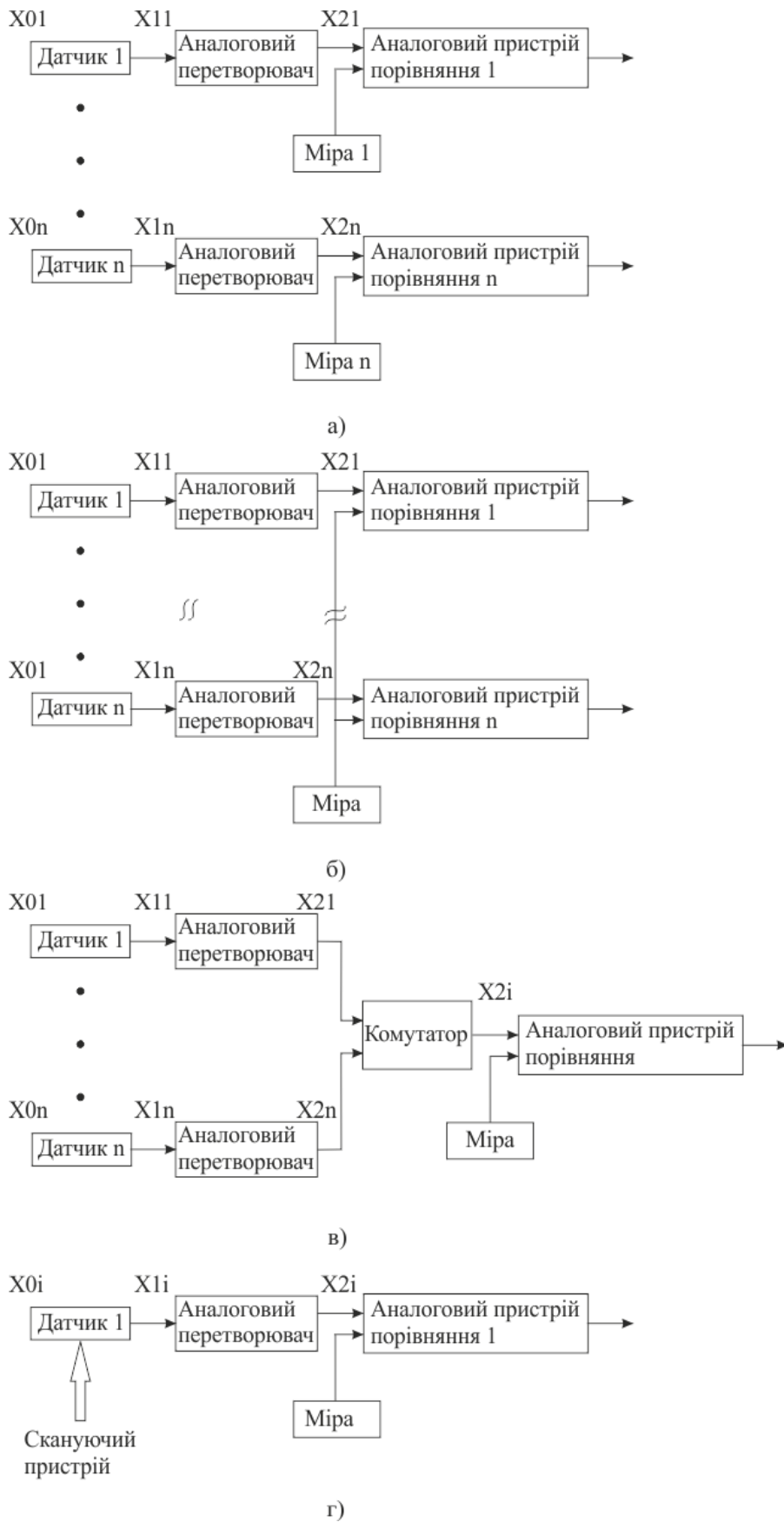


Рис. 1.3. Основні структури аналого-цифрової частини ІВС

У структурах послідовної дії (рисунок 1.3, в, г) операції отримання інформації виконуються послідовно у часі за допомогою одного каналу аналого-цифрового перетворення. Якщо вимірювана величина розподілена в просторі або об'єктом вимірювання є власне координати деякої точки або області простору, то отримання інформації в таких структурах виконується за допомогою одного так званого скануючого датчика.

