

## **МЕТОД БАГАТОКРАТНОЇ КОІНЦИДЕНЦІЇ ПАКЕТІВ ІМПУЛЬСІВ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ У ФАЗОМЕТРИЧНИХ ПРИСТРОЯХ ПІДВИЩЕНОЇ ТОЧНОСТІ**

*Суттєвим недоліком ноніусних методів та класичного методу коінциденції, які застосовуються для вимірювання фазових зсувів сигналів є необхідність зміни тривалості імпульсів при зміні частоти вхідних сигналів. Для усунення обмежень на тривалість імпульсів ноніусних методів запропоновано використати новий метод багатократною коінциденції пакетів імпульсів цифрових сигналів.*

*Ключові слова: фазові вимірювання, імпульси, метод коінциденції.*

I.V. HULA  
Khmel'nitsky national university

### **MULTICOINCIDENCE METHOD OF PHASE MEASURING FOR PHASE MEASURING DEVICES WITH HIGH ACCURACY**

*A significant drawback of nonius methods used to measure the phase shifts of the signals is a need to change the pulse duration at the frequency of the input signals. To eliminate restrictions on the pulse duration nonius methods proposed to use a new method of pulses coincidence packets of digital signals.*

*Keywords: phase measurement pulses coincidence method.*

**Метою роботи** є розробка методу вимірювання фазових зсувів сигналів, який усуває обмеження на тривалість імпульсів ноніусних методів і який може бути використано в фазометричних пристроях підвищеної точності.

#### **Проблеми дослідження**

На даний час фазові методи вимірювання знайшли широке застосування в пристроях фазових радіонавігаційних систем (ФРНС). В пристроях ФРНС використовуються різні методи визначення фази, такі як: електронно-лічильний метод визначення фазових зсувів сигналів без перетворення частоти (на частоті до 1МГц), з перетворенням частоти (на частотах вище 1МГц), ноніусні методи вимірювання (однократні та багатократні).

Електронно-лічильний метод має ряд недоліків: при підвищенні точності різко зростають вимоги до швидкодії елементів схеми (зокрема лічильників імпульсів), також зростає час вимірювання. Застосування ноніусних методів вимірювання [1,3] дозволяє усунути частково цю проблему вимірювання. Ноніусні методи дозволяють підвищити точність вимірювання фазових зсувів сигналів при використанні тієї ж самої елементної бази. Крім того, метод ноніусу дозволяє забезпечити високу точність вимірювання при використанні опорних частот близьких до частот вхідних сигналів. Крім того, застосування принципу ноніусних вимірювань дозволяє значно зменшити тривалість одного циклу вимірювання [1, 4].

Але ноніусні методи мають і свої недоліки. Основними недоліками ноніусних методів є необхідність зміни тривалості імпульсів при зміні частоти вхідних сигналів. Тобто зі збільшенням частоти вхідних сигналів необхідно зменшувати тривалість імпульсів опорної частоти, що ускладнює застосування даних методів на частотах вище 1 МГц. В даному випадку потрібні імпульси нано- та пікосекундної тривалості. Забезпечення стабільності тривалості цих імпульсів достатньо важко реалізувати апаратно.

Для усунення обмежень на тривалість імпульсів відомих ноніусних методів запропоновано використати новий метод вимірювання, що базується на використанні багатократною коінциденції пакетів імпульсів цифрових сигналів.

#### **Основний розділ**

Похибка вимірювання фазових зсувів сигналів в методах одношкального ноніуса, багатощкального ноніуса та класичного методу коінциденції залежить від співвідношення між періодами вхідного і опорних сигналів.

Для одношкального ноніуса і класичного методу коінциденції [1, 5]:

$$\begin{cases} T_n \equiv T_k = \left(1 - \frac{1}{36 \cdot 10^k}\right) T_x; \\ \tau_n \equiv \tau_k = \frac{1}{36 \cdot 10^k} T_x \end{cases}, \quad (1)$$

де  $k$  – коефіцієнт точності вимірювання, значення вибирається виходячи з наступної залежності: при точності в  $1^\circ$ ,  $k = 1$ , при точності в  $0,1^\circ$ ,  $k = 2$  і т.д.;

$T_x$  – період вхідного сигналу;

$T_n, T_k$  – період опорного сигналу для методу ноніусу та коінциденції, відповідно;

$\tau_n, \tau_k$  – тривалість імпульсів.

