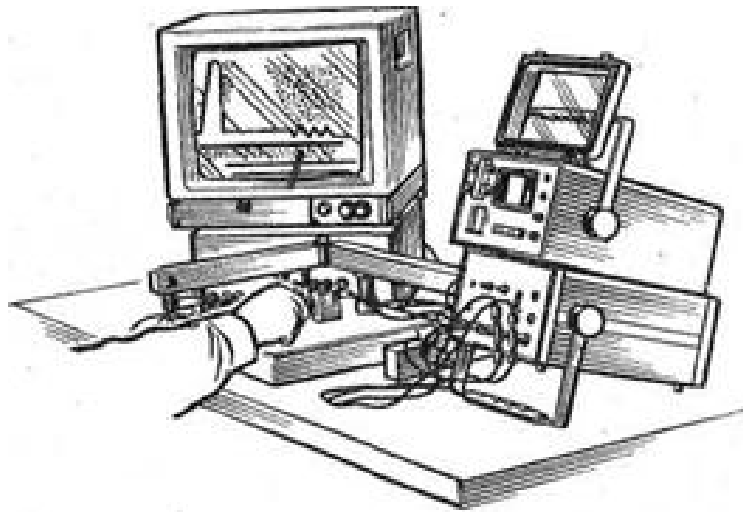


Чичура І.І.

**Програмне та метрологічне забезпечення систем
автоматизації**



Ужгород - 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

**Методичні вказівки до виконання практичних робіт з курсу
„ Програмне та метрологічне забезпечення систем автоматизації ”**

для студентів вищих навчальних закладів III-IV рівнів акредитації

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Чичура І.І.. Ужгород, Методичні вказівки до виконання практичних робіт з курсу „ Програмне та метрологічне забезпечення систем автоматизації”, 2023–32 с.

Укладач старший викладач Чичура І.І.

Відповідальний за випуск: доктор фіз.-мат. наук, зав. кафедрою приладобудування, проф. Іваницький В.П.

Рецензенти: канд. фіз.-мат. наук, доцент Цигика В.В.

Затверджений на засіданні кафедри приладобудування 21 06
2023 р., протокол № 9 .

Чичура І.І.. Ужгород, Методичні вказівки до виконання практичних робіт з курсу „ Програмне та метрологічне забезпечення систем автоматизації”, 2023 – 32 с.

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ	4
1 Практична робота №1 Методи оцінювання результатів вимірювання та їх похибок	6
2 Практична робота №2 Дослідження методів підвищення точності вимірювань	11
3 Практична робота №3 Використання вмонтованих статистичних функцій і пакета аналізу програми Microsoft Excel	21
4 Практична робота №4 Вивчення програмного пакета STATISTICA для обробки статистичних даних	24

ВСТУП

Під **метрологічним забезпеченням** (МО) розуміється встановлення і застосування наукових і організаційних основ, технічних засобів, правил і норм, необхідних для досягнення єдності і необхідної точності вимірювань.

Основною тенденцією в розвитку МО є перехід від існуючої раніше порівняно вузької задачі забезпечення єдності і необхідної точності вимірювань до принципово нової завдання забезпечення якості вимірювань. Якість вимірювань характеризує сукупність властивостей СІ, що забезпечують отримання у встановлений термін результатів вимірювань з необхідними точністю (розміром допустимих похибок), достовірністю, правильністю, сходимістю і відтворюваністю.

Поняття "метрологічне забезпечення" застосовується, як правило, по відношенню до вимірювань в цілому. У той же час допускають використання терміну "метрологічне забезпечення технологічного процесу (виробництва, організації)", маючи на увазі при цьому МО вимірювань (випробувань або контролю) в даному процесі, виробництві, організації.

Об'єктом МО є всі стадії життєвого циклу продукції або послуги.

Так, на стадії розробки продукції для досягнення високої якості виробу проводиться вибір контролю-ваних параметрів, норм точності, допусків, засобів вимірювань, контролю та випробувань. Так само здійснюється метрологічна експертиза конструкторської та технологічної документації.

При розробці МО необхідно використовувати системний підхід, суть якого полягає в розгляді зазначеного забезпечення як сукупності взаємопов'язаних процесів, об'єднаних однією метою досягненням необхідної якості вимірювань.

Взаємопов'язані процеси, що забезпечують якість вимірювань, включають наступні:

- • встановлення раціональної номенклатури вимірюваних параметрів і оптимальних норм точності вимірювань при контролі якості продукції та управлінні процесами;
- • техніко-економічне обґрунтування і вибір СІ, випробувань і контролю і встановлення їх раціональної номенклатури;
- • діяльність по стандартизації, уніфікації і агрегування використовуваної контроль-но-вимірювальної техніки;
- • розробка, впровадження та атестація сучасних методик виконання вимірювання, випробувань і контролю (МВВ);
- • перевірка, метрологічна атестація і калібрування контроль-но-вимірювального та випробувального обладнання (КВО), що застосовується на підприємстві;
- • контроль за виробництвом, станом, застосуванням і ремонтом КВО, а також за дотриманням метрологічних правил і норм на підприємстві;
- • участь в розробці і впровадженні стандартів підприємства;
- • впровадження міжнародних, державних і галузевих стандартів, а також інших нормативних документів Росстандарта;

- • проведення метрологічної експертизи проектів нормативної, конструкторської та технологічної документації;
- • проведення аналізу стану вимірювань, розробка на його основі і здійснення заходів щодо вдосконалення МО;
- • підготовка працівників відповідних служб і підрозділів підприємства до виконання контрольних-вимірювальних операцій.

Практична робота №1

Методи оцінювання результатів вимірювання та їх похибок

Метрологічна характеристика (МХ) - характеристика одної із властивостей ЗВТ, що впливає на результат вимірювань і на його похибку. Для кожного типу ЗВТ встановлюють свої МХ.

Основними МХ є наступні характеристики: похибки ЗВТ; показання ЗВТ; варіація показань ВП; діапазон вимірювань ЗВТ; номінальне і дійсне значення міри; чутливість і поріг чутливості ЗВТ; градуїровочна характеристика ЗВТ; метрологічна надійність ЗВТ; дрейф показань ЗВТ.

Однією з головних МХ ЗВТ є його похибка. За способом вираження розрізняють похибки - абсолютну, відносну і наведену.

Абсолютна похибка (Δ) – похибка ЗВТ, виражена в одиницях вимірюваної ФВ. Для міри - це різниця між номінальним її значенням і істинним. Для вимірювальних приладів - це різниця між показанням ЗВТ і істинним (дійсним) значенням вимірюваної ФВ. Для вимірювального перетворювача - це різниця реального коефіцієнта перетворення і істинного (наприклад, реального коефіцієнта підсилення і істинного).

Відносна похибка (δ) - похибка ЗВТ, виражена відношенням абсолютної похибки ЗВТ до дійсного значення вимірюваної ФВ або до результату вимірювань.

Приведена похибка ЗВТ - відношення абсолютної похибки ЗВТ до умовно прийнятого значення величини, постійного у всьому діапазоні вимірювань або в частині діапазону. Умовно прийняте значення величини називають нормуючим значенням. Значення, що нормується, приймається рівним:

- кінцевому значенню шкали ЗВТ з нульовою поділкою в її початку;
- сумі кінцевих значень шкали без урахування знаку з нульовою поділкою в середині шкали;
- довжині шкали при різко нерівномірній шкалі ЗВТ;
- різниці кінцевого і початкового значення для ЗВТ без нульової поділки.

Приведену похибку, звичайно, виражають у відсотках. Всі перераховані вище похибки нормуються відповідно до VIM - 93 у такий спосіб.

Межа абсолютної похибки, що допускається, виражається:

- одним значенням

$$\Delta = \pm a, \quad (4.1)$$

де a - постійна величина;

- у вигляді двочлена

$$\Delta = \pm (a + bX), \quad (4.2)$$

де a і b - постійні величини.

Межа відносної похибки виражається однією з наступних формул:

$$\delta = \frac{\Delta}{X} \cdot 100\% \quad (4.3)$$

або

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\frac{X_k}{X} - 1 \right) \right] \quad (4.4)$$

де c і d – постійні числа, виражені у відсотках, представляють, відповідно, приведені похибки наприкінці діапазону вимірювань і на його початку; X_k - кінцеве значення діапазону вимірювання ЗВТ.

Межа приведеної похибки

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100\% \quad (4.5)$$

де X_N - значення, що нормується.

Узагальненою МХ ЗВТ є його клас точності, що визначає допустимі межі всіх похибок, а також всі інші властивості, що впливають на його точність.

Клас точності ЗВТ для відносної і приведеної похибок виражається наступним рекомендованим рядом чисел (ГОСТ 8.401 -80):

$$P:(1; 1,5; 2; 2,5; 4; 5) \cdot 10^{-n}, \quad (4.6)$$

де $n = +1; 0; -1; -2$; і т.і.

Існує кілька способів позначення класів точності.