Скануючі структури можуть класифікуватися за кількістю вимірюваних величин. Вони можуть виконувати операції аналого-цифрового перетворення місця розташування деякої точки на прямій лінії, точки або кривої на площині або у просторі. В якості системи координат можуть бути використані різні, в тому числі нелінійні системи.

Скануючі датчики можуть бути виконані таким чином, що вони під час виконання операцій отримання інформації входять у безпосередній контакт з досліджуванним параметром або областю сканування або сприймають вимірювані величини за відсутності безпосереднього контакту. Прикладами контактних датчиків можуть служити термометри або термометри опору, безконтактних – радіаційні пірометри.

Сканування шляхом переміщення контактного датчика вздовж об'єкта вимірювання широко використовується під час геофізичних досліджень, в океанологічних дослідженнях.

Дистанційне сканування за допомогою безконтактних датчиків з постійним полем їх сприйняття застосовуються в радіолокаційних системах вимірювання дальності, ультразвукової дефектоскопії, під час вимірювання параметрів теплових полів.

1.3. Точнісні характеристики вимірювальних систем

1.3.1. Критерії оцінки похибок вимірювання вхідної величини

У результаті вимірювання невідомої вхідної величини x отримують її наближене значення x^* (з похибкою Δ). Під похибкою розуміється ступінь близькості результату вимірювання до істинного значення вимірюваної величини.

Похибка вимірювання Δ обумовлена, по-перше, неточністю виготовлення апаратури, зміною її характеристик у часі, чутливістю до неконтрольованих зовнішніх впливів, а по-друге, неточністю самого методу вимірювання. Таким чином, розрізняють апаратурну (інструментальну) та

методичну складові загальної похибки. Оскільки фактори, що викликають появу похибки вимірювання, взагалі кажучи, мають випадковий характер, то і похибка вимірювання слід розглядати як випадкову величину.

Найбільш повною характеристикою похибки Δ є умовна щільність розподілу ймовірностей $p(\Delta)$. Щільність розподілу ймовірностей містить всю необхідну інформацію для оцінки похибки, однак вона не завжди відома. Тому на практиці використовується деяка кількість параметрів (показників) цього розподілу так, щоб ці параметри в достатній мірі характеризували похибку досліджуваної системи. В якості оцінок похибки окремих пристроїв та вимірювальних систем найбільш широко застосовуються екстремальні, інтегральні оцінки і такі, що засновані на застосуванні довірчих інтервалів та ймовірностей.

До екстремальних оцінок похибки відносяться:

- модуль максимального відхилення

$$\Delta_{max} = |x - x^*|_{max};$$

- модуль максимальної відносної похибки

$$\delta = \frac{|x - x^*|_{max}}{x};$$

- модуль максимальної приведенної похибки

$$\gamma_{пр} = \frac{|x - x^*|_{max}}{x_{max}}.$$

До інтегральних оцінок похибки (якщо x і x^* – випадкові величини) належать:

- середній модуль відхилення

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} p(x, x^*) |x - x^*| dx dx^*;$$

- середній модуль відносної та приведенної похибки

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} p(x, x^*) \frac{|x - x^*|}{x} dx dx^*;$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} p(x, x^*) \frac{|x - x^*|}{x_{max}} dx dx^*;$$

- середнє квадратичне відхилення

$$\sigma_{\Delta} = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} p(x, x^*) (x - x^*)^2 dx dx^*};$$

або дисперсія

$$D_{\Delta} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} p(x, x^*) (x - x^*)^2 dx dx^*.$$

