

## Лекція 3 ЯКІСТЬ РАДІОЗВ'ЯЗКУ

### 1. Характеристики (критерії) якості радіозв'язку

В загальному понятті під якістю радіозв'язку розуміється сукупність її характеристик до яких пред'являються певні вимоги.

Професійний радіозв'язок, як процес передачі інформації, повинен відповідати вимогам за вірогідністю, своєчасністю і потайністю передачі повідомлень які і визначають якість радіозв'язку.

**Вірогідність передачі повідомлення** взагалі оцінюється ступінню вірності його відтворення на виході кінцевого приймального пристрою. Критерій вірності відтворення повідомлення використовується при оцінці вірогідності передачі безперервних телефонних (мовних) повідомлень. При цьому кількісною оцінкою вірогідності є артикуляційні втрати:

$$A = \frac{R_{\text{сп}}}{R},$$

де  $R_{\text{сп}}$  – кількість невірно прийнятих елементів мови (спотворених);  $R$  – кількість переданих елементів. Але при оцінці якості, власне, радіоканалу цей критерій буде неточний, тому що спотворення повідомлення можуть бути внесені (крім радіоканалу) перетворювачем повідомлення в первинний сигнал, модулятором, а також при демодуляції і зворотньому перетворенні сигналу.

Тому під вірогідністю радіозв'язку розуміється точність відтворення первинних електричних сигналів на виході радіоканалу (радіолінії).

Елементами мови можуть бути звуки, слова, фрази. Частіше використовується критерій втрат фразової артикуляції  $A \leq A_{\text{доп}}$ . Прийнято вважати, що телефонний зв'язок є відмінним при  $A \leq 1\%$ , добрим при  $A = 1 \div 3\%$  і задовільним при  $A = 3 \div 5\%$ .

При передачі повідомлень дискретними сигналами вірогідність кількісно оцінюється імовірністю помилкового прийому елемента сигналу (символу, посилки) –  $P_{\text{пом}}$ .

$$P_{\text{пом.}} = \frac{N_{\text{сп}}}{N},$$

де  $N_{\text{сп}}$  – кількість спотворених елементів сигналу;  
 $N$  – кількість елементів які передані.

Вимоги, які пред'являються до вірогідності прийому дискретних сигналів, визначаються можливістю логічного відтворення спотворених елементів, а також важливістю інформації, що передається. Так

допустима імовірність помилок в прийомі елементів телеграфних сигналів, які передаються по звичайних лініях радіозв'язку, складає  $(3 \div 5) \cdot 10^{-3}$ , тобто 3 ÷ 5 спотворених елементів сигналу на 1000 що передані. В каналах передачі телекодових сигналів автоматизованих систем управління  $P_{\text{пом доп}} \leq (1 \div 10) \cdot 10^{-6}$ .

Більшість КХ радіоканалів не може забезпечити таку якість передачі радіосигналів. Тому за допустиму величину імовірності прийому елемента сигналу в реальних каналах радіозв'язку прийняте значення  $P_{\text{пом доп}} \leq (3 \div 5) \cdot 10^{-3}$ . При більш високих вимогах до вірогідності прийому впроваджується надмірне кодування і системи з рішачим зворотнім зв'язком. При цьому роль рішачої системи виконує кінцевий приймальний пристрій. †

Раніше вже відмічалось, що спотворення радіосигналів, тобто втрата їх вірогідності, в основному, викликаються дією завад в радіоканалі. Тому і артикуляційні втрати при передачі телефонних повідомлень і імовірність помилки прийому елемента дискретних сигналів в кінцевому підсумку визначаються тільки відношенням середньої потужності сигналу до середньої потужності завад в смузі частот прийому. Таким чином, умови ведення зв'язку з заданою якістю можливо записати:

$$\left( \frac{P_c}{P_3} \right)_{\text{Вх Пр}} \geq \left( \frac{P_c}{P_3} \right)_{\text{доп}} \quad \text{або} \quad \left( \frac{U_{c \text{ еф}}}{U_{3 \text{ еф}}} \right)_{\text{Вх Пр}} \geq \left( \frac{U_{c \text{ еф}}}{U_{3 \text{ еф}}} \right)_{\text{доп}} .$$

Цей критерій (енергетичний) широко використовується при аналізі якості каналів радіозв'язку з різними видами радіосигналів.

**Своєчасність передачі повідомлень** – це час перебування повідомлення в системі зв'язку від моменту відправлення його на передачу до моменту вручення адресату.