Перший спосіб. Клас точності ЗВТ p указується просто одним із чисел кращого вищенаведеного ряду (наприклад, $p = 1,0$). У цьому випадку межа абсолютної похибки, що допускається, постійна і виражена в одиницях вимірюваної величини, і межа приведеної похибки $\gamma = 1\%$. При цьому значення, що нормується, виражене в одиницях вимірюваної величини. У такий спосіб позначають класи точності приладів з рівномірної або ступенцевою (з показником степені не більше 2-х) шкалою.

Приклад 1. За допомогою ЗВТ класу точності $p=1,0$ отримано показання приладу $X_{\text{вим}}=100$ мА. Діапазон вимірювання ЗВТ від 0 до 150 мА. Визначити межі похибок Δ , δ , γ і записати результат вимірювання.

Рішення. Приведена похибка $\gamma = \pm 1\%$.

$$\text{Абсолютна похибка } \Delta = \pm \frac{\gamma \cdot X_N}{100};$$

де $X_N=150$ мА;

$$\Delta = \pm \frac{1 \cdot 150}{100} = \pm 1,5 \text{ мА}$$

$$\text{Відносна похибка } \delta = \pm \frac{\Delta}{X_{\text{вим}}} \cdot 100\%$$

$$\delta = \pm \frac{1,5 \cdot 100}{100} = 1,5\%$$

Результат вимірювання $X=(100 \pm 1,5)$ мА.

Приклад 2. За допомогою ЗВТ класу точності $p=1,0$ отримано показання приладу $X_{\text{вим}}=100$ мА. Діапазон вимірювання ЗВТ від 50 до 150 мА. Визначити межі похибок Δ , δ , γ і записати результат вимірювання.

Рішення. Приведена похибка $\gamma = \pm 1\%$.

$$\text{Абсолютна похибка } \Delta = \pm \frac{\gamma \cdot X_N}{100};$$

де $X_N=150-50=100$ мА;

$$\Delta = \pm \frac{1 \cdot 100}{100} = \pm 1 \text{ мА}$$

$$\text{Відносна похибка } \delta = \pm \frac{\Delta}{X_{\text{вим}}} \cdot 100\%,$$

$$\delta = \pm \frac{1 \cdot 100}{100} = 1\%$$

Результат вимірювання $X=(100 \pm 1)$ мА.

Приклад 3. За допомогою ЗВТ класу точності $p=1,0$ отримано показання приладу 100 мА. Діапазон вимірювання ЗВТ від -150 до 150 мА. Визначити межі похибок Δ , δ , γ і записати результат вимірювання.

Рішення. Приведена похибка $\gamma = \pm 1\%$.

$$\text{Абсолютна похибка } \Delta = \pm \frac{\gamma \cdot X_N}{100};$$

де $X_N=150+150=300$ мА;

$$\Delta = \pm \frac{1 \cdot 300}{100} = \pm 3 \text{ мА}$$

$$\text{Відносна похибка } \delta = \pm \frac{\Delta}{X_{\text{вим}}} \cdot 100\%$$

$$\delta = \pm \frac{3 \cdot 100}{100} = 3\%$$

Результат вимірювання $X=(100 \pm 3)$ мА.

Другий спосіб. Для приладів з різко нерівномірною шкалою (наприклад,

степеневі з показником степені більше 2-х) застосовується позначення ∇^p , а значення, що нормується, виражається в одиницях довжини шкали. Межа

приведеної похибки збігається з ∇^p ($\gamma = p\%$). У цьому випадку при вимірюванні значення ФВ обов'язково повинен бути записаний відлік в одиницях довжини шкали і межі вимірювання в тих же одиницях довжини шкали.

1,0

Приклад 4. За допомогою ЗВТ класу точності $p=$ з довжиною шкали 50мм отриманий відлік 25 мм. Показання приладу $X_{\text{вим}}=100$ Ом. Визначити межі похибок Δ , δ , γ і записати результат вимірювання.

Рішення Приведена похибка $\gamma = \pm 1\%$

$$\text{Відносна похибка } \delta = \pm \frac{p \cdot X_N}{X_{\text{вим}}} \%$$

$$X_N=50\text{мм}; X_{\text{вим}}=25\text{мм};$$

$$\delta = \pm \frac{1 \cdot 50}{25} = \pm 2\%$$

$$\text{Абсолютна похибка } \Delta = \pm \frac{\delta \cdot X_{\text{вим}}}{100}$$

$$\Delta = \pm \frac{2 \cdot 100}{100} = 2 \text{ Ом}$$

Результат вимірювань $X=(100 \pm 2)$ Ом.

Третій спосіб. Якщо межа відносної похибки, що допускається, постійна у всьому діапазоні вимірювання, то клас точності збігається із цією межею і позначається p . Таким способом нормують похибки вимірювальних мостів, магазинів, масштабних перетворювачів. При цьому, звичайно, вказують межі робочого діапазону, для яких справедливий даний клас точності.

Приклад 5. За допомогою ЗВТ класу точності $p=1,0$ отримано показання приладу $X_{\text{вим}}=100$ В. Діапазон вимірювання ЗВТ від 0 до 150 В. Визначити межі похибок Δ , δ , γ і записати результат вимірювання.

Рішення. Відносна похибка $\delta = \pm 1\%$.

$$\text{Абсолютна похибка } \Delta = \pm \frac{\delta \cdot X_{\text{вим}}}{100};$$

$$\Delta = \pm \frac{1 \cdot 100}{100} = \pm 1 \text{ В};$$

$$\text{Приведена похибка } \gamma = \pm \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100\%;$$

$$\text{де } X_N=150 \text{ В};$$

$$\gamma = \pm \frac{1 \cdot 100}{150} = 0.667\%$$

Результат вимірювання $X=(100 \pm 1)$ В.

Четвертий спосіб. Клас точності позначають у вигляді відношення c/d . Це вказує на те, що похибка приладу нормована за двочленною формулою (1.4).

Таким способом вказують класи точності високоточних ЗВТ. У тому числі, і цифрових вимірювальних приладів.

Приклад 6. За допомогою ЗВТ класу точності $p=0,5/0,2$ з діапазоном вимірювань від 0 до 1000 нФ, отримати показання приладу $X=500$ нФ. Визначити межі похибок Δ , δ , γ . Записати результат вимірювання.

Рішення. Приведена похибка $\gamma = \pm c = \pm 0,5\%$;

$$\text{Відносна похибка } \delta = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{X_k}{X} \right| - 1 \right) \right] \%$$

$$\delta = \pm \left[0,5 + 0,2 \left(\left| \frac{1000}{500} \right| - 1 \right) \right] = 0,7\%$$

де $c=0,5\%$; $d=0,2\%$; $X_k=1000\text{нФ}$; $X=500\text{нФ}$.

$$\text{Абсолютна похибка } \Delta = \pm \delta \frac{X}{100}$$

$$\Delta = 0,7 \cdot \frac{500}{100} = 3,5\text{н.}$$

Результат вимірювання $X=(500\pm 3,5)$ нФ.

З вищесказаного випливає, що по умовній позначці класу точності можна одержати необхідну інформацію про межі припустимої похибки результату вимірювань і похибки ЗВТ. При оцінці похибки повинні обчислюватися абсолютна, відносна і приведена похибки. Абсолютна похибка потрібна для округлення результату і його правильного запису. Відносна і приведена потрібні для однозначної порівняльної характеристики ЗВТ. Правила округлення розрахованого значення похибки і отриманого результату вимірювання зводяться до наступного:

- похибку результату вимірювання вказують двома значущими цифрами, якщо перша з них дорівнює 1 або 2, і однією - якщо перша є 3 і більше;
- результат вимірювання округлюють до того ж десяткового розряду, яким закінчується округлене значення абсолютної похибки;
- округлення проводиться лише в остаточній відповіді, а всі попередні обчислення проводять із одним - двома зайвими розрядами.

Практична робота №2

Дослідження методів підвищення точності вимірювань

1. Аналіз похибок засобів вимірювання

У виробничих умовах первинні вимірювальні перетворювачі (датчики), системи дистанційних передач, вимірювальні прилади, регулятори та інші засоби експлуатуються у складних умовах, які змінюються в часі. Це обумовлено тим, що контрольований виробничий процес, як і сам технологічний процес, змінюється у широких межах. Зміна технологічних параметрів і умов зовнішнього середовища (температури, тиску, вологості, вібрації) значно впливають на точномірні характеристики засобів вимірювальної техніки, на їхні статичні та динамічні характеристики. Кожний із впливових чинників, зазвичай, може бути виміряний окремо і врахований при одержанні результатів вимірювань, проте у виробничих умовах експлуатації всі їх врахувати майже неможливо. Тому кожний засіб вимірювання поряд з нормованою чутливістю до вимірюваної величини певним чином реагує на різні чинники, які обумовлюють підвищення похибки засобів вимірювання.

В умовах експлуатації статичні похибки засобів вимірювальної техніки визначаються за відхиленням реальних статичних характеристик $y(x)$ від номінальних (або ідеалізованих) функцій перетворення $y_0(x)$, які одержані у нормальних умовах їх роботи, тому забезпечення високої точності вимірювань пов'язано з мінімізацією цього відхилення: $\Delta y = y(x) - y_0(x)$. Розглянемо у загальному вигляді вплив основних чинників на похибку вимірювань Δy .