Оцінки похибки, засновані на застосуванні довірчих інтервалів та імовірностей, дозволяють визначити, з якою ймовірністю похибка системи $|\Delta_d|$ не виходить за задані межі $\pm \varepsilon_0$:

$$P_d \{ |\Delta_d| \leq \varepsilon_0 \}.$$

Для визначення довірчої ймовірності за заданим довірчим інтервалом у загальному випадку необхідно знати щільність розподілу похибки $p(\Delta)$:

$$P_d = \int_{-\varepsilon_0}^0 p(\Delta) d\Delta.$$

Зокрема, для нормального закону розподілу

$$\begin{aligned} p\{|\Delta_d| \leq \sigma\} &= 0,68; & p\{|\Delta_d| \leq 2\sigma\} &= 0,95; \\ p\{|\Delta_d| \leq 3\sigma\} &= 0,997. \end{aligned}$$

Якщо крива щільності розподілу похибки невідома, але відома її дисперсія $D\Delta$ і математичне очікування є нульовим ($M\Delta=0$), то верхню оцінку довірчої ймовірності можна знайти наступним чином:

$$P_d^* \geq 1 - \frac{D_{\varepsilon}}{\Delta_d^2}.$$

Універсальних оцінок, придатних для зіставлення між собою різних ІВС, не існує. Проте можна виділити найбільш доцільні варіанти застосування цих оцінок.

Екстремальні оцінки доцільно використовувати у випадках, коли важливо оцінити, наскільки результати вимірювання можуть відхилитися від дійсного значення. Такі оцінки важливі під час дослідження процесів, що проходять поблизу аварійних ситуацій, під час дослідження граничних значень міцності силових конструкцій і т. п.

Для оцінки похибок вимірювання кількості продукції під час безперервного виробництва або для загальної оцінки ІВС використовують інтегральні оцінки і такі, що засновані на застосуванні довірчих інтервалів та імовірностей.

1.3.2. Оцінка загальної (сумарної) похибки ІВС

Дуже важливим завданням є визначення сумарної похибки ІВС за характеристиками похибки функціональних перетворень, що виконуються окремими блоками чи вузлами.

Якщо відомі аналітичні вирази для законів розподілу похибок окремих ланок і система лінійна, то задача може бути вирішена за допомогою методів згортки.

Нехай, наприклад, Δ_1 і Δ_2 – випадкові функції похибки двох сусідніх ланок, а $p(\Delta_1)$ і $p(\Delta_2)$ – щільності розподілу. Тоді, якщо ці похибки незалежні, закон розподілу сумарної похибки $\Delta_{1,2}$ цих двох ланок з допомогою згортки вихідних густин:

$$p(\Delta_{1,2}) = \int_{-\varepsilon_0}^0 p(\Delta_1) p(\Delta_{1,2} - \Delta_1) d\Delta_1.$$

Застосовуючи послідовно операцію згортки $n-1$ раз, де n – кількість ланок, отримуємо закон розподілу повної похибки системи.

Якщо окремі ланки ІВС охарактеризовано надмірними максимальними значеннями похибок, то повна похибка системи визначається простим підсумовуванням цих похибок. Очевидно, така оцінка повної похибки буде дуже завищена.

Оцінка похибки ІВС багатоканальної (паралельної) структури може здійснюватися з урахуванням наступних міркувань. Систематична похибка такої системи знаходиться як середнє арифметичне систематичних похибок M_{Δ} кожного з N каналів. Середнє значення випадкової похибки в кожному з N однакових каналів повинно дорівнювати нулю, а тому дорівнює нулю і середнє значення випадкової похибки системи в цілому. Дисперсія випадкової похибки системи дорівнює середньому значенню дисперсій випадкової похибки D_{Δ} в кожному каналі.

Якщо в системі не всі канали однорідні, а є декілька груп однорідних каналів, що розрізняються між собою, то такі середні показники можуть формуватися для кожної групи окремо.

1.3.3. Похибки квантування за рівнем

Операції квантування за рівнем зазвичай виконуються автоматично (у цифрових вимірювальних приладах, АЦП, що входять до складу ІВС). Квантування за рівнем приводить до появи похибки (шуму) квантування за рівнем, що обумовлена необхідністю ототожнення (округлення) значення безперервної невідомої вимірюваної величини з певним (зазвичай найближчим) значенням відомої дискретної величини. Слід зауважити, що у разі, якщо досліджувана величина в процесі квантування за рівнем змінюється в часі або в просторі, то з'являється динамічна складова похибки квантування.

