

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

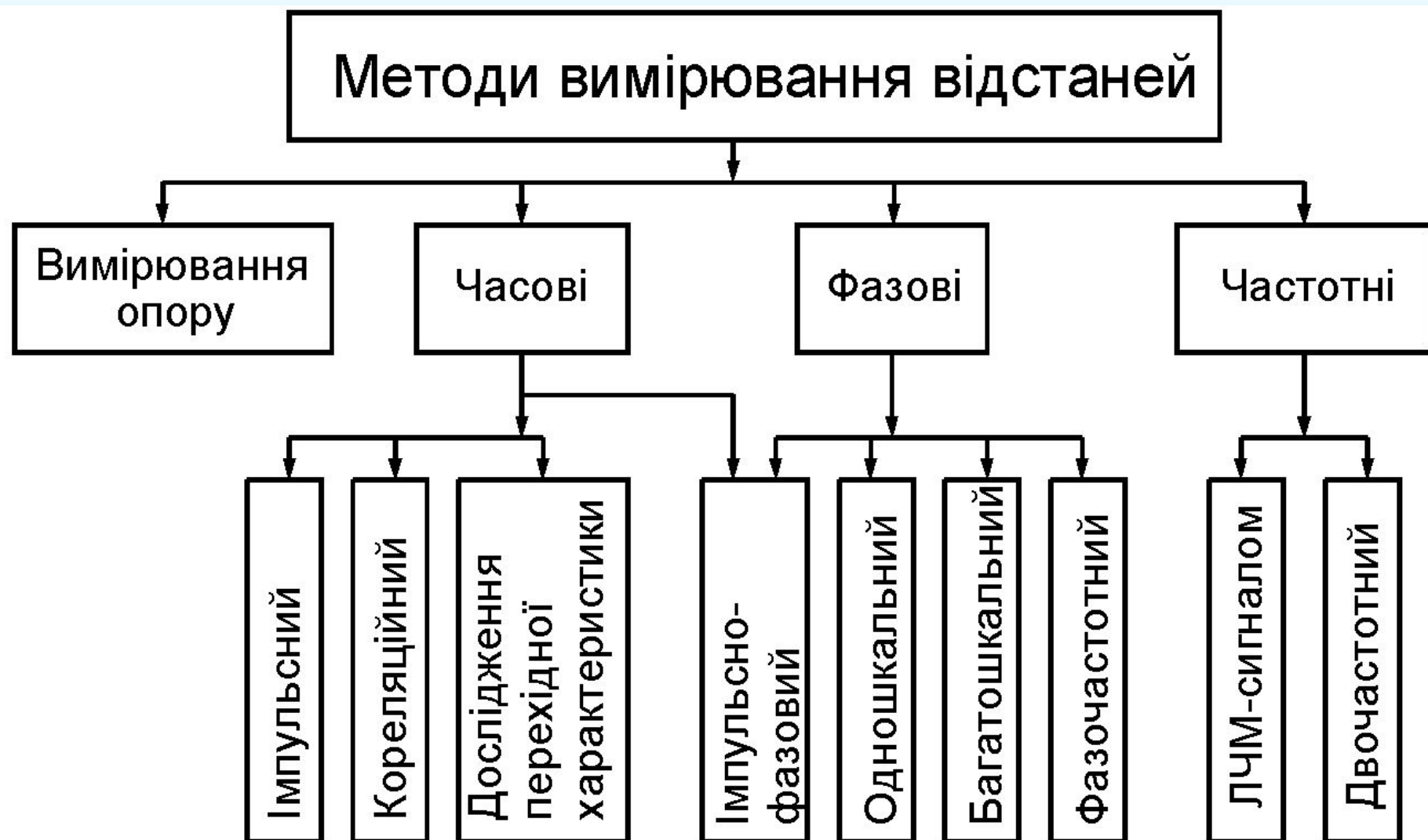
Саєць Р.В.

**ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ УЛЬТРАЗВУКОВОГО  
ЗОНДУВАННЯ МЕДИКО-БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ  
БАГАТОЧАСТОТНИМ ФАЗОВИМ МЕТОДОМ ДАЛЕКОМЕТРІЇ**

# Задачі і проблеми зондування медико-біологічних об'єктів

Метод	Характеристики			
	Точність	Вплив на біологічні об'єкти	Область застосування	Складність технічної реалізації
Ультразвукова	середня	нешкідлива	Широке застосування	низька
Радіонуклідна емісійна	низька	нешкідлива	У наукових дослідженнях	середня
Рентгенівська комп'ютерна	середня	шкідлива	Широке застосування	висока
Оптична	низька	шкідлива	Обмежено оптичнопрозорими ділянками	низька
В радіодіапазоні	низька	Мало шкідлива	Широке застосування	низька
Магнітно-резонансна	середня	шкідлива	Широке застосування	висока
Електро-імпедансна	середня	Мало шкідлива	Широке застосування	низька
Із використанням елементарних часток	висока	Мало шкідлива	Широке застосування	висока

## Класифікація методів вимірювання відстаней



**Метою дослідження** Мета роботи полягає в підвищенні точності і роздільної здатності радіотехнічних систем ультразвукової діагностики медико-біологічних об'єктів, шляхом застосування фазових методів вимірювання відстаней до багатьох об'єктів.

**Об'єкт дослідження:** процес визначення глибини біологічних тканин та їх властивостей.

**Предмет дослідження:** методи побудови багаточастотних фазових радіосистем вимірювання глибин тканин біологічних об'єктів та їх фізичних властивостей.

## ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

- провести аналіз сучасних методів діагностики медико-біологічних об'єктів, виявити їх переваги і недоліки, вказати шляхи покращення методів проведення діагностики;
- розробити новий метод отримання діагностичної інформації від медико-біологічних об'єктів, шляхом використання нових фазових методів вимірювання відстаней;
- розробити фазовий аналітичний метод вимірювання відстаней до чотирьох об'єктів;
- дослідити методичні похибки фазового аналітичного методу вимірювання відстаней;
- розробити структурні схеми приладів ультразвукової діагностики медико-біологічних об'єктів;
- дослідити інструментальні похибки розроблених структурних схем приладів ультразвукової діагностики медико-біологічних об'єктів

## Наукова новизна

**дістав подальшого розвитку** метод багаточастотного фазового вимірювання дальності, суть розвитку методу полягає у врахуванні особливостей поширення акустичних радіосигналів у тканинах медико-біологічних об'єктів (швидкість поширення сигналів, згасання), що дозволяє проводити вимірювання глибини об'єктів сигналами в обмеженому частотному діапазоні із підвищеною точністю.

**уперше** розроблено імітаційну математичну модель системи ультразвукового діагностування біологічних об'єктів із застосуванням багаточастотного фазового методу вимірювання дальності об'єктів та сигналів з довільною обвідною спектру та мінімальним пік-фактором, яка дозволяє скоротити час знаходження математичної моделі сигналу.

## ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ

- Розроблено структурні схеми систем ультразвукового діагностування біологічних об'єктів та визначення їх координат, які реалізують багаточастотний фазовий метод вимірювання дальності.
- Розроблено алгоритм роботи пристроїв вимірювання дальності радіосистеми ультразвукового діагностування біологічних об'єктів із застосуванням багаточастотного фазового методу вимірювання дальності об'єктів.

## Метод багаточастотного фазового вимірювання дальності.

$$\left\{ \begin{array}{l} a_{\Sigma r} \cdot e^{-j\varphi_{\Sigma r}} = \sum_{i=1}^N a_i \cdot e^{-j \frac{4\pi l_i}{v_n} f_r}; \\ a_{\Sigma(r+1)} \cdot e^{-j\varphi_{\Sigma(r+1)}} = \sum_{i=1}^N a_i \cdot e^{-j \frac{4\pi l_i}{v_n} (f_r + \Delta f)}; \end{array} \right. \quad (7.1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} b_r = a_{\Sigma r} \cdot e^{-j\varphi_{\Sigma r}}, \\ \end{array} \right. \quad (5.2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} b_{r+n} = a_{\Sigma r+n} \cdot e^{-j\varphi_{\Sigma r+n}}, \\ \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta_{ir} = e^{-j\varphi_{ir}}, \end{array} \right. \quad (5.3)$$

$$\Delta \Delta_i = e^{-j\Delta\varphi_i}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} a_{\Sigma(r+k)} \cdot e^{-j\varphi_{\Sigma(r+k)}} = \sum_{i=1}^N a_i \cdot e^{-j \frac{4\pi l_i}{v_n} (f_r + k\Delta f)}. \end{array} \right.$$