У рівняння будь-якого засобу вимірювальної техніки (ЗВТ), крім вимірюваної величини, входить ряд конструктивних параметрів ЗВТ, які змінюють свої характеристики як у процесі експлуатації, так і при зміні зовнішнього середовища. Тому у загальному вигляді рівняння вихідної величини ЗВТ можна записати так:

$$y = F(x; l_1; l_2; \dots; \rho_1; \rho_2; \dots; U; f; \dots; t; p; M), \quad (1)$$

де l_1, l_2 — конструктивні розміри деталей;

ρ_1, ρ_2 — фізичні характеристики матеріалів засобу вимірювань;

U, f — напруга і частота джерела електричної енергії;

t, p, M — температура, тиск, вологість зовнішнього середовища.

Значення l, p, U, f, t, p, M можуть відрізнятися від номінальних значень залежно від технологічних чинників, коливань напруги чи частоти у мережі, зміни зовнішніх умов в процесі експлуатації тощо. Виходячи із функціональної залежності (1) можна розрахувати похибки засобів вимірювання при зміні кожного параметра означеного рівняння.

Визначимо зміну показань засобу вимірювання, яка викликана зміною лише одного якогось параметра, наприклад l_1 а всі решта залишаються постійними. Значення параметрів змінюються зазвичай досить обмежено, тому приріст функції можна розглядати як такий, що дорівнює її диференціалу:

$$\Delta y_{l_1} = \Delta l_1 \partial y / \partial l_1. \quad (2)$$

Відхилення Δl параметра деталі засобу вимірювання від номінального значення називається *первинною абсолютною похибкою*, вираз $\Delta l_1 dy / dl_1$ — *частковою похибкою*.

Аналогічно можна розрахувати похибки засобу вимірювання при зміні решти параметрів. Загальна похибка засобу вимірювання визначається сумою похибок від зміни всіх параметрів:

$$\begin{aligned} \Delta y = & \Delta y_{l_1} + \Delta y_{l_2} + \Delta y_{\rho_1} + \dots + \Delta y_U + \Delta y + \dots \\ & \dots + \Delta y_t + \Delta y_p + \Delta y_M. \end{aligned} \quad (3)$$

Якщо ж відомі статичні характеристики окремих ланок засобу вимірювань, то доцільніше спочатку розрахувати похибки для окремих ланок, а потім на їхній основі розрахувати загальну похибку засобу вимірювання.

У загальному вигляді статична характеристика довільної ланки має вигляд

$$y = f(x_1; l_1; l_2; \dots; \rho_1; \rho_2; \dots; U; f \dots; p; t; M), \quad (4)$$

Похибка довільної ланки Δy_i буде частковою похибкою вимірювального засобу $\Delta y_i = dy / dy_i$. Для знаходження часткової похідної dy / dy_i складається рівняння скороченого вимірювального кола $y = f(y_i)$, з якого і визначається часткова похідна dy / dy_i .

На основі аналізу рівнянь (1), (4) можна визначити два методи зменшення похибок результатів вимірювань: метод стабілізації параметрів статичних характеристик та метод структурної надмірності.

2. Метод стабілізації параметрів статичних характеристик

Перший метод зводиться до підвищення стабільності параметрів статичних характеристик засобів вимірювання або ж до зведення до мінімуму часткових похибок Δy_l ; Δy_p ; Δy_U ; Δy_f тощо. Ці методи підвищення точності результатів вимірювань називаються *конструктивними*, або *технологічними*.

Стабілізація статичних характеристик на основі конструктивних методів полягає у виготовленні засобів вимірювань та їх елементів із сучасних високотехнологічних матеріалів, характеристики яких майже не залежать від зміни параметрів зовнішнього середовища, а також у термостатуванні як вимірюваного середовища, так і засобів вимірювань та стабілізації джерел живлення, у використанні сучасних технологій та методів вимірювань тощо. Відмінною рисою конструктивних методів є включення в засоби вимірювань тільки тих елементів і вимірювальних перетворювачів, без яких процес вимірювання взагалі неможливий.

Конструктивні методи підвищення точності широко використовувалися у приладобудівній промисловості. Їх ще називають *класичними методами*. Проте класичні методи майже вичерпали свої можливості, бо серед сучасних засобів вимірювань широкого використання набули мікропроцесорні обчислювальні системи, за допомогою яких опрацьовується інформація, вводяться термокомпенсації, здійснюється лінеаризація характеристик та ін.

3. Метод структурної надмірності

Другий метод підвищення точності результатів вимірювань полягає у введенні в процес вимірювань структурної або ж тимчасової надмірності. Це дає можливість одержати додаткову інформацію про вимірювану величину та про перешкоди, що виникають у процесі вимірювань. Опрацювання таких

даних вимірювань за спеціальними алгоритмами дозволяє підвищити точність вимірювань. Ці способи одержали назву *структурних методів* підвищення точності вимірювань.

Відмінною особливістю структурних методів є забезпечення високоточних результатів вимірювань на звичайних засобах вимірювань, без зміни вимог щодо поліпшення їхніх метрологічних показників. Необхідна точність вимірювань досягається за рахунок опрацювання додаткової інформації за спеціальними алгоритмами. При сучасному стані обчислювальної техніки виконання допоміжних перетворень і обчислювальних операцій у багатьох випадках ефективніше й економічніше, ніж удосконалення конструкції і технології виробництва засобів вимірювання з метою одержання точніших метрологічних характеристик.

Структурні методи підвищення точності засобів вимірювання досить багатогранні, тому зупинимося на тих, які набули найбільшого поширення у вимірювальній техніці.

4. Метод зменшення випадкової складової похибки

Метод зменшення випадкової складової похибки засобів вимірювань ґрунтується на математичному опрацюванні результатів багаточисельних та багатоканальних вимірювань величин x .

Якщо ж виконано n незалежних вимірювань величини x , то результати вимірювань опрацьовуються за алгоритмами

$$m_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \quad (5)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2}; \quad \delta_{\text{вм}} = t_p \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (6)$$

Результат багаторазових вимірювань m_x матиме в \sqrt{n} раз меншу середньоквадратичну похибку σ порівняно з результатом одноразового вимірювання.

Таким чином, збільшенням числа вимірювань n можна зменшити випадкову складову похибки вимірювального засобу, хоч у реальних виробничих умовах кількість вимірювань обмежена. Це обмеження обумовлене змінами вимірюваної величини в часі (динамікою об'єкта), систематичної складової похибки за час багаторазових вимірювань та характеристик (властивостей) самого об'єкта.

Другий спосіб зменшення складової випадкової похибки ґрунтується на математичній обробці результатів багаточисельних та багатоканальних вимірювань. Величина x вимірюється кількома засобами вимірювання k , що працюють паралельно ($ЗВ_1, ЗВ_2, \dots, ЗВ_A$). Кількість вимірювань зростає у nk разів. Результати багатоканальних і багаторазових вимірювань m'_x дають у \sqrt{mk} разів меншу середньоквадратичну похибку порівняно з результатом одноразового вимірювання. Обробку результатів вимірювання доцільно проводити за допомогою обчислювального засобу (03), схему якого подано на рис. 1, за формулами (5) і (6).

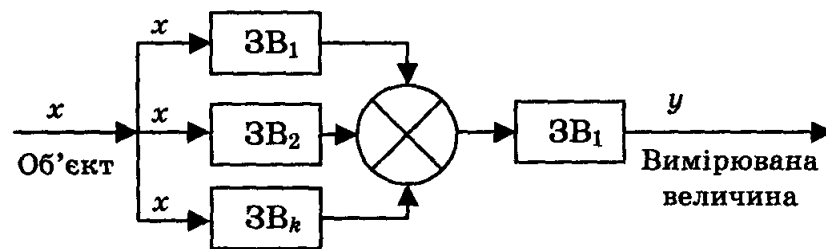


Рис. 1. Схема зменшення випадкової похибки для багаторазових і багатоканальних вимірювань

Недоліком багатоканальних вимірювань є складність у виборі засобів вимірювань з ідентичними метрологічними характеристиками. Обчислювальним засобом може бути міні-ЕОМ.

5. Метод зменшення систематичної складової похибки

Для зменшення систематичної похибки вимірювань широко використовується метод, який ґрунтується на паралельних вимірюваннях величини x за допомогою зразкових засобів вимірювання або мір. Вимірювання величини x проводиться в декілька етапів (рис. 2). Спочатку вимірюється величина x за допомогою звичайного засобу вимірювання ($ЗВ_1$), а потім за

допомогою зразкового засобу (ЗЗВ). Засоби вимірювання підключаються по черзі за допомогою перемикача П. Результати вимірювань після перемикача подаються в обчислювальний засіб (ОЗ), де вони опрацьовуються і визначається систематична складова похибки як різниця вимірювальних величин m_x за допомогою звичайного та зразкового засобів вимірювань.