Надалі обмежимося розглядом статичної складової похибки квантування, вважаючи, що вимірювана величина в процесі виконання операцій квантування незмінна.

Найбільш поширеним на практиці є рівномірне квантування, за якого діапазон зміни значень неперервної величини розділений на n однакових частин (інтервалів) квантування q .

Значення x в межах кроку квантування потрібно відносити до певного рівня квантування, зазвичай до верхньої або нижньої межі інтервалу квантування або до його середини (рис. 1.4).

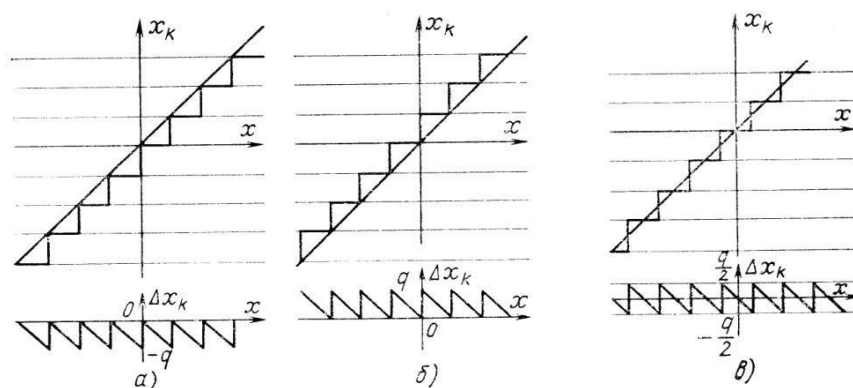


Рис.1.4. Похибки квантування за рівнем:

a – ототожнення з нижньою межею інтервалу квантування; $б$ – ототожнення з верхньою межею інтервалу квантування; $в$ – ототожнення серединою інтервалу квантування

Похибка квантування є періодичною функцією, що змінюється залежно від значення x у межах від 0 до q у випадку ототожнення значення x з верхньою межею інтервалу квантування; від 0 до $-q$ –

у випадку ототожнення значення x з нижньою межею інтервалу квантування; від $+q/2 - q/2$ – у випадку округлення до середини інтервалу квантування.

Оскільки x – випадкова величина з щільністю розподілу $p(x)$, то і Δx – також випадкова величина, що залежить від x . Тоді ймовірність появи значення x в інтервалі $(x_k - q/2; x_k + q/2)$ буде визначатися ймовірністю помилки Δx_k .

Математичне очікування Δx_k

$$M[\Delta x_k] = \int_{x_k - q/2}^{x_k + q/2} (x_k - x)p(x) dx.$$

Дисперсія

$$D[\Delta x_k] = \int_{x_k - q/2}^{x_k + q/2} (x_k - x)^2 p(x) dx.$$

У випадку, коли $q \ll x_{\max} - x_{\min}$, можна вважати, що $p(x)$ постійна в інтервалі q і дорівнює $p(x_k)$ (рис. 1.5), тобто

$$f(x_k)q = \int_{x_k - q/2}^{x_k + q/2} p(x) dx.$$

Тоді

$$M[\Delta x_k] = 0,$$

а

$$D[\Delta x_k] = f(x_k) \int_{x_k - q/2}^{x_k + q/2} (x_k - x)^2 dx = \frac{1}{12} f(x_k) q^3 = \frac{1}{12} q^2 [f(x_k) q].$$

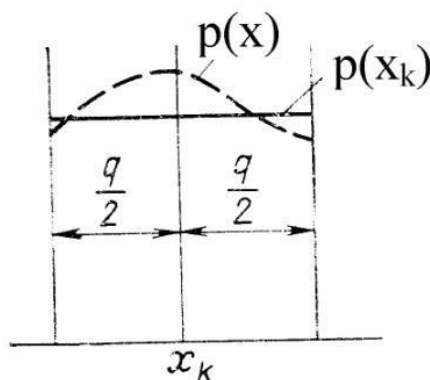


Рис. 1.5. Щільність розподілу величини, що квантується, в межах інтервалу квантування