$$a_{1r} = \frac{b_{r+1} \cdot (-1)^N \cdot \prod_{i=2}^N \Delta \Delta_i - b_{r+N-2} \cdot \sum_{\substack{i,j,k=2 \\ i < j < k}}^N \Delta \Delta_i \cdot \Delta \Delta_j \cdot \Delta \Delta_k + b_{r+N-1} \cdot \sum_{\substack{i,j=2 \\ i < j}}^N \Delta \Delta_i \cdot \Delta \Delta_j - b_N \cdot \sum_{i=2}^N \Delta \Delta_i + b_{r+N+1}}{\Delta \Delta_1^{r+1} \cdot (\Delta \Delta_1 - \Delta \Delta_2) \cdot (\Delta \Delta_1 - \Delta \Delta_3) \cdot \dots \cdot (\Delta \Delta_1 - \Delta \Delta_N)}$$

(5.4)

$$a_{1r} = \frac{b_{r+2} \cdot (-1)^N \cdot \prod_{i=2}^N \Delta \Delta_i - b_{r+N-1} \cdot \sum_{\substack{i,j,k=2 \\ i < j < k}}^N \Delta \Delta_i \cdot \Delta \Delta_j \cdot \Delta \Delta_k + b_{r+N} \cdot \sum_{\substack{i,j=2 \\ i < j}}^N \Delta \Delta_i \cdot \Delta \Delta_j - b_{N+1} \cdot \sum_{i=2}^N \Delta \Delta_i + b_{r+N+2}}{\Delta \Delta_1^{r+2} \cdot (\Delta \Delta_1 - \Delta \Delta_2) \cdot (\Delta \Delta_1 - \Delta \Delta_3) \cdot \dots \cdot (\Delta \Delta_1 - \Delta \Delta_N)}$$

(5.5)

$$b_{r+1} \cdot \prod_{i=1}^N \Delta a_i - \mathbb{1} - b_{r+N-3} \cdot \sum_{\substack{i,j,k=1 \\ i < j < k}}^N \Delta a_i \cdot \Delta a_j \cdot \Delta a_k + b_{r+N-2} \cdot \sum_{\substack{i,j=1 \\ i < j}}^N \Delta a_i \cdot \Delta a_j - b_{r+N-1} \cdot \sum_{i=1}^N \Delta a_i = -b_{r+N+1} \quad (6.1)$$

$$y_1 = \prod_{i=1}^N \Delta a_i, \mathbb{1}, y_{N-2} = \sum_{\substack{i,j,k=1 \\ i < j < k}}^N \Delta a_i \cdot \Delta a_j \cdot \Delta a_k, y_{N-1} = \sum_{\substack{i,j=1 \\ i < j}}^N \Delta a_i \cdot \Delta a_j, y_N = \sum_{i=1}^N \Delta a_i \quad (6.2)$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N (-1)^{i+1} y_i b_i = -b_{n+1}; \\ \sum_{i=1}^N (-1)^{i+1} y_i b_{i+1} = -b_{n+2}; \\ \mathbb{1} \\ \sum_{i=1}^N (-1)^{i+1} y_i b_{i+n-1} = -b_{2n}, \end{cases} \quad (6.3)$$

$$\Delta a^N + y_1 \Delta a^{N-1} + y_2 \Delta a^{N-2} + \mathbb{1} + y_{N-1} \Delta a + y_N = 0 \quad (6.4)$$



Розв'язок рівняння (8.4) дає змогу отримати значення:

$$\varphi_{r+1} = \arctan \frac{\text{Im}(\Delta \mathcal{A}_1)}{\text{Im}(\Delta \mathcal{A}_1)} \quad \varphi_{r+2} = \arctan \frac{\text{Im}(\Delta \mathcal{A}_2)}{\text{Im}(\Delta \mathcal{A}_2)} \quad \varphi_{r+n} = \arctan \frac{\text{Im}(\Delta \mathcal{A}_3)}{\text{Im}(\Delta \mathcal{A}_3)} \quad (7.1)$$