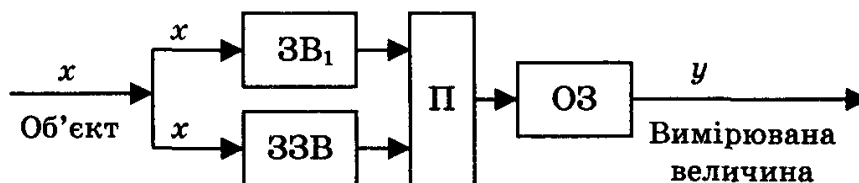


Рис. 2. Схема зменшення систематичної складової похибки за допомогою зразкових засобів вимірювання

Вимірювана величина визначається за алгоритмом

$$y = m_x \pm \theta. (7)$$

Систематична похибка вимірювання визначається як різниця між математичними сподіваннями, одержаними за результатами вимірювань за допомогою зразкових та звичайних технічних засобів вимірювальної техніки.

При використанні кількох мір (рис. 3) процес вимірювання проходить у такій послідовності. Спочатку вимірювана величина x через перемикач П подається на звичайний засіб вимірювання (ЗВ), а далі на обчислювальний засіб (ОЗ). За допомогою перемикача П вимірювана величина x відключається, і послідовно підключаються відомі міри x_1 , x_2 та ін. їм відповідають вихідні сигнали після ЗВ: y_1 , y_2 тощо.

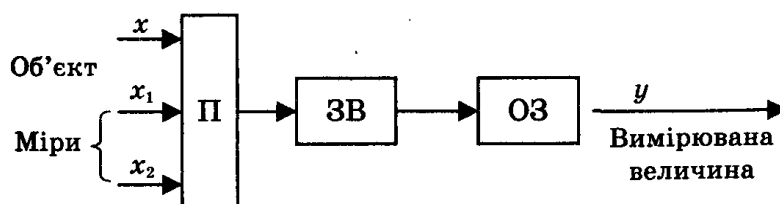


Рис. 3. Схема зменшення систематичної складової похибки з використанням зразкових мір

При лінійній статичній характеристиці засобу вимірювання достатньо використати дві міри. Отримана вимірювальна інформація опрацьовується на

обчислювальному засобі (03), де при лінійній статичній характеристиці засобу вимірювання реалізується алгоритм

$$y = x + (x_2 - x_1)(y - y_1) / (y_2 - y_1). \quad (8)$$

Використання зразкових засобів і мір дозволяє звести до мінімуму систематичну складову похибки. Випадкова складова похибки залежить від кількості вимірювань n величини x , а опрацювання результатів вимірювань проводиться за алгоритмами (5) і (6). Обчислювальний засіб забезпечує одночасне визначення як систематичної, так і випадкової складової похибки і вимірюваної величини за алгоритмами (5)—(8).

6. Метод зменшення випадкової і систематичної складових похибок

Для зменшення випадкової і систематичної складових похибок вимірювань (рис. 4) використовуються як звичайні, так і зразкові засоби вимірювань, що підключаються для паралельної роботи за допомогою перемикача П.

Згідно зі схемою (рис. 4), вимірювана величина X вимірюється за допомогою кількох каналів K при n вимірюваннях на кожному каналі, що дає змогу значно зменшити випадкову похибку. Одночасно величина X вимірюється точнішим зразковим засобом вимірювання (ЗЗВ), що дає можливість визначити систематичну складову похибку як різницю математичних сподівань результатів вимірювань за допомогою звичайних і зразкових засобів вимірювання.

Опрацювання усіх результатів вимірювань як звичайними, так і зразковими засобами проводиться за допомогою обчислювального засобу (03) за алгоритмами (5)—(8). Кінцевий результат вимірювання визначається із залежності

$$y = m_x \pm \theta \pm \delta_{\text{йм}}, \quad (9)$$

де $\delta_{\text{йм}}$ — ймовірна випадкова похибка, яка залежить від кількості вимірювань n та заданої ймовірності (0,9—0,997).

Наведений метод зменшення випадкових і систематичних складових похибок вимірювання доцільний при визначенні фізичних величин з високою точністю для виконання науково-дослідних експериментальних робіт.

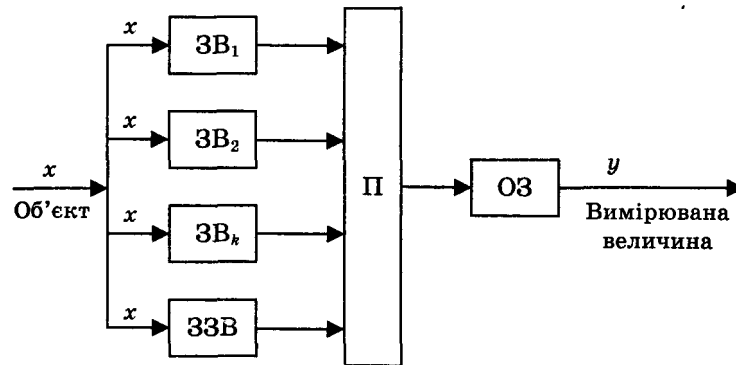


Рис. 4. Схема зменшення випадкової та систематичної складових похибок вимірювань

7. Структурні методи зменшення мультиплікативних і адитивних похибок

Розглянемо суть цих методів на прикладі лінійного вимірювального перетворювача (ВП), реальна характеристика якого має вигляд

$$y_l = k_l x + a_l, \quad (10)$$

де x, y_l — відповідно вхідний і вихідний інформаційні сигнали;

k_l, a_l — параметри ВП.

У процесі експлуатації параметри ВП відхиляються від номінальних значень:

$$k_n \dots a_n: \Delta k_l = k_l - k_{ln}: \Delta a_l = a_l - a_{ln},$$

$$\Delta Y_i = \Delta K_l X + \Delta a_l,$$

а при фіксованому значенні X це призведе до їхньої похибки. Значення похибки ВП має вигляд

$$\gamma_{1n} = \frac{\Delta y_1}{N} = \frac{\Delta k_1 + \Delta a_1}{k_{1n} x_{\max}} = \delta_{k_1} \frac{x}{x_{\max}} + \delta_{a_1} \frac{a_n}{N}, \quad (11)$$

де $N = k_{1n} x_{\max}$ — нормуючий множник, рівний зміні сигналу y при зміні величини x у межах від 0 до x_{\max} ;

$\delta_{k_1} = \Delta k_1 / k_{1n}; \delta_{a_1} = \Delta a_1 / a_{1n}$ — відносні зміни параметрів ВП.

У виразі (11) перша складова відповідає мультиплікативній, а друга — адитивній складовим похибок. Ускладнимо вихідну структуру, включивши

паралельно до вимірювального перетворювача ВП₁ зі статичною характеристикою (11) другий ідентичний перетворювач ВП₂ (рис. 5).

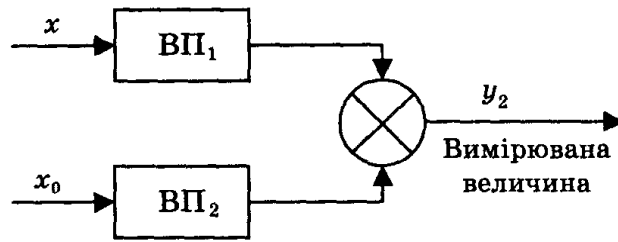


Рис. 5. Диференціальна схема структурних методів зменшення похибок

Якщо вихідний сигнал ВП₂ вилучається із вихідного сигналу ВП₁, схема сполучення ВП називається *диференціальною*, і його статична характеристика має вигляд

$$y_2 = k_1 x + a_1 - k_2 x_0 - a_2, \quad (12)$$

де x_0 — значення міри або стандартного зразка.

Приведена похибка диференціального ВП обчислюється аналогічно (11) і має вигляд

$$\gamma_{2n} = \frac{\Delta y_2}{N} = \delta_k \frac{x}{x_{\max}} + \frac{a_{1n}}{N} (\delta_{a_1} - \delta_{a_2}), \quad (13)$$

де $\delta_{a_2} = \Delta a_2 / a_{2n}$.

При обчисленні приведеної похибки (13) приймається, що $k_{1n} = k_{2n}$; $a_{1n} = a_{2n}$, але через вплив перешкод у реальних умовах $k_{1n} \neq k_{2n}$; $a_{1n} \neq a_{2n}$.

Порівнюючи рівняння (11) і (13), слід зауважити, що в одиничних умовах мультиплікативні похибки диференціального і одноканального вимірювального засобу однакові. Відносно адитивної похибки слід пам'ятати, що у диференціальному засобі вимірювання за рахунок порівняльного каналу можна суттєво її зменшити, а при повній кореляції випадкових параметрів $N = k_{1n} x_{\max}$ й повністю ліквідувати адитивні складові випадкової і систематичної похибок.

При введенні від'ємного зворотного зв'язку (рис. 6) статична характеристика такого засобу вимірювання матиме вигляд

$$y_k = k_1 x / (1 + k_1 k_0), \quad (14)$$

де k_0 — коефіцієнт перетворення ланки зворотного зв'язку. Для спрощення запису у рівнянні (14) прийнято, що $a = 0$.