Підсумувавши вирази для $D[\Delta x_k]$ за всіма рівнями x_k , отримаємо дисперсію похибки квантування як математичне очікування дисперсій на окремих рівнях квантування:

$$D_{\Sigma} = \sum_{k=1}^n D[\Delta x_k] = \frac{1}{12} q^2 \sum_{k=1}^n p(x_k) q.$$

Якщо $\sum_{k=1}^n p(x_k) q = 1$, то $D_{\Sigma} = q^2/12$

Отже, з достатньою точністю похибку квантування можна вважати рівномірно розподіленою в межах інтервалу квантування випадкової величини з $M[\Delta x_k] = 0$ і $D_{\Sigma} = q^2/12$ (за ототожнення результату квантування з серединою кванта).

2. Об'єм, зміст та оформлення курсового проєкту

2.1. Склад курсового проєкту

Курсовий проєкт складається з розрахунково-пояснювальної записки, об'ємом 18–20 сторінок, та графічної частини.

Розрахунково-пояснювальна записка повинна включати наступні розділи:

- реферат;
- вступ;
- теоретичне обґрунтування та вибір апаратного складу ІВС;
- опис методу вимірювання та принципу роботи вимірювальних каналів ІВС;
- структурні схеми ІВС та принципи їх роботи;
- розрахунки необхідних метрологічних характеристик і показників та результати моделювання роботи окремих функціональних блоків ІВС.

Графічна частина повинна включати наступні креслення, що розміщуються у відповідних розділах курсового проєкту або в додатках:

- структурну схему ІВС на аркушах формату А3 чи А4;
- принципальні схеми окремих функціональних блоків, що входять до складу ІВС, на аркушах формату А4.

2.2. Зміст розділів курсового проєкту

Титульна сторінка

Титульна сторінка містить назву курсового проєкту, наприклад, «Автоматизована триканальна система вимірювання температури в сушильній шафі», відомості про ВНЗ, кафедру, де виконано роботу, керівника, виконавця, академічну групу та рік виконання.

Реферат

У рефераті наводяться відомості:

- тема курсового проєкту;
- варіант курсового проєкту;
- вихідні дані для проєктування;
- кількість сторінок пояснювальної записки, рисунків, таблиць, графіків, кількість та назву креслень графічної частини.

Вступ

У вступі необхідно у довільній формі надати інформацію про основні тенденції розвитку та вдосконалення ІВС, охарактеризувати актуальність теми, що розроблюється, та навести основні результати проєктування.

Теоретична частина

У теоретичній частині необхідно представити огляд первинних вимірювальних перетворювачів, що використовуються для вимірювання заданого технологічного параметру. На основі цього огляду обґрунтувати вибір відповідного датчика та описати принцип його роботи. Технічні характеристики необхідно наводити, використовуючи для цього дані технічних паспортів на вимірювальні прилади, довідкову літературу, ДСТУ. У пояснювальній записці бажано навести опис та фрагмент принципової схеми, що пояснює принцип функціонування приладу, його конструкцію та інші особливості. Джерела, з яких були взяті принципіальні схеми та описи, потрібно включити до списку використаної літератури.

Розрахункова частина

У розрахунковій частині необхідно розробити структурну схему вимірювальної системи, описати алгоритм її функціонування та провести необхідні розрахунки окремих вузлів та блоків, у тому числі розрахувати необхідну кількість підсилювальних каскадів, визначити необхідність функціональних перетворювачів та необхідну кількість двійкових розрядів АЦП, виходячи при цьому з метрологічних критеріїв.

Приклад опису структурної схеми.

Автоматизована система вимірювання температури в сушильній шафі складається з наступних приладів та апаратури:

1. Датчик температури – термометр опору ТСП-5071 В.
2. Вторинний прилад – електронний міст типу КСМ-1.000.
3. Комутатор, на базі мікросхеми ADG 735.
4. Трикаскадний електронний підсилювач на базі ОУ ОРА 2171.
5. АЦП – ADS8484.
6. Керуючий мікроконтролер – Atmega 48.