Для багатозначного ноніуса використовується розділення визначення періодів опорних сигналів для кожного з розрядів, що оцінюється. Наприклад, для 3-х розрядів система рівнянь складе [1]:

$$\begin{cases} T_{\text{он}1} = \frac{26}{36} T_x; \\ T_{\text{он}2} = \frac{35}{36} T_x; \\ T_{\text{он}3} = \frac{35,9}{36} T_x, \end{cases} \quad \begin{cases} \tau_{\text{он}1} = \frac{10}{36} T_x; \\ \tau_{\text{он}2} = \frac{1}{36} T_x; \\ \tau_{\text{он}3} = \frac{1}{360} T_x, \end{cases} \quad (2)$$

де  $T_{\text{он}1}, T_{\text{он}2}, T_{\text{он}3}$  - періоди опорних сигналів для кожного розряду;

$\tau_{\text{он}1}, \tau_{\text{он}2}, \tau_{\text{он}3}$  - тривалості імпульсів для кожного розряду.

Потенційна розрізнявальна здатність в методі коінциденції, так само як і в ноніусному методі визначається з наступного співвідношення, що зв'язує період вхідного сигналу та різницю періодів між вхідним та опорним сигналом:

$$\Delta\varphi_{\text{ном}} = \frac{360 \cdot \Delta\tau}{T_x} = 360 \cdot \Delta\tau \cdot f_x, \quad (3)$$

де  $\Delta\tau = |T_x - T_0|$  - співвідношення між періодами вхідного і опорного сигналів,  $f_x$  - частота вхідного сигналу.

Вираз (3) і є основною проблемою для високочастотних вимірювачів кутів зсуву фази за відомим ноніусним методом. Як видно, при зростанні вхідної частоти зменшення  $\Delta\tau$  при сталому значенні  $\Delta\varphi_{\text{ном}}$  є неминучою. Але зменшення різниці вимагає використання високошвидкісної та високостабільної цифрової елементної бази. А, як було вказано вище, зменшення  $\Delta\tau$  одночасно і означає таке ж зменшення тривалості імпульсів. Генератор опорних імпульсів має формувати все менш коротші імпульси.

Щоб досягнути необхідної розрізнявальної здатності у методах одношкального, багатозначного ноніуса та класичному методі коінциденції, потрібно виконання наступної умови:

$$\tau_n \equiv \tau_{\text{он}} \equiv \tau_k \equiv \Delta\tau \quad (4)$$

де  $\Delta\tau = |T_x - T_n|$  – співвідношення між періодами вхідного і опорного сигналів.

Вираз (4) визначає, що тривалість імпульсів має дорівнювати різниці між періодами вхідного і опорного сигналів. Із зростанням частоти вхідного сигналу, тривалість має зменшуватись.

В таблиці 1 приведені значення тривалості імпульсів  $\Delta\tau$ , яка необхідна для забезпечення необхідної розрізнявальної здатності на різних частотах.

Таблиця 1

**Необхідна тривалість імпульсів при використанні ноніусних методів та класичного методу коінциденції**

Частота	Тривалість імпульсів опорного генератора (секунди) при мінімальній похибці вимірювання кута зсуву фази (градуси)						
	До 10°	До 5°	До 1°	до 0,1°	До 0,01°	До 0,001°	до 0,0015°
1кГц	$2,77 \times 10^{-5}$	$1,385 \times 10^{-5}$	$2,77 \times 10^{-6}$	$2,77 \times 10^{-7}$	$2,77 \times 10^{-8}$	$2,77 \times 10^{-9}$	$1,385 \times 10^{-9}$
10кГц	$2,77 \times 10^{-6}$	$1,385 \times 10^{-6}$	$2,77 \times 10^{-7}$	$2,77 \times 10^{-8}$	$2,77 \times 10^{-9}$	$2,77 \times 10^{-10}$	$1,385 \times 10^{-10}$
100кГц	$2,77 \times 10^{-7}$	$1,385 \times 10^{-7}$	$2,77 \times 10^{-8}$	$2,77 \times 10^{-9}$	$2,77 \times 10^{-10}$	$2,77 \times 10^{-11}$	$1,385 \times 10^{-11}$
500кГц	$5,55 \times 10^{-8}$	$2,775 \times 10^{-8}$	$5,55 \times 10^{-9}$	$5,55 \times 10^{-10}$	$5,55 \times 10^{-11}$	$5,55 \times 10^{-12}$	$2,775 \times 10^{-12}$
1МГц	$2,77 \times 10^{-8}$	$1,385 \times 10^{-8}$	$2,77 \times 10^{-9}$	$2,77 \times 10^{-10}$	$2,77 \times 10^{-11}$	$2,77 \times 10^{-12}$	$1,385 \times 10^{-12}$
10МГц	$2,77 \times 10^{-9}$	$1,385 \times 10^{-9}$	$2,77 \times 10^{-10}$	$2,77 \times 10^{-11}$	$2,77 \times 10^{-12}$	$2,77 \times 10^{-13}$	$1,385 \times 10^{-13}$