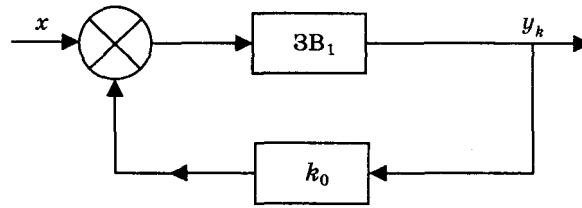


Рис. 6. Компенсаційна схема структурних методів зменшення похибок

Приведена похибка засобу вимірювання із замкнутою структурною схемою має вигляд

$$\delta y_{kn} = \Delta y_k / N_k \approx \delta_{k0} x / x_{\max}, \quad (15)$$

$$N_k = \frac{k_{1n} x_{\max}}{1 + k_{1n} k_{0n}}; \quad \delta_{k0} = \frac{\Delta k_0}{k_{0n}}; \quad k_1 k_0 \gg 1;$$

де

k — вимірювальний канал компенсаційної схеми.

Виходячи з цього, приведена похибка засобу вимірювання не залежить від відносної зміни коефіцієнта перетворення засобу вимірювання δ_{k1} , тобто введення від'ємного зворотного зв'язку дає змогу повністю ліквідувати мультиплікативну похибку або ж зміну коефіцієнта перетворення каналу прямої передачі інформації. Проте похибки, які виникають у колі зворотного зв'язку в такій структурі не ліквідуються, і їх використання можливе лише при $\delta_{k0} \ll \delta_{k1}$.

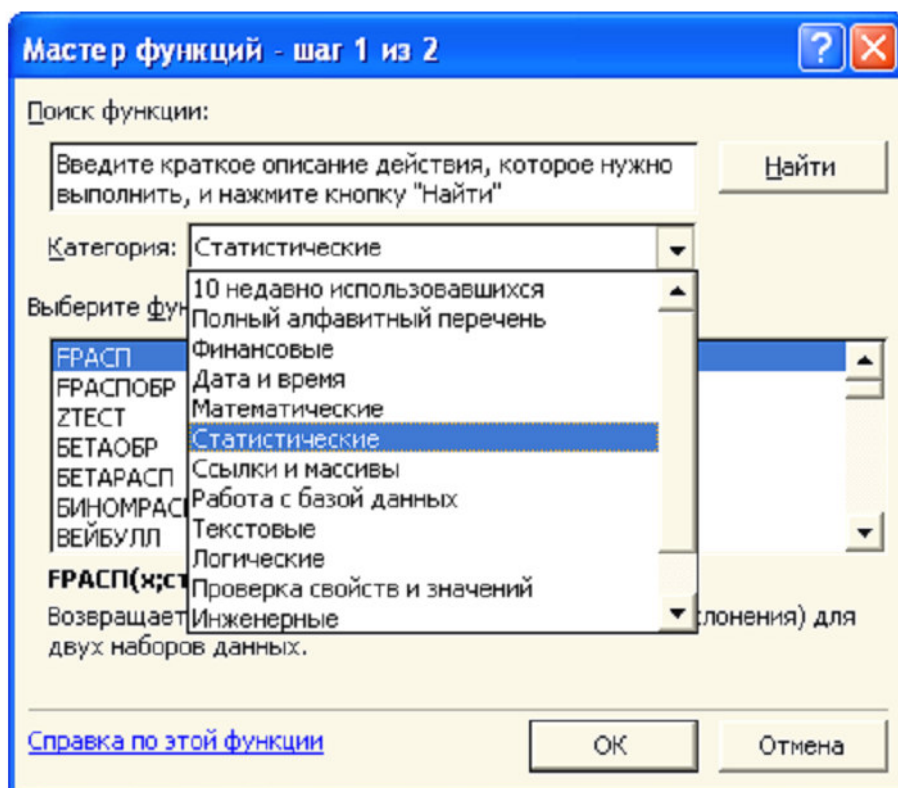
Таким чином, у наведених умовах використання диференціальних схем дозволяє зменшити адитивні складові похибки, а використання схем зі зворотним зв'язком дозволяє зменшити мультиплікативні складові похибки.

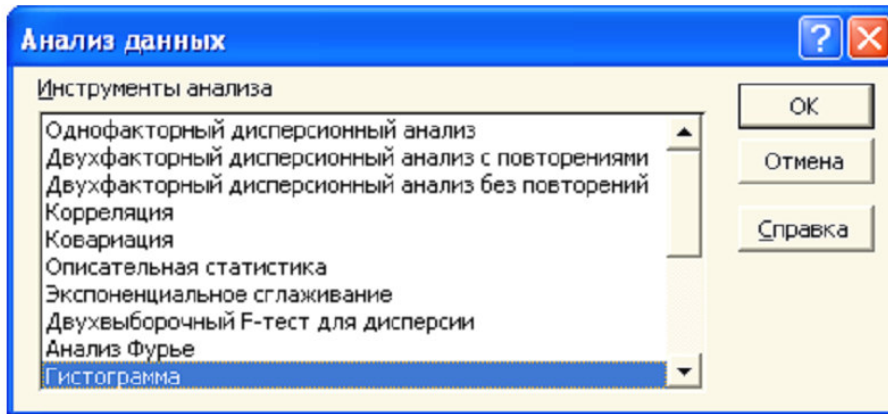
Практична робота №3

Використання вмонтованих статистичних функцій і Пакета аналізу програми Microsoft Excel

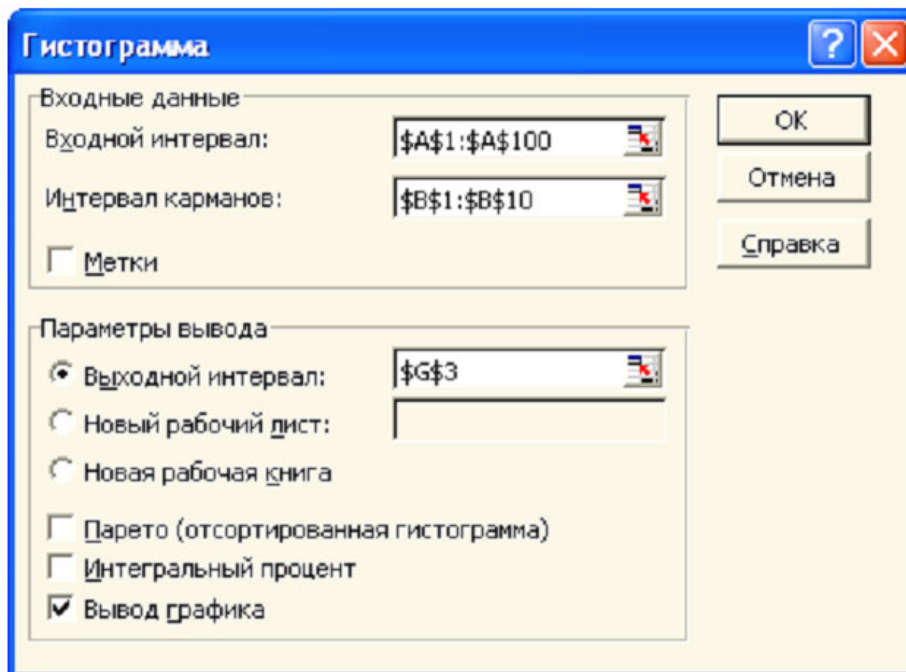
Досить розповсюджена програма Microsoft Excel дає можливість не дуже підготовленому користувачу виконати початкову статистичну обробку даних. До складу Microsoft Excel входить набір статистичних функцій і засоби аналізу даних (так званий пакет аналізу), призначений для вирішування статистичних задач. Проведення статистичного аналізу здійснюється досить просто варто вказати вхідні дані і вибрати за допомогою меню потрібну статистичну функцію чи в пакеті аналізу (інструмент аналізу).

Розрахунок статистичних характеристик. В програмі Microsoft Excel представлено велике число вмонтованих статистичних функцій. З їхньою допомогою можна розрахувати всі статистичні характеристики, що звичайно використовуються на практиці. Для виклику потрібної вмонтованої статистичної функції використовується команда Вставка □ Функція... чи кнопка Вставка функції, і у вікні, що з'явилося, Майстер функцій вибрати категорію «статистичні» і вказати потрібну функцію, в підвікні виберіть функцію. Після вибору і клацання по кнопці ОК з'являється вікно Аргументи функції, за допомогою якого здійснюється введення адрес комірок таблиці зі значеннями оброблюваного масиву і, при необхідності, інших необхідних величин (наприклад, ступенів вільності).





Побудова гістограми. Для побудови гістограми використовується команда Сервіс → Аналіз даних, після чого у вікні, що з'явилося, Аналіз даних – вибирається інструмент аналізу – Гістограма.



У вікні Гістограма задається вхідний інтервал, де вказуються адреси комірок з вихідними даними, і інтервал кишень, де вказуються адреси комірок зі значеннями границь інтервалів. Потім задаються бажані параметри виводу, клацнути кнопку ОК.

Приклад 3.1. Розрахувати статистичні характеристики і побудувати гістограму по вихідним даним, наведеним у табл. 3.1.

Рішення за допомогою Microsoft Excel. Для розрахунку основних статистичних характеристик: середнього арифметичного, медіани, моди, емпіричної дисперсії і розмаху, введемо в комірки таблиці вихідні дані і використаємо відповідні вмонтовані статистичні функції. Результати розрахунку зведені в табл. 3.6.