Реальний час перебування повідомлень в системі зв'язку  $T_{\text{пер}}$  складається з ряду операцій таких як доставка повідомлень, їх обробка (кодування, декодування), час чекання передачі і власне час передачі по радіоканалу. Він нормується для повідомлень різних категорій терміновості.

З точки зору оцінки якості радіозв'язку використовується кількісний критерій – час передачі повідомлення по радіоканалу  $T_{\text{пер}}$ . Тобто за критерієм своєчасності передачі повідомлення повинно бути

$$T_{\text{пер}} \leq T_{\text{пер доп}}$$

при вірогідності передачі не гірше за необхідну.

**Потайність радіозв'язку** характеризує його здоність приховати самий факт передачі інформації. Радіомережа (радіонапрямок) вважається розкритою, якщо супротивнику відомі її склад, робочі частоти, позивні кореспондентів і їх належність конкретним пунктам управління. Кількісною мірою потайності радіозв'язку є час, який необхідний супротивнику для його розкриття.

Вимоги до потайності і заходи з радіомаскування розробляються не для окремих радіомереж і радіонапрямків, а для мережі радіозв'язку в цілому.

## 2. Якість радіозв'язку при використанні різних видів сигналів

### 2.1. Безперервні радіосигнали

Як раніше розглядалося в системах професійного радіозв'язку найбільш широко використовуються односмугові сигнали і сигнали з частотною модуляцією. Для оцінки якості радіозв'язку в радіоканалах з цими сигналами не існує аналітичних співвідношень. Але є наявна залежність вірогідності їх прийому від співвідношення рівней сигналу і завад на вході приймача. Це співвідношення для різних типів кінцевої апаратури і сигналів визначається експериментальним шляхом і нормується для різних рівнів артикуляційних втрат. В табл. 1. приведені деякі дані з потрібним співвідношенням сигнал/завада на виході радіоприймача, при яких забезпечується прийом повідомлень з якістю не гірше задовільної.

Таблиця 1

Вид сигналу	$\frac{P_{с\text{ еф}}}{P_{з\text{ еф}}}$	$\frac{U_{с\text{ еф}}}{U_{з\text{ еф}}}$
A3E	9 – 100	3 – 10
I3E	4 – 9	2 – 3
F3E	4 – 16	2 – 4
A1A	0.5 – 4	0.7 – 2
F1B	9 – 100	2 – 10

## 2.2. Дискретні радіосигнали

Дискретні сигнали все більш широко використовуються у радіозв'язку, тому що зв'язок за їх допомогою має ряд переваг:

- більш економне використання частотного діапазону і потужності радіопередавачів;
- більш висока завадостійкість;
- проста автоматична реєстрація;
- можливість гарантованого засекречування.

Як раніше відмічалось, вірогідність зв'язку при роботі цими сигналами оцінюється імовірністю помилкового прийому елемента сигналу  $P_{\text{пом}}$ .

Крім залежності  $P_{\text{пом}}$  від співвідношення сигнал/завада на вході приймача, ця величина залежить також від способу обробки сигналу в приймачі (способу демодуляції) і характеру траси радіозв'язку (з завмираннями або без завмирань).

Під способом обробки сигналу розуміється когерентний або некогерентний прийом сигналів. Нагадаємо, що при когерентному прийомі використовуються всі інформативні параметри сигналу: огинаюча, частота і початкова фаза в.ч. коливання. Некогерентний прийом не вимагає даних про початкову фазу несучої і реалізується в приймальному пристрої значно простіше за когерентний. Але завадостійкість некогерентного прийому декілька нижче чим когерентного. Тим не менше в засобах професійного радіозв'язку, на теперішній час, реалізований в основному некогерентний прийом.

Що стосується характеру траси радіозв'язку:

– до каналів з постійними параметрами (без завмирань) відносять канали КХ зв'язку наземною хвилею в яких огинаюча суми сигналу і завад має узагальнену релеєвську щільність розподілу;

– до каналів зі змінними параметрами відносять канали КХ зв'язку відбитою хвилею з релеєвським законом розподілу щільності імовірності амплітуд сигналу.

Ще одне припущення, яке приймається при розрахунках вірогідності зв'язку дискретними сигналами в КХ радіоканалах, це нормальний закон розподілу станційних завад, тобто прирівняння їх до білого шуму.