Отже, у методах одношкального, багатозначного ноніуса та класичному методі коінциденції є принципова проблема, яка пов'язана з тим, що зі збільшенням частоти вхідних сигналів нам потрібно формувати імпульси меншої тривалості для забезпечення необхідної нам розрізнявальної здатності. В ноніусних вимірювачах для цього використовуються формувачі імпульсів ноніусної послідовності, які змінюють тривалість імпульсів відповідно до частоти вхідних сигналів [1, 5]. На сучасній елементній базі досить важко сформувати імпульси з нано та піко секундною тривалістю, а отже методи одношкального, багатозначного ноніуса та класичний метод коінциденції можна застосовувати в обмеженому частотному діапазоні.

**Розв'язок проблеми**

Для усунення недоліків ноніусних методів та класичного методу коінциденції та усунення обмеження та тривалість імпульсів запропоновано використати метод, що базується на принципах методу коінциденції, але на відміну від класичного методу коінциденції запропоновано використати багатократну

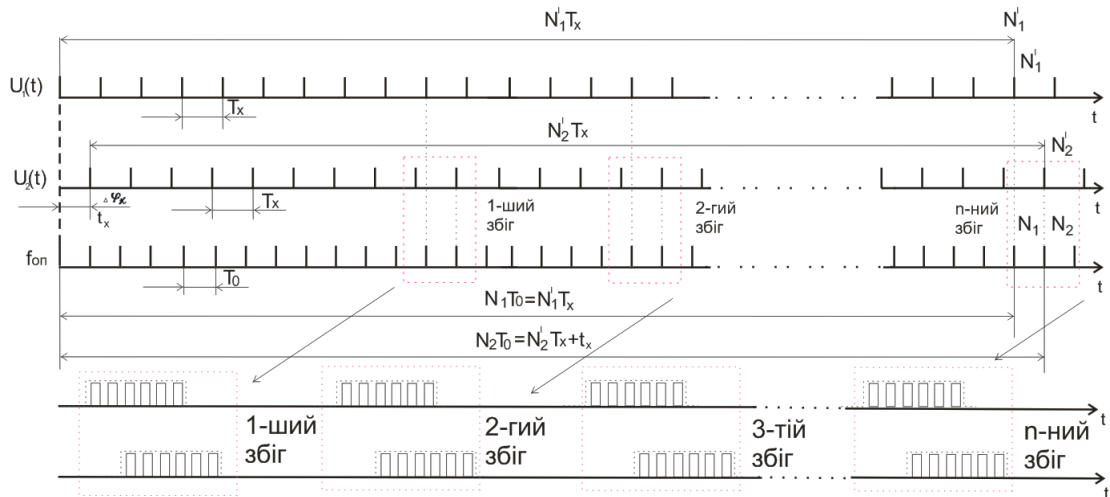


Рис.1. Метод багатократної коінциденції пакетів імпульсів

У методі багатократної коінциденції пакетів імпульсів використовується багатократність збігів імпульсів. Другою ключовою особливістю є використання співпадіння вже не по імпульсам, а по пакетах імпульсів, що дозволяє використовувати тривалість імпульсів на декілька порядків більшу ніж у ноніусних методах вимірювань та класичному методі коінциденції, тобто необхідно забезпечити виконання умови:

$$\tau_{\text{бкні}} \gg \tau_{\text{к}} \cdot \quad (5)$$

де  $\tau_{\text{бкні}}$  - тривалість імпульсів у методі багатократної коінциденції пакетів імпульсів.