Значення фазових зсувів дозволяють знайти дальності до кожного об'єкту:

$$l_1 = \frac{\varphi_{r+1} \nu_n}{4\pi(f_r + \Delta f)} \quad l_2 = \frac{\varphi_{r+2} \nu_n}{4\pi(f_r + 2\Delta f)} \quad l_n = \frac{\varphi_{r+n} \nu_n}{4\pi(f_r + 3\Delta f)} \quad (7.2)$$

Значення хвильового опору середовища

$$z_{s+1} = z_s \frac{1 - R_{s+1,s}}{1 + R_{s+1,s}} \quad (7.3)$$

Коефіцієнт відбиття з урахуванням згасання:

$$R_{s+1,s} = R'_{s+1,s} \cdot \prod_{i=1}^s D_{i+1,i}^{-2} \cdot e^{-2 \sum_{i=1}^s \alpha_i \Delta_{i+1,i}} \quad (7.4)$$

Коефіцієнт проходження

$$D_{s+1,s} = 1 - R_{s+1,s} \quad (7.5)$$

Уточнення дальності s-ї границі:

$$l_s = l_{s-1} + \frac{(\varphi_s - \varphi_{s-1}) \nu_s}{4\pi f} \quad (7.6)$$

Математичні вирази для знаходження похибки визначення дальності медико-біологічних об'єктів

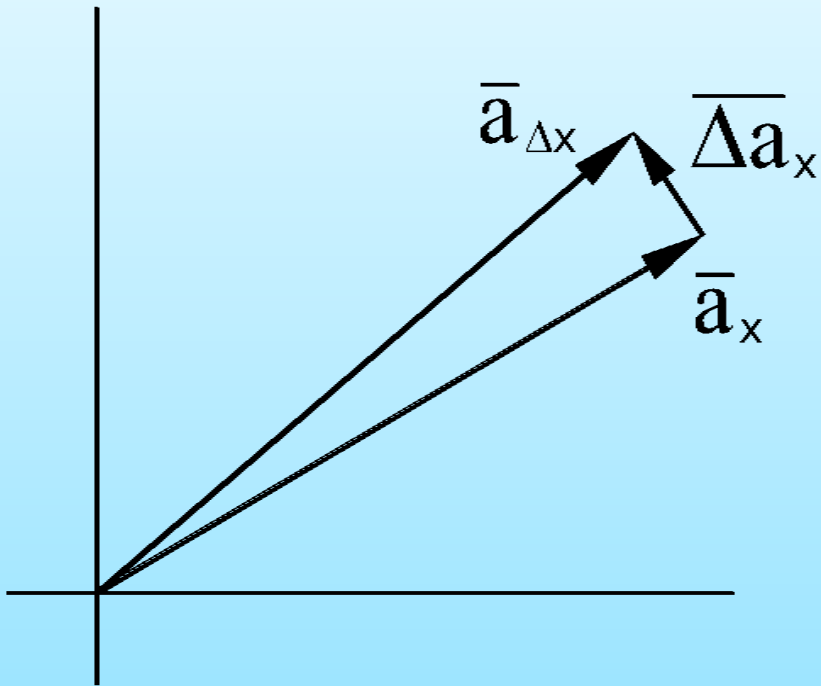


Рис. 8.1 – Утворення похибки сигналу відбитого від одного об'єкту внаслідок впливу нестабільності частоти зондуючого сигналу