Принцип роботи полягає у наступному: зміна температури Δt^0 повітря в сушильній шафі обумовлює зміну опору термометра ΔR , який включено до складу вимірювального мосту. Остання обставина призводить до зникнення рівноваги мосту та появи на його виході сигналу, що є пропорційним зміні температури Δt^0 . Цей сигнал після попереднього підсилення подається на вхід 12-розрядного АЦП. Результат АЦ-перетворення зчитується з виходів АЦП та зберігається у пам'яті мікроконтролера Atmega 48. Циклічне підключення датчиків до входу АЦП забезпечує комутатор аналогових сигналів ADG 735, роботою якого також керує мікроконтролер Atmega 48.

Висновки

У цьому розділі потрібно у довільній формі навести результати проектування ІВС та вказати її основні метрологічні характеристики.

2.3. Правила оформлення розрахунково-пояснювальної записки

Пояснювальна записка друкується на аркушах формату А4 і повинна відповідати за своїм змістом і оформленням усім вимогам до оформлення документації та звітів у сфері науки та техніки – ДСТУ 3008-95.

Умовні буквені позначення, зображення або знаки повинні відповідати позначенням, прийнятим в чинному законодавстві і державних стандартах.

У курсовому проєкті слід застосовувати стандартизовані одиниці фізичних величин, їх найменування і позначення. Застосування в одному документі різних систем позначення фізичних величин не допускається. Одиниці виміру і розмірності, вживані без числових величин, пишуть в тексті повністю словами. У розшифровці буквених формул розмірності пишуть зі скороченнями.

Одиниця фізичної величини одного і того ж параметра в межах одного документа має бути постійною.

Неприпустимо відділяти одиницю фізичної величини від числового значення (переносити їх на різні рядки або сторінки).

У формулах у якості символів слід застосовувати позначення, встановлені відповідними державними стандартами. Пояснення кожного символу слід давати з нового рядка в тій послідовності, в якій символи наведені у формулі. Перший рядок пояснення повинен починатися із слова «де» без двокрапки після нього, з абзацного відступу.

Наприклад:

$$I = \frac{U}{R} \quad (1)$$

де I – струм, А; U – напруга, В; R – опір, Ом.

Формули, що записані одна за одною і не розділені текстом, розділяють комами. Формули, що розміщуються в додатках, повинні нумеруватися окремою нумерацією арабськими цифрами в межах кожного додатку з додаванням перед кожною цифрою позначення додатка, наприклад, формула (В.1).

Абзаци в тексті починають з відступом, рівним 15–17 мм. Рекомендовані параметри під час використання текстового редактора

WORD:

- шрифт Times New Roman;
- кегель – 14;
- абзацний відступ 1,25 см;
- міжрядковий інтервал – 1,5.

Ілюстрації (креслення, рисунки, графіки, схеми, діаграми, фотознімки) слід розміщувати безпосередньо після тексту, де вони згадуються вперше, або на наступній сторінці. На всі ілюстрації мають бути посилання у пояснювальній записці.

Ілюстрація позначається словом «Рисунок_», яке разом з назвою ілюстрації розміщують після пояснювальних даних, наприклад, «Рисунок 3.1. – Схема розміщення».

Ілюстрації слід нумерувати арабськими цифрами порядковою нумерацією в межах розділу, за винятком ілюстрацій, наведених у додатках.

Номер ілюстрації складається з номера розділу і порядкового номера ілюстрації, відокремлених крапкою, наприклад, рисунок 3.2. – другий рисунок третього розділу.

Таблицю слід розташовувати безпосередньо після тексту, у якому вона згадується вперше, або на наступній сторінці. На всі таблиці мають бути посилання в тексті звіту.

Таблиці слід нумерувати арабськими цифрами порядковою нумерацією в межах розділу, за винятком таблиць, що наводяться у додатках. Номер таблиці складається з номера розділу і порядкового номера таблиці, відокремлених крапкою, наприклад, таблиця 2.1. – перша таблиця другого розділу. Таблиця може мати назву, яку друкують малими літерами (крім першої великої) і вміщують над таблицею. Назва має бути стислою і відбивати зміст таблиці.