Тривалість імпульсів для вдосконаленого методу коінциденції буде визначатись з наступного виразу:

$$\frac{T_0}{2} > \tau_{\text{бкні}} \geq \frac{1}{36 \cdot 10^k} T_x \quad (6)$$

де  $T_0$  – період опорного сигналу (рис.1).

З виразу (6) слідує, що метод багатократної коінциденції пакетів імпульсів надає можливість встановлення тривалості імпульсів значно більшої ніж потрібна для класичного методу коінциденції. Як наслідок, не потрібно постійно змінювати тривалість імпульсів при зміні частоти вхідних сигналів. Тобто частота опорного генератора може бути встановлена постійно.

А оскільки має місце багатократність співпадінь, то ефективна тривалість імпульсів співпадінь починає зменшуватись в кількість раз співпадінь:

$$\tau_{\text{еф}} = \frac{\tau_{\text{бкні}}}{N_{\text{бкні}}}, \quad (7)$$

де  $N_{\text{бкні}}$  – кількість збігів (рис. 1)

При зростанні  $N_{\text{бкні}} \rightarrow \infty$ ,  $\tau_{\text{еф}} \rightarrow 0$ , а враховуючи вираз (3), потенційна похибка вимірювання кута зсуву фази також наближається до нуля. З практичної точки зору зрозуміло, що досягнення  $N_{\text{бкні}} \rightarrow \infty$  вимагатиме безмежно великого часу, що є непрактично.

Час вимірювання можна визначити як:

$$T = N_{\text{бкні}} \times t_{\text{сп}}, \quad (8)$$

де  $t_{\text{сп}}$  – час між співпадіннями.

Тому, для практичного застосування методу багатократної коінциденції з виразу (8) можна визначити кількість збігів, а з виразу (7) та (3) відповідно – потрібну точність та необхідне відношення між частотою вхідного та опорного сигналів.

В таблиці 2 приведено значення тривалості імпульсів  $\tau_{\text{бкні}}$ , яка рекомендована для забезпечення необхідної розрізняльної здатності на різних частотах при використанні методу багатократної коінциденції пакетів імпульсів.

На рисунку 2 показаний результат вимірювання на лабораторному стенді при вхідній частоті 1 МГц та опорній частоті 1,002004 МГц (відповідні тривалості імпульсів – 10 нс, 50 нс, 200 нс), при встановленому зсуві фаз 9,36°.

**Рекомендована тривалість імпульсів при використанні методу багатократної коінциденції пакетів імпульсів**

Частота	Тривалість імпульсів опорного генератора (секунди) при мінімальній похибці вимірювання кута зсуву фази (градуси)						
	До 10°	До 5°	До 1°	до 0,1°	До 0,01°	До 0,001°	до 0,0015°
1кГц	$>5 \times 10^{-9}$						$5 \times 10^{-9}$
10кГц	$>5 \times 10^{-9}$					$5 \times 10^{-9}$	
100кГц	$>5 \times 10^{-9}$				$5 \times 10^{-9}$		
500кГц	$>5 \times 10^{-9}$			$5 \times 10^{-9}$			
1МГц	$>5 \times 10^{-9}$		$5 \times 10^{-9}$				
10МГц	$>5 \times 10^{-9}$		$5 \times 10^{-9}$				