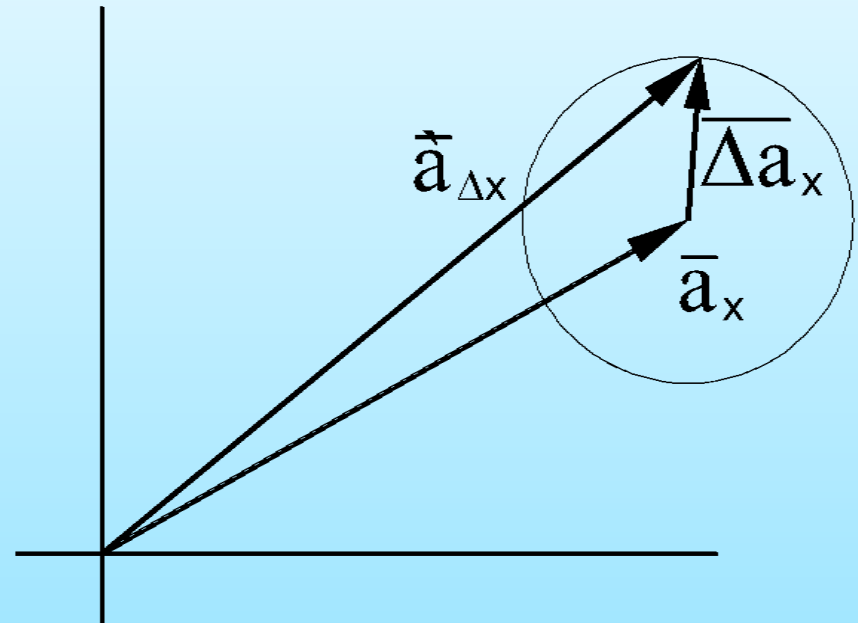


Рис. 8.2 – Утворення похибки сумарного відбитого сигналу внаслідок впливу похибок вимірювання фазового зсуву та амплітуди

$$\bar{a}_{\Sigma i} = \bar{a}_{\Sigma i} + \Delta \bar{a}_{\Sigma i} \quad (9.1)$$

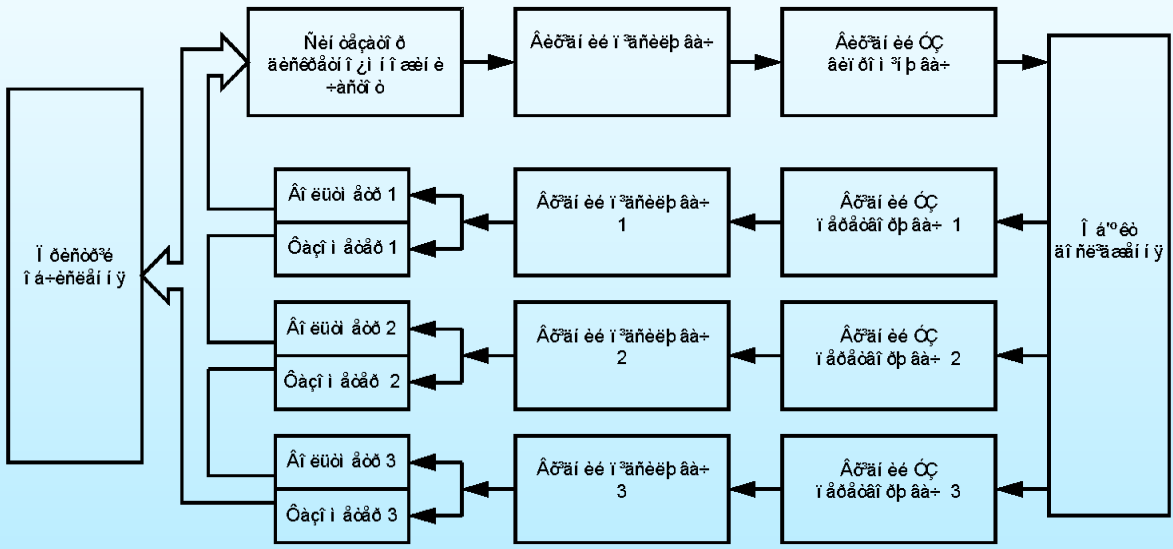
$$\mathbb{B} = \mathbb{H} \cdot \mathbb{Y} \quad (9.2)$$

$$\mathbb{B} = \begin{vmatrix} \mathbb{b}_{r+4} \\ \mathbb{b}_{r+5} \\ \mathbb{b}_{r+6} \end{vmatrix} \quad \mathbb{H} = \begin{vmatrix} \mathbb{b}_{r+1} & -\mathbb{b}_{r+2} & \mathbb{b}_{r+3} \\ -\mathbb{b}_{r+2} & \mathbb{b}_{r+3} & -\mathbb{b}_{r+4} \\ \mathbb{b}_{r+3} & -\mathbb{b}_{r+4} & \mathbb{b}_{r+5} \end{vmatrix} \quad \mathbb{Y} = \begin{vmatrix} \mathbb{y}_1 \\ \mathbb{y}_2 \\ \mathbb{y}_3 \end{vmatrix} \quad (9.3)$$