Таблиця 3.1 – Результат розрахунку статистичних характеристик

срзнач	медіана	мода	дисп	мін	макс
916,4847	923,34109	944,78	9261,16	666,518	1114,7

Для побудови гістограми використаємо команду Сервіс → Аналіз → Гістограма. У вікні Гістограма задаємо вхідний інтервал, де вказуємо адреси комірок з вихідними даними, і інтервал кишень, де вказуємо адреси комірок зі значеннями границь інтервалів. Виводяться таблиця частот і Гістограма (табл.3.2, рис. 3.2).

Зазначимо, що в програмі Microsoft Excel термін «кишень» означає границю інтервалу. Програма Microsoft Excel дозволяє розрахувати емпіричні статистичні характеристики і побудувати гістограму. Але відсутня можливість перевірки статистичних гіпотез щодо виду розподілу результатів вимірювань.

Таблиця 3.2 – Таблиця частот

Кишенья	Частота
650	0
700	3
750	2
800	6
850	12
900	20
950	21
1000	17
1050	13
1100	4
1150	2
Ще	0

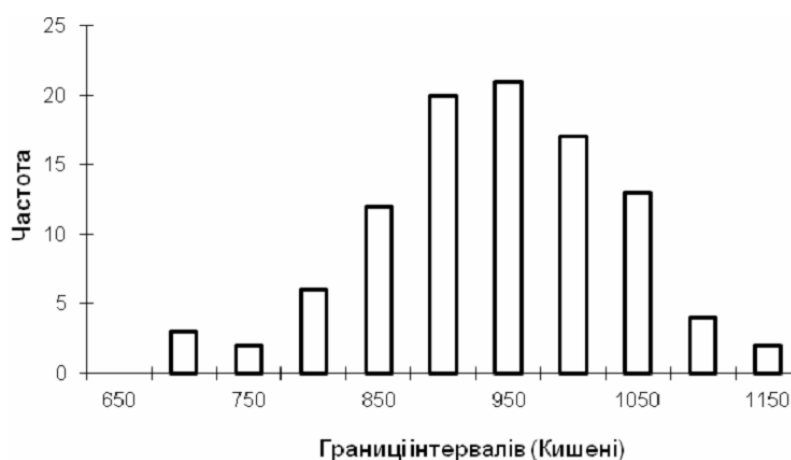


Рисунок 3.2. Гістограма, побудована за даними розрахунку

Практична робота №4

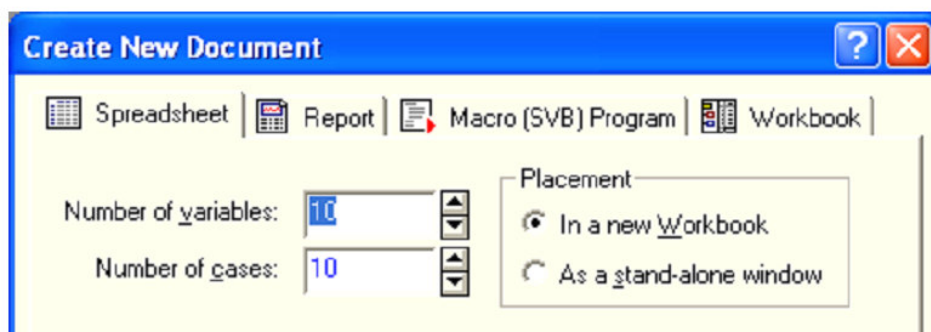
Вивчення програмного пакета STATISTICA для обробки статистичних даних

Програмний пакет STATISTICA – це могутній пакет статистичного дослідження, у якому реалізовані всі новітні комп'ютерні і математичні методи аналізу даних. Пакет зручний для керування, дані легко ввести в середовище пакета, відносно легко відредагувати, створити нові змінні.

Уведення вихідних даних. Вихідні дані в програмі STATISTICA організовані у вигляді електронних таблиць (Spreadsheets) і складаються з рядків і стовпців. Стовпці таблиці називаються Variables – Перемінні, а рядки Cases – Спостереження.

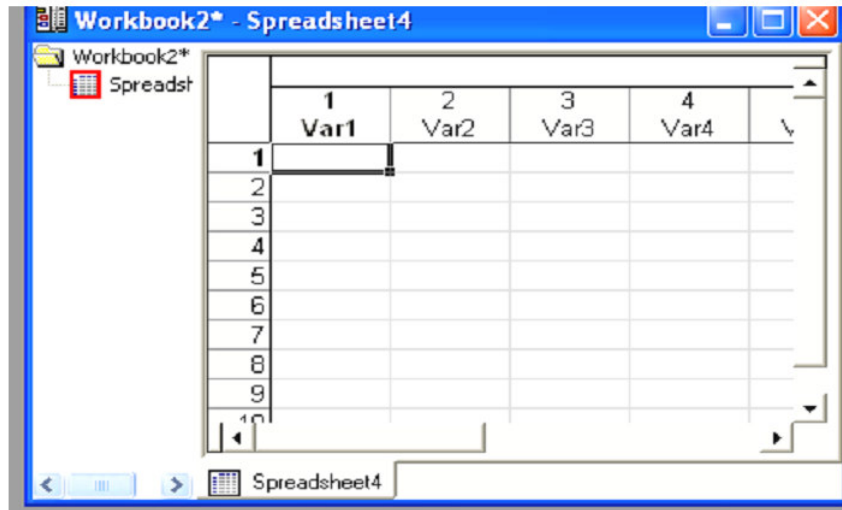
Розглянемо уведення вихідних даних на прикладі версії StatSoft Statistica v.6.0. Вихідні дані можна вводити безпосередньо в пакеті зі створенням файлів вихідних даних у форматі*. stw чи імпортувати дані з інших систем, наприклад, з програми MS Excel.

Для безпосереднього уведення вихідних даних можна використовувати команду File → New, після чого відкривається вікно Create New Document, де на вкладці Spreadsheet задається число рядків і стовпців.

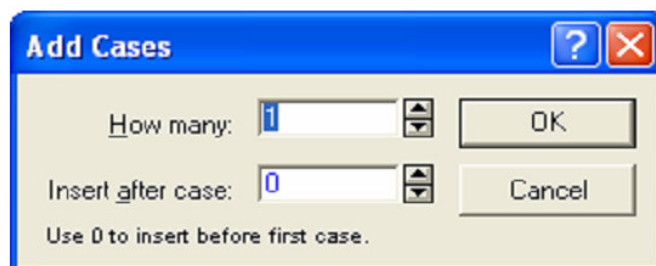


Після клацання по кнопці ОК відкривається вікно Workbooks – Spreadsheet з електронною таблицею, уведення даних у яку здійснюється так само, як і в додатку Excel.

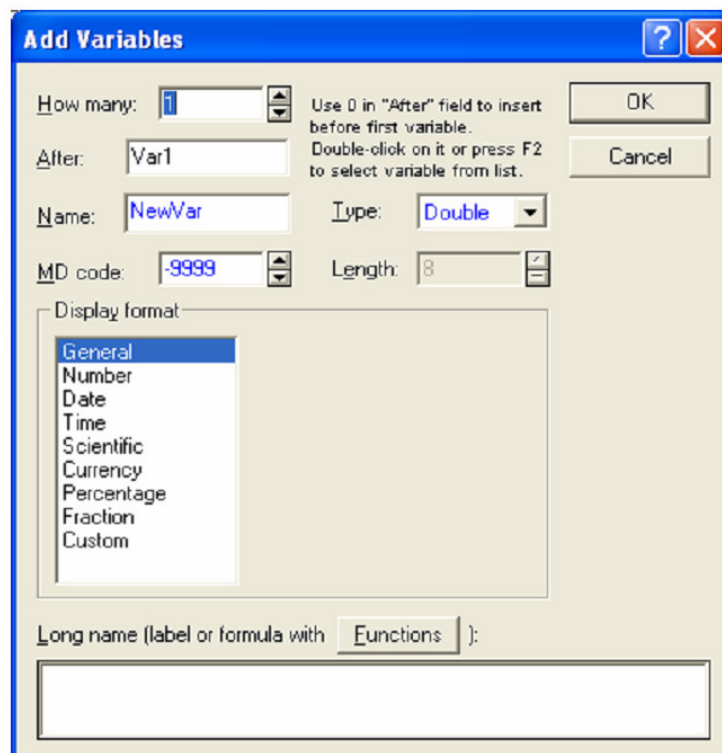
Можна збільшити кількість, перемістити, копіювати, видалити як рядки, так і стовпці цієї таблиці, для чого використовуються команди DATA → cases чи DATA → vars. Після вибору команди DATA → cases → Add на екрані виникне меню, що пропонує наступний вибір: Add...(додати), move...(перемістити), copy...(копіювати), Delete...(видалити).



Після вибору, наприклад, Add, з'являється вікно Add Cases, що дозволяє вказати після якого рядка скільки додається рядків.