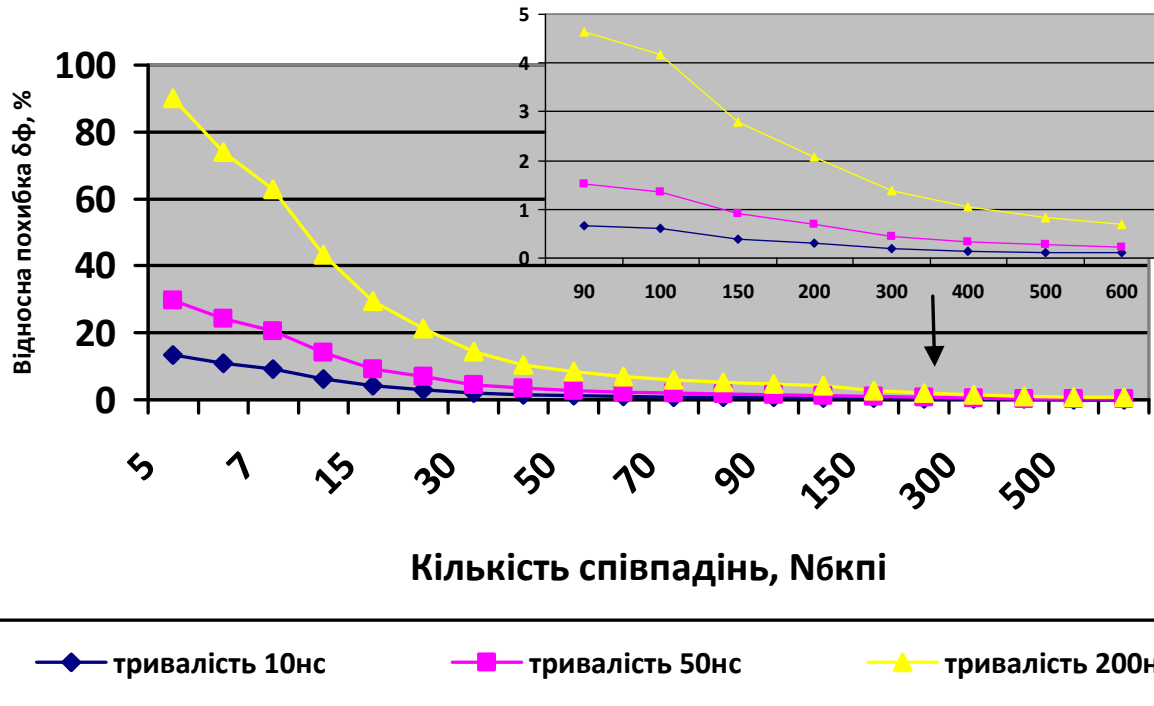


Рис. 2. Зміна відносної похибки в часі в залежності від кількості співпадінь (вимірювання проведено для частоти вхідного сигналу 1МГц)

З рисунку 2 видно чітко зменшення відносної похибки вимірювання кута зсуву фази із збільшенням кількості співпадінь. У верхньому правому куті рис.2 показано, що при зростанні кількості співпадінь до рівня 300-600, похибка вимірювання складає менше 0,3°. Збільшення кількості імпульсів веде до подальшого зменшення похибки.

**Висновок**

1. Вперше розроблено метод вимірювання кута зсуву фази для фазометричних систем та пристроїв, що полягає у використанні багатократної коінциденції пакетів імпульсів вимірювальних сигналів із опорним, який дозволив усунути принципове обмеження на тривалість імпульсів співпадіння ноніусних методів та класичного методу коінциденції.

2. Встановлено, що метод багатократної коінциденції пакетів імпульсів володіє потенційною можливістю зменшення похибки вимірювання кута зсуву фази до нуля. Таке зменшення вимагає безмежно великої кількості збігів, що з практичної точки зору є неможливим. Проте, дозволяє виконувати вимірювання кута зсуву фази із застосуванням єдиного генератора фіксованої опорної частоти.

3. Визначено, що метод багатократної коінциденції пакетів імпульсів дозволяє визначити для практичної реалізації при обмеженому часі вимірювання та максимально допустимому рівні похибки вимірювання кута зсуву фази встановити допустиме співвідношення між частотою генератора опорного сигналу та сигналом вхідної частоти.

**Література**

1. Богородицкий А.А Нониусные аналогово-цифровые преобразователи / А.А Богородицкий, А.Г.

Рижевский. – М. : "Энергия", 1975. – 250 с.

2. Астафьев Г.П. Радионавигационные устройства и системы/ Г.П. Астафьев, В.С. Шебшаевич, Ю.А. Юрков Изд-во. «Советское радио», 1958.

3. Чмых М.К. Цифровая фазометрия / М.К. Чмых. – М.: Радио и Связь, 1993. – 184с.

4. Горященко, К. Л. Вимірювач кута фазових зсувів за методом коінцидентії / К. Л. Горященко, І. В. Гула // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія: Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2013. – Вип. 53. – С. 74–81

5. Гула І.В. Дослідження оптимальної структури автоматизованого вимірювача фази сигналів на основі принципу коінцидентії / І.В. Гула // Вісник ХНУ. – Технічні науки. – 2013. - №4. – С. 230-232.