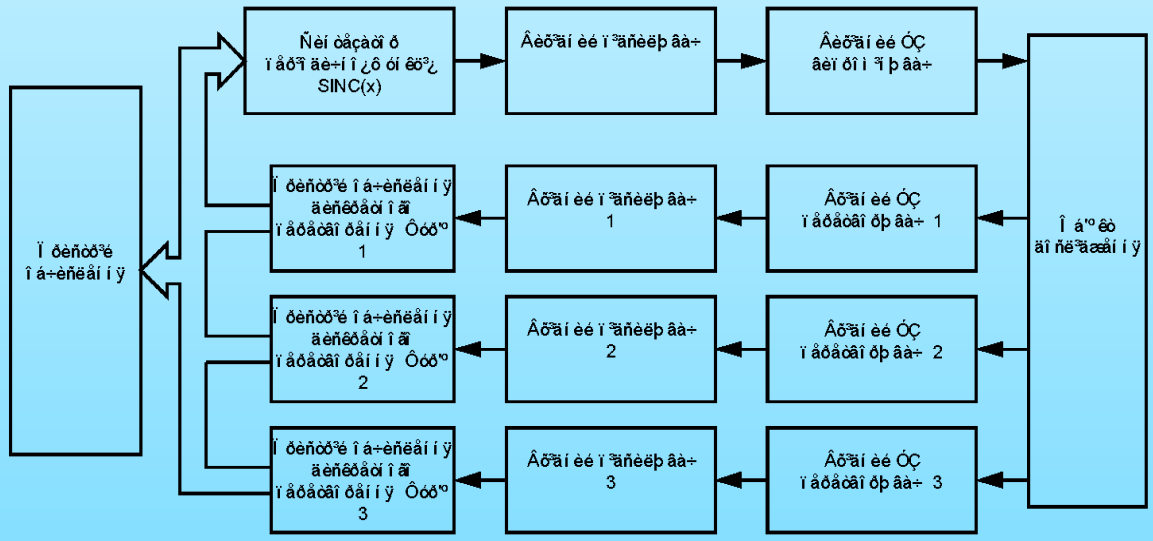
$$\delta \mathbb{Y} = \mathbb{H}^{-1} (\delta \mathbb{B} - \delta \mathbb{H} \cdot \mathbb{Y}) \quad (9.4)$$

$$\delta r = \frac{r^{n-1} \cdot \delta y_1 + \dots + r \cdot \delta y_{n-1} + \delta y_n}{n \cdot r^{n-1} + (n-1) \cdot r^{n-2} \cdot y_1 + \dots + y_{n-1}} \quad (9.5)$$

# Практична реалізація радіосистеми ультразвукового зондування об'єктів



a)



β)

Рис. 10.1 Структурні схеми радіосистем ультразвукового зондування медико-біологічних об'єктів із використанням сигналів дискретної множини частот (а) сигналу з прямокутною обвідною спектру (б)

## Загальні висновки

- > Проведено аналіз відомих методів дослідження медико-біологічних об'єктів. Найбільш поширеним є методи ультразвукового та радіолокаційного дослідження.
- > Набув подальшого розвитку метод багаточастотного фазового вимірювання дальності, суть розвитку методу полягає у врахуванні особливостей поширення акустичних радіосигналів у тканинах медико-біологічних об'єктів (швидкість поширення, згасання), що дозволяє проводити вимірювання глибини об'єктів сигналами в обмеженому частотному діапазоні із підвищеною точністю.
- > Отримано математичні вирази для знаходження похибки визначення дальності підповерхневих об'єктів при їх виявленні багаточастотним фазовим методом із врахуванням імовірнісного характеру похибок вимірювання параметрів відбитих сигналів, які дозволяють проводити розрахунки параметрів радіосистеми ультразвукової діагностики.
- > Дістав подальшого розвитку метод знаходження математичної моделі радіосигналу із заданою обвідною спектру та мінімальним пік-фактором, який полягає у послідовному знаходженні значень початкових фаз гармонічних сигналів від другого, перший сигнал є опорним, до останнього за рекурсивним алгоритмом.
- > Розроблено імітаційну математичну модель радіосистеми ультразвукового діагностування біологічних об'єктів із застосуванням багаточастотного фазового методу вимірювання дальності об'єктів та сигналів із заданою обвідною спектру та мінімальним пік-фактором.
- > Розроблено структурні схеми радіосистем вимірювання дальності та параметрів об'єктів для розв'язання задач ультразвукового та радіолокаційного діагностування.