Методами теорії завадостійкості визначені формули для розрахунків величини  $P_{\text{пом}}$  в каналах зв'язку з постійними і змінними параметрами, які можуть бути використані при оцінці якості КХ каналів радіозв'язку. У табл. 2 приведені формули, які дозволяють для відомого виду сигналу при заданій вірогідності передачі інформації визначити

необхідне перебільшення рівня сигналу над рівнем завад на вході приймача.

Таблиця 2

Вид сигналу	Спосіб обробки	Імовірність помилки прийому $P_{\text{пом}} = f(h^2)$	
		Канали з постійними параметрами	Канали зі змінними параметрами
ЧТ (F1B)	Некогерентний	$\frac{1}{2} e^{-\frac{h^2}{2}}$	$\frac{1}{2+h_0^2}$
ПЧТ (F7B)	Некогерентний	$e^{-\frac{h^2}{2}} - \frac{2}{3} e^{-\frac{2h^2}{3}} + \frac{1}{6} e^{-\frac{3h^2}{6}}$	$2 \left( \frac{1}{2+h_0^2} + \frac{1}{12+9h_0^2} - \frac{1}{3+2h_0^2} \right)$
ОФТ (G1B)	Некогерентний по методу порівняння фаз	$\frac{1}{2} e^{-h^2}$	$\frac{1}{2(1+h_0^2)}$
	Когерентний по методу порівняння полярностей	$\frac{1}{2} \left\{ 1 - \left[ F \left( \sqrt{2 h^2} \right) \right]^2 \right\}$	$\frac{1}{2(1+h_0^2)}$

В табл. 2 зазначено:

$- h = \frac{U_{\text{мс}}}{U_{\text{з еф}}}$  — відношення амплітуди сигналу до ефективного значення напруги завад;

$- h_0 = \frac{U_{\text{с еф}}}{U_{\text{з еф}}}$  — відношення ефективних значень напруг сигналу і завад.

**Приклад:** Визначити потрібне відношення сигнал/завада на вході приймача радіоканалу при зв'язку землею хвилею сигналом F1B з вірогідністю  $P_{\text{ПОМ}} = 1 \cdot 10^{-3}$

$$P_{\text{ПОМ}} = \frac{1}{2} e^{-\frac{h^2}{2}};$$

$$2 P_{\text{ПОМ}} = e^{-\frac{h^2}{2}};$$

$$e^{\frac{h^2}{2}} = \frac{1}{2 P_{\text{ПОМ}}};$$

$$\ln e^{\frac{h^2}{2}} = \ln \frac{1}{2 P_{\text{ПОМ}}}; \quad \frac{h^2}{2} = \ln \frac{1}{2 P_{\text{ПОМ}}};$$

$$h^2 = 2 \ln \frac{1}{2 P_{\text{ПОМ}}} = 2 \ln 500 = 2 \cdot 6.2 = 12.4.$$

На рис. 1 і 2 для різних каналів зв'язку зображені графічні характеристики залежностей  $P_{\text{ПОМ}} = f(h^2)$  і  $P_{\text{ПОМ}} = f(h_0^2)$  при використанні сигналів телеграфної роботи.