#### References

1. Bogorodyczk`j A.A Nonyusnye analogovo-cyfrovye preobrazovateli / A.A Bogorodyczkij, A.G. Ryzhevskij. – М. : "Энергия", 1975. – 250 s.

2. Astafev G.P. Radyonavygacyonnye ustrojstva y systemy/ G.P. Astafev, V.S. Shebshaevych, Yu.A. Yurkov Yzd-vo. «Sovetskoe rad`o», 1958.

3. Chmukh M.K. Tsyfrovaia fazometryia. – М.: Radyo y Sviaz, 1993. – 184s.

4. Horiashchenko, K. L. Hula I. V. Vymiriuvach kuta fazovykh zsuviv za metodom kointsydentsii. Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «Kyivskiy politekhnichnyi instytut». Seria: Radiotekhnika. Radioaparotobuduvannia. – 2013. – Vyp. 53. – S. 74–81

5. Hula I.V. Doslidzhennia optymalnoi struktury avtomatyzovanoho vymiriuvacha fazy syhnaliv na osnovi pryntsypu kointsydentsii. Visnyk KhNU. – Tekhnichni nauky. – 2013. - #4. – S. 230-232.

Рецензія/Peer review : 26.09.2013 р. Надрукована/Printed :6.12.2013 р.

Рецензент: Троцишин І.В., д.т.н., проф. кафедри ТЕЗ  
Одеської національної академії зв'язку імені А.С. Попова.

**УДК 004.415.538**

**Ю.В. ПОРЕМСЬКИЙ, О.В. ВАСЬКОВСЬКИЙ, А.С. СОТНІКОВА**

Вінницький національний технічний університет

## **ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ВЕЛИКОЮ КІЛЬКІСТЮ ВХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ**

*Запропоновано новий метод тестування програмного забезпечення, що дозволяє зменшити кількість тест кейсів, які повинні бути створені та виконані. Це в рівній мірі може бути застосовано для unit, інтеграційного та системного тестування, а також тестування прийому.*

*Ключові слова: програмне забезпечення(ПЗ), тестування, специфікація, тест-план, тест кейс, попарне тестування, баг.*

Y.V. POREMSKY, A.V. VASKOVSKY, A.S. SOTNIKOVA

Vinnitsia national technical university

### **OPTIMIZATION OF TESTING PROCESS FOR SOFTWARE WITH BIG NUMBER OF INPUT PARAMETERS**

*Proposed a new method of software testing which allows to reduce number of test cases, that should be created and passed. This can be used for unit, integration, system and acceptance testing.*

*Key words: software (SW), testing, specification, test-plan, test case, pairwise testing, bug.*

#### **Постановка задачі**

Незважаючи на безліч існуючих визначень, тестування в своїй основі є процесом зіставлення “того, що є” з “тим, що має бути” [1]. Більш формальне визначення дається стандартом IEEE Standard 610.12-1990, “IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology” [2], який визначає “тестування” як:

“процес оперування системою або компонентом у визначених умовах, спостереження або запису результатів, та проведення аналізу деякого аспекту системи чи компоненту”.

В свою чергу «тестування» – це процес керованого експериментування з програмним продуктом за допомогою тестів, з метою виявлення в ньому помилок, тобто виявлення неточностей допущених розробниками програмного забезпечення. «Тест» – контрольна задача для перевірки коректності функціонування системи та/або програмного забезпечення [2].

Основна ідея тестування – виконати запуск ПЗ і спостерігати за його роботою (властивостями поведінки) та її результатами. У випадку, коли відбувся збій в роботі програми, виконується аналіз звіту з метою виявлення місцезнаходження помилки, яка його викликала. Зрозуміло, що вдалим тестом є той, при якому виконання програми закінчилось помилкою і навпаки. Тестування виконує дві основні задачі:

- 1) знаходження і усунення помилок в ПЗ;
- 2) демонстрація якості функціонування ПЗ.
- 3) відповідність ПЗ своїй специфікації.

В зв'язку з тим, що процес тестування ітераційний, то після виявлення і виправлення кожної