Посилання в тексті пояснювальної записки на джерела слід зазначити порядковим номером за переліком посилань, виділеним двома квадратними дужками, наприклад, «...у роботах [1–7]...».

Сторінки пояснювальної записки слід нумерувати арабськими цифрами, додержуючись наскрізної нумерації впродовж усього тексту. Номер сторінки проставляють у правому верхньому куті сторінки без крапки в кінці.

Найбільш часто оформлення списку літератури у наукових роботах бібліографічні записи розташовуються за алфавітом авторів та заголовків робіт (якщо автора не вказано або авторів більше трьох):

- розміщення бібліографічних записів при збігу першого слова назви – за алфавітом другого слова і т. д.;
- розміщення праць одного автора – за алфавітом першого слова назви окремих творів;
- розміщення праць авторів з однаковими прізвищами – за алфавітом ініціалів авторів;
- при збігу прізвищ та ініціалів авторів – за алфавітом праць;
- розміщення бібліографічних записів різними мовами:
 - спочатку за зведеним українсько-російським алфавітом чи мовами з кириличним алфавітом;
 - потім література іноземними мовами в порядку латинського алфавіту.

Приклад оформлення списку літературних джерел

1. Вища школа : наук.-практ. журн. / засн. М-во освіти і науки України ; голов. ред. І. О. Вакарчук. – 2001. – Київ : Знання, 2008. – Щомісяч. – ISSN 1682-2366. 2008. – № 8–10.

2. Вовк Володимир Михайлович. Математичні методи дослідження операцій в економіко-виробничих системах : монографія / В. М. Вовк. – Львів : ВЦ ЛНУ ім. І. Франка, 2007. – 584 с. – ISBN 979966-613-532- 5.

3. Історія світової та української культури : підруч. для студ. ВНЗ / В. Греченко, І. Чорний, В. Кушнерук, В. Режко. – Київ : Літера, [2005]. – 464 с. – ISBN 966-95287-8-X.

Курсовий проєкт допускається до захисту, якщо розрахунково-пояснювальна записка та графічна частина роботи не містять помилок принципового характеру і робота задовольняє перерахованим вимогам з оформлення.

Якщо курсовий проєкт повернено на доопрацювання, то усі виправлення мають бути зроблені студентом в тій же розрахунково-пояснювальній записці після зауважень рецензента.

Після отримання допуску до захисту роботи, треба вивчити усі зауваження рецензента і виправити помилки, виконавши необхідні записи на чистих (чи вклеєних) аркушах.

2.4. Завдання на курсовий проєкт

Завдання на курсовий проєкт представлені в таблиці 1. Завдання вибираються відповідно до порядкового номеру студента в академічному журналі.

Завдання до курсових проєктів

№ з/п	Параметр, що вимірюється	Кількість каналів	Похибка вим-я, %	Діапазон вим-я	Об'єкт контролю	Примітки
1	2	3	4	5	6	7
1	температура (Т)	2	2,5	10÷+150 ⁰ С	шафа для сушки	
2	тиск (Р)	2	3	0÷500 кПа	трубопровід	рідина (вода) d=100мм
3	сила (F)	3	2	0÷10 кН		
4	витрати (Q)	3	2	0÷10 м ³ /год	газопровід	газ d=150мм
5	рівень (h)	2	3	0÷10 м	цистерна	нафтопродукти
6	вологість	2	5	0÷100%		
7	прискорення (a)	3	1,5	0÷5g		
8	температура (Т)	4	2,5	0÷+350 ⁰ С	шафа для сушки	
9	тиск (Р)	4	1	0÷900 кПа	трубопровід	газ(стиснуте повітря) d=150мм
10	сила (F)	5	2,5	0÷15 кН		
11	витрати (Q)	5	3,25	0÷8 м ³ /год	газопровід	газ(стиснуте повітря) d=250мм
12	рівень (h)	4	1,5	0÷5 м	цистерна	нафтопродукти
13	прискорення (a)	4	1,5	0÷4g		
14	температура (Т)	6	3	0÷ +650 ⁰ С	піч	
15	тиск (Р)	6	1,5	0÷800 кПа	трубопровід	газ(стиснуте повітря) d=72мм