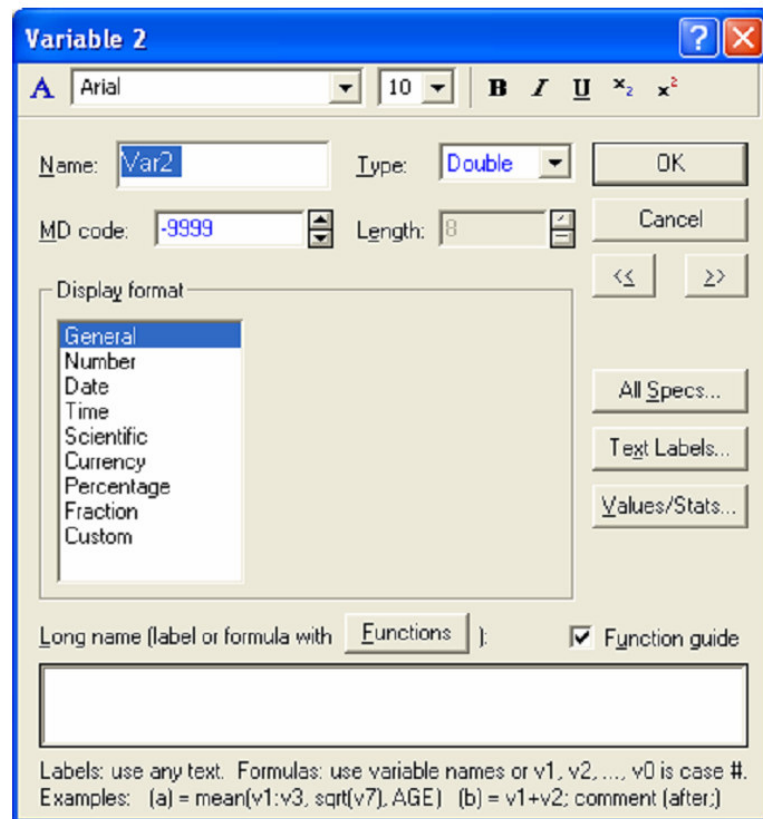


Вибір DATA → vars → Add приводить до появи вікна Add Variables, що дозволяє вказати після якого стовпця скільки додається стовпців, ім'я, тип і формат перемінних у стовпці.



Для того щоб описати перемінну, необхідно двічі клацнути мишею по її імені– наприклад, після клацання по заголовку перемінної2 (VAR2) відкриється вікно Variable2, у якому можна задати її ім'я(чи перейменувати), задати вид і розмір шрифту для цього імені, тип і формат перемінної і т. п.

Для введення заголовка таблиці необхідно двічі клацнути лівою кнопкою миші по порожньому полю вище назв стовпців, і після появи курсору ввести потрібний заголовок. Наприклад, результати вимірів коеф. підсилення.



	1	2	3	4	V
	Var1	Var2	Var3	Var4	
1	0,972				
2	0,976				
3	0,972				
4	0,976				
5	0,959				
6	0,966				
7	0,976				
8	0,968				
9	0,968				
10	0,966				

Аналогічно, після подвійного клацання лівою кнопкою миші по номеру рядка вводиться і потрібна для нього назва. Наприклад, для 2-го рядка введемо 2-вимір

	Результаты измер	
	1 Var1	2 Var2
1	0,972	
2-ое измерение	0,976	
3	0,972	
4	0,976	

Оскільки пакет STATISTICA є звичайним Windows-додатком, можна легко і швидко імпортувати дані, отримані в системі STATISTICA, в Інший Windows-додаток, наприклад у MS Word, Excel.

Найкраще зробити це в такий спосіб: натисніть одночасно Кнопки ALT і F3. На екрані замість курсору миші з'явиться значок «приціл». Використовуючи мишу, помістіть приціл у верхній лівий кут таблиці. Потім натисніть ліву кнопку миші, зафіксуйте приціл і, утримуючи кнопку миші, перемістіть приціл у потрібне для копіювання місце таблиці. Виділена частина таблиці буде відзначена прямокутною заштрихованою рамкою. Після того, як ви відпустите кнопку миші, відзначена частина таблиці буде поміщена в буфер обміну. Якщо тепер відкрити потрібний документ якого-небудь Office-додатка, то обраний сегмент таблиці буде знаходитися в буфері обміну і може бути скопійований. Результат копіювання частини таблиці в MS Word показаний нижче.

4	0,976
5	0,959
6	0,966
7	0,976
8	0,968

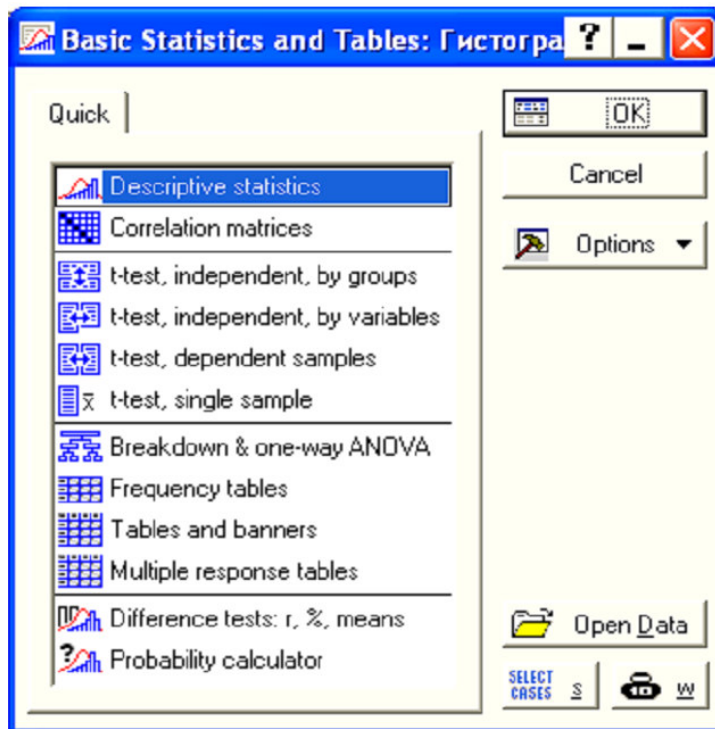
Після закінчення введення даних і закриття таблиці при відповіді «так», на запит про необхідність збереження файлу з даними з'являється вікно Save As, за допомогою якого задається ім'я і шлях до файлу. Файл зберігається у форматі*. stw.

Розрахунок статистичних характеристик і побудова гістограми визначаються процедурою, що складається з наступних кроків.

Крок1. Ввести чи імпортувати(наприклад, з Excel) вихідні в робочу книгу (Workbook) системи STATISTICA.

Крок2. Виділити стовпець із уведеними чи імпортованими даними, для якого необхідно розрахувати статистичні характеристики і побудувати гістограму. При необхідності можна змінити назву стовпця.

Крок3. Клацнути по кнопці Start menu..., розташованій в лівому нижньому куті вікна додатка й у меню, що з'явилося, вибрати Statistics → Basic Statistics and Tables → Descriptive Statistics.



Крок4. Необхідні статистичні характеристики(описові статистики) задаються у вікні Descriptive Statistics на вкладці Advanced (рис. 4.3).

Крок5. Для побудови таблиці з абсолютними і відносними частотами попадання даних в автоматично обраний інтервал і гістограми використовуються кнопки Frequency table, Histograms на вкладку Quick вікна Descriptive Statistics (рис. 4.4).