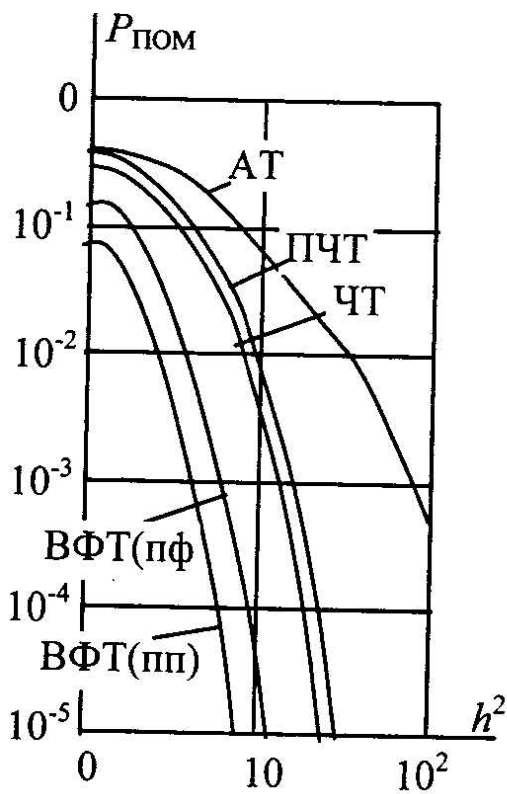


Рис. 1

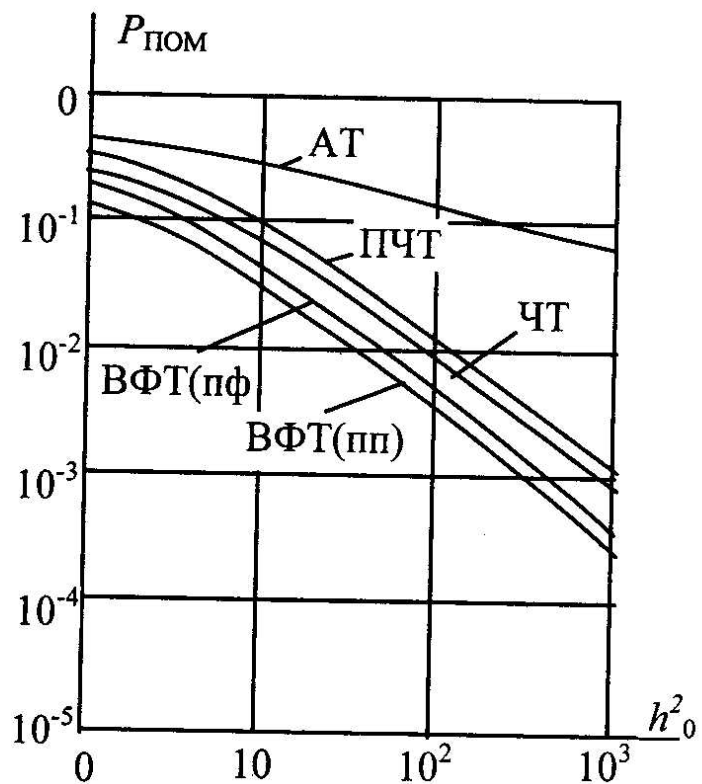


Рис. 2

З порівняння графіків рисунків можливо зробити наступні підсумки:

1. Якість радіоканалів з завмираннями значно гірше якості радіоканалів без завмирань. Наприклад, для  $h^2 = h_0^2 = 10$  при використанні сигналу F1B

$$P_{\text{ПОМ}}(\text{зав}) \approx 10^{-1}, \quad P_{\text{ПОМ}}(\text{н/зав}) \approx 5 \cdot 10^{-3}.$$

2. Найбільшу завадостійкість при флуктуаційних завадах мають радіоканали з сигналами відноснофазової телеграфії (G1B), а найгіршу (при автоматичній реєстрації) – радіоканали з сигналами A1.

Проміжне положення займають канали з сигналами частотної телеграфії, які широко використовуються у військовому радіозв'язку.

Швидкість передачі дискретних сигналів, яка впливає на своєчасність передачі повідомлень, у свою чергу, залежить від виду сигналу, способу його обробки і характеристик радіоканалу. В каналах з багатопроменевим розповсюдженням радіохвиль максимальна швидкість, при заданих вимогах по вірогідності, обмежується міжсимвольною інтерференцією (накладенням сусідніх посилок внаслідок запізнення променів). Тому при розглянутих способах обробки сигналів у КХ каналах з іоносферним відбиттям радіохвиль швидкість передачі сигналів ЧТ і ПЧТ не перевищує 300 Бод, а сигналів ВФТ – 500 Бод.

Таким чином, якщо порівняти радіосигнали за критеріями їх частотної, енергетичної ефективності та завадостійкості прийому, то найбільш ефективними є дискретні сигнали з відносною фазовою, а потім частотною маніпуляцією. Сигнали амплітудної телеграфії при слуховому прийомі по завадостійкості можуть перебільшувати ВФТ і ЧТ.

### **Питання для власного контролю та повторення**

1. За якими критеріями оцінюється якість радіозв'язку?
2. В чому є різниця оцінки вірогідності передачі безперервних і дискретних повідомлень?
3. Який критерій оцінки вірогідності є загальним для каналів передачі безперервних і дискретних радіосигналів?
4. За яким критерієм оцінюється потайність радіозв'язку?
5. Які канали радіозв'язку вважаються з постійними та зі змінними параметрами?
6. Визначити необхідне перебільшення сигналу понад завадою при передачі сигналів телеграфної роботи і заданій  $P_{\text{ПОМ}} = 10^{-5}$  для каналів з постійними та зі змінними параметрами.