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
16	сила (F)	7	2,3	0÷50 кН		
17	витрати (Q)	7	3,1	0÷20 м ³ /год	трубопровід	рідина (вода)d=450 мм
18	рівень (h)	5	5	0÷7 м	цистерна	нафтопро- дукти
19	прискорення (a)	2	1,8	0÷6g		
20	температура (T)	8	2	100÷ 1200 0С	піч	
21	тиск (P)	6	2	0÷1000 кПа	трубопровід	рідина(вода) d=1500мм
22	сила (F)	7	1,5	0÷20 кН		
23	витрати (Q)	8	2	0÷15 м ³ /год	трубопровід	рідина(вода) d=100мм
24	рівень (h)	7	3	0÷7 м	цистерна	нафтопродук ти
25	тиск (P)	4	2,5	0÷1500 кПа	трубопровід	рідина(вода) d=500мм
26	сила (F)	6	2	0÷50 кН		
27	витрати (Q)	5	2	0÷17 м ³ /год	газопровід	газ(природ- ній) d=150мм
28	вологість	6	1,5	0÷100%		
29	витрати (Q)	3	2	0÷10 м ³ /год	газопровід	газ(стиснуте повітря) d=200мм
30	рівень (h)	4	1,5	0÷7 м	цистерна	нафтопро- дукти

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Аш Ж.* и др. Датчики измерительных систем / в двух книгах; пер. с фр.– Москва : Мир, 1992. – 480 с.
2. *Брусиловский Л.П.* Приборы технологического контроля в молочной промышленности : справочник / Л.П. Брусиловский, Л.Я. Вайнберг. – Москва : Агропромиздат, 1990. – 288 с.
3. *Иванова Г.М.* и др. Теплотехнические измерения и приборы. – Москва : Энергоатомиздат, 1984. – 232 с.
4. *Косинский А.В.* Аналого-цифровые преобразователи перемещений / А.В. Косинский, В.Р. Матвеевский, А.А. Холомонов. – Москва : Машинстроение, 1991. – 186 с.
5. *Котов К.И.* Средства измерения, контроля и автоматизации технологических процессов. Вычислительная и микропроцессорная техника : учеб. пособие. – Москва : Металлургия, 1989. – 469 с.
6. *Левшина Е.С.* Электрические измерения физических величин. Измерительные преобразования : учеб. пособие. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.
7. *Мейджер Дж.* Интеллектуальные сенсорные системы. – Москва : Техносфера, 2011. – 464 с.
8. *Новицкий В.П.* Электрические измерения неэлектрических величин. – 5-е изд., перераб. и доп. – Ленинград : Энергия, 1975. – 576 с.
9. *Профос П.* Измерения в промышленности : справочник в 3-х томах. – Москва : Металлургия, 1990.
10. *Фрайден Дж.* Современные датчики : справочник. – Москва : Техносфера, 2005. – 592 с.
11. *Шарапов В.М.* и др. Датчики : справочное пособие. – Москва : Техносфера, 2012. – 624 с.
12. *Шикалов В.С.* Технологічні вимірювання : навч. посібник. – Київ : Кондор, 2007.–168 с.

Навчально-методичне видання

МЕТРОЛОГІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

Методичні вказівки
до курсового проектування
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
за спеціальностями 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка» та 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

Укладачі: **Луценко** Вадим Юрійович,
Волчков Максим Володимирович

Випусковий редактор *Л.С. Тавлуй*
Комп'ютерне верстання *Т.І. Кукарєвої*

Підписано до друку 4.09.2024. Формат 60 × 84_{1/16}
Ум. друк. арк. 1,39. Обл.-вид. арк 1,5.
Електронний документ. Вид. № 94/III–24.

Видавець і виготовлювач
Київський національний університет будівництва і архітектури

Проспект Повітряних Сил, 31, Київ, Україна, 03037

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р.