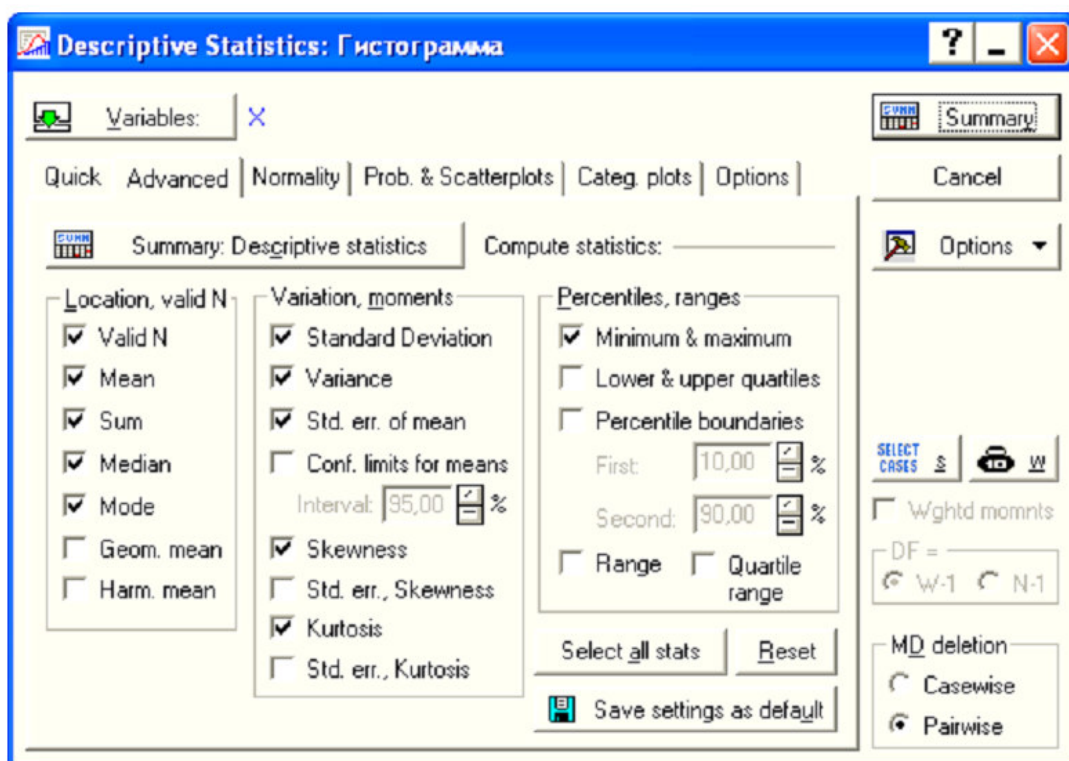


Рисунок 4.3. Вкладка Advanced вікна Descriptive Statistics

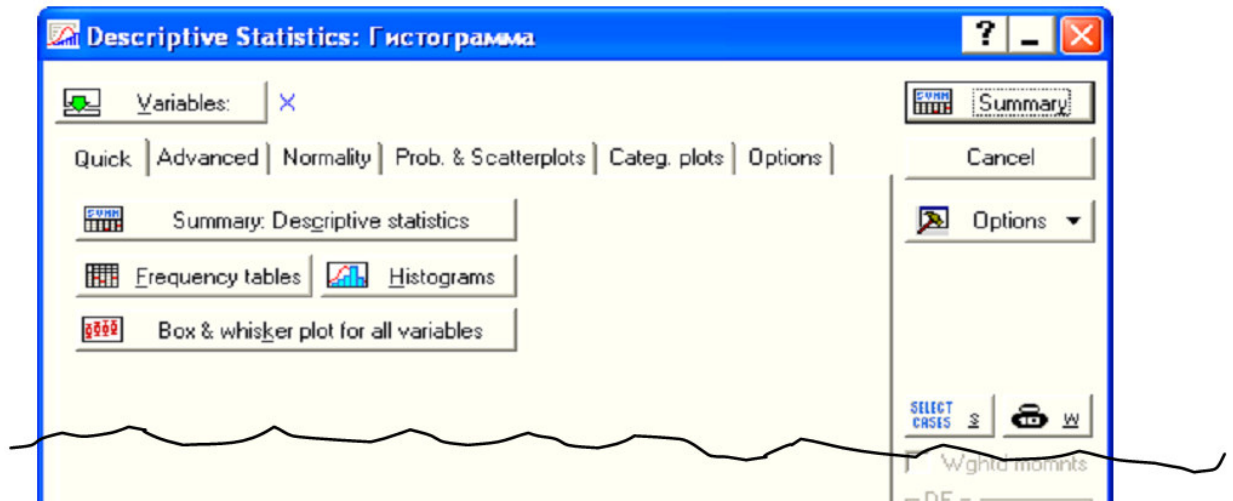


Рисунок 4.4. Вкладка Quick вікна Descriptive Statistics

Приклад 4.3. Для прикладу виконаємо початкову статистичну обробку для вихідних даних з табл. 4.3. Вихідні дані імпортовані з таблиці Excel попереднього прикладу.

Статистичні характеристики – середнє арифметичне (Mean), медіана (Median), дисперсія (Variance), стандартне відхилення (Std. Dev.), асиметрія (Skewness), ексцес (Kurtosis) наведені на рис. 4.5. Таблиця частот і гистограма, отримані за технологією початкової статистичної обробки (модуль Basic Statistics and Tables → Descriptive Statistics) пакета STATISTICA, приведені на рис. 4.6, 4.7.

* - Descriptive Statistics (Spreadsheet6 in Workbook4)							
Descriptive Statistics (Spreadsheet6 in Workbook4)							
Variable	Valid N	Mean	Median	Variance	Std.Dev.	Skewness	Kurtosis
Var1	100	916,4860	923,3000	9261,327	96,23579	-0,327278	-0,061809

Рисунок 4.5. Статистичні характеристики

Frequency table: X (Гистограмма)						
K-S d=.04776, p> .20; Lilliefors p> .20						
Category	Count	Cumulative Count	Percent of Valid	Cumul % of Valid	% of all Cases	Cumulative % of All
600,0000 < x <= 700,0000	3	3	3,00000	3,0000	3,00000	3,0000
700,0000 < x <= 800,0000	8	11	8,00000	11,0000	8,00000	11,0000
800,0000 < x <= 900,0000	32	43	32,00000	43,0000	32,00000	43,0000
900,0000 < x <= 1000,000	38	81	38,00000	81,0000	38,00000	81,0000
1000,000 < x <= 1100,000	17	98	17,00000	98,0000	17,00000	98,0000
1100,000 < x <= 1200,000	2	100	2,00000	100,0000	2,00000	100,0000
Missing	0	100	0,00000		0,00000	100,0000

Рисунок 4.6. Таблиця частот

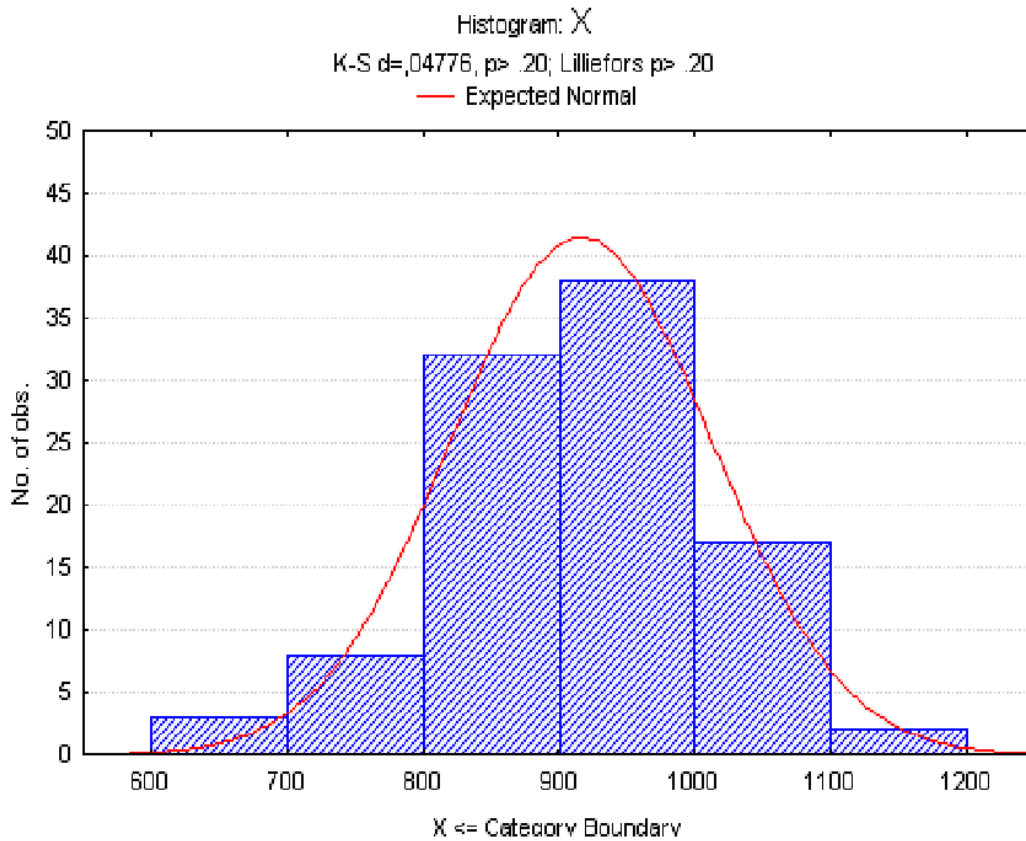


Рисунок 4.7. Гістограма з нормально-розподіленими результатами вимірювань

На підставі значення $d=0,4776$, наведеного на гістограмі(рис. 4.7) для критерію Колмогорова-Смірнова (K-S), визначимо розрахункове значення цього критерію по формулі:

$$\lambda_{\text{розн.}} = \frac{6 \cdot n \cdot d + 1}{6 \cdot \sqrt{n}}$$

І одержимо розрахункове значення критерію $\lambda_{\text{розн.}}=0,4166$.

Теоретичне значення критерію Колмогорова-Смірнова для рівня значимості $\alpha=0,05$ дорівнює $\lambda_{\text{розн.}}=0,909$. Розраховане значення критерію менше теоретичного, що дозволяє зробити висновок, що результати вимірювань, відображені у наведеній гістограмі(рис. 4.7) відповідають нормальному закону розподілу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бичківський Р. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація: Підручник/ Р. Бичківський, П. Столяр-чук, П. Гамула; За ред. Р. Бичківського. – Львів; К. : Вид-во Національного ун-у«Львівська політехніка», 2004. – 559 с.
2. Боровиков В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере(+CD). Для профессионалов: / В. Боровиков. – 2-е изд., СПб: Питер, 2004. – 688 с.
3. Поліщук Є. Метрологія та вимірювальна техніка. – Львів, 2003. – 544 с.