

АНАЛІЗ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ МІЖ ПАРАМЕТРАМИ МОДЕЛІ КАНАЛУ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Національний авіаційний університет

Виконано аналіз впливу параметрів моделі каналу передачі даних на якість його функціонування. Показано, що одноканальні пристрої з послідовною передачею елементарних сигналів мають істотні переваги у порівнянні із паралельними системами передачі даних. У класі некогерентних систем у діапазоні питомих швидкостей передачі 0,5 - 1,5 (біт/с)/Гц найбільшу ефективність має устаткування передачі даних з АЧФМ. Міжсимвольні завади, що обумовлені кінцевою шириною АЧХ каналу, є основним фактором, який заважає і знижує завадостійкість устаткування. Показано також, що АЧФМ перевершує за своїми якісними характеристиками ЧМ і ФРМ у діапазоні питомих швидкостей 0,5 - 1,8 [(біт/с)/Гц]. Значення вирашу F по потужності або тривалості посилок сигналу перебуває в межах 1,3 - 5 ($P \approx \exp(-\alpha F)$, де $\alpha = h^2/2R$). З ростом питомих швидкостей вираш F зменшується

Вступ

Для вирішення багатьох прикладних задач експлуатації телекомунікаційного обладнання використовується модель каналу передачі даних, що відображає в аналітичному вигляді існуючі функціональні залежності показників достовірності передачі інформації від параметрів системи передачі (у т.ч., від амплітудно – та фазочастотних характеристик аналогового каналу). Одна із таких моделей, що претендує на високу ступінь адекватності відображення реального каналу передачі даних, надана у [1]. Ця модель враховує вплив характеристик аналогових каналів, котрі представлені в [1] у вигляді смугового фільтру з лінійною та синусоподібною ФЧХ, і відрізняється від звичайної моделі дослідження сигналів з АЧФМ, що є характерними для сучасних систем передавання даних. Модель характеризується наступним набором параметрів: ймовірністю помилкового прийому біта P ; швидкістю передавання даних R [біт/с]; шириною смуги пропускання аналогового каналу Δf_k Δf_k [Гц]; питоною швидкістю передавання даних F_p [(біт/с)/Гц]; множиною параметрів каналу, що підлягають оптимізації – кількістю позицій сигнала

за амплітудою частотою та фазою m_a , m_f та m_ϕ ; кількістю паралельних субканалів b ; параметром укрупнення та розукрупнення алфавіту km ; параметром, що враховує розташування спектрів сигналів у смузі каналу K_n . Раціональний вибір значень вищевказаних параметрів дозволяє оптимізувати роботу каналу передачі даних за тих чи інших умов його функціонування.

Ціль роботи

З метою обґрунтування вибору припустимого діапазону значень параметра помилок в каналі визначимо числові значення вищевказаних параметрів, при котрих значення ймовірності помилкового прийому біту P у демодуляторних пристроях обладнання каналу є мінімальним за умов фіксованих значень швидкості передачі даних, смуги частот каналу та відношення сигнал/завада. Параметри аналогового каналу та джерела повідомлень за цих умов передбачаються звичайними, а саме канал представляється у вигляді смугового фільтру з лінійною та синусоподібною ФЧХ.

Основна частина

Виконаємо аналіз результатів оптимізації параметрів визначеної вище моделі каналу. Програмний комплекс “СНФМР” дозволяє зробити параметричну.

оптимізацію моделі цього каналу для будь-якого набору значень алфавіту символів $N, R, \Delta f_k$, співвідношення „сигнал/завада”

$h^2_{\text{порівн}}$ та амплітуди осциляцій b_{ϕ} фазочастотної характеристики (ФЧХ) аналогового каналу. Однак спочатку оцінимо, якою мірою спотворення спектра сигналів, що обумовлені кінцевою шириною амплітудночастотних характеристик (АЧХ) каналів, впливають на результати оптимізації. З цією метою розглянемо випадок передачі даних через частотнообмежений канал з лінійною ФЧХ ($b_{\phi}=0$), коли міжсимвольні завади виникають тільки за рахунок обмеженості смуги каналів.

Результати рішення оптимізаційної задачі для такого випадку при $N=32, m_u=2, b_{\phi}=0$ для трьох значень $h^2_{\text{порівн}}$, що дорівнюють відповідно 10 дБ, 12 дБ й 14 дБ, відбиті на рис. 1 у вигляді родини графіків залежності $F_p=f(P)$, де $F_p=R/\Delta f_k$. Оптимальні значення параметрів системи, які

відповідають позначеним на цих графіках точкам, внесені в табл. 1. Дані в табл. 1 відносяться до випадку передачі зі стандартними швидкостями 1200, 2400, 4800, 6400, 7200[біт/с] через канал $\Delta f_k=3,1$ кГц і лінійної ФЧХ.

Аналізуючи графіки на рис. 1 і дані табл. 1, можна зробити наступні висновки:

- із збільшенням значень $h^2_{\text{порівн}}$ при $F_p=\text{const}$ завадостійкість каналу поліпшується (імовірність помилки P зменшується);

- із збільшенням значень параметра F_p значення ймовірності помилкового прийому біта P у демодуляторах приймачів при $h^2_{\text{порівн}}=\text{const}$ зменшується, причому швидкість зміни P у міру збільшення F_p спочатку зменшується, а потім при $F_p > 1,0-1,6$ (біт /с)/Гц наростає, тобто на кривих $F_p=f(P)$ при $h^2_{\text{порівн}}=\text{const}$ утворюються точки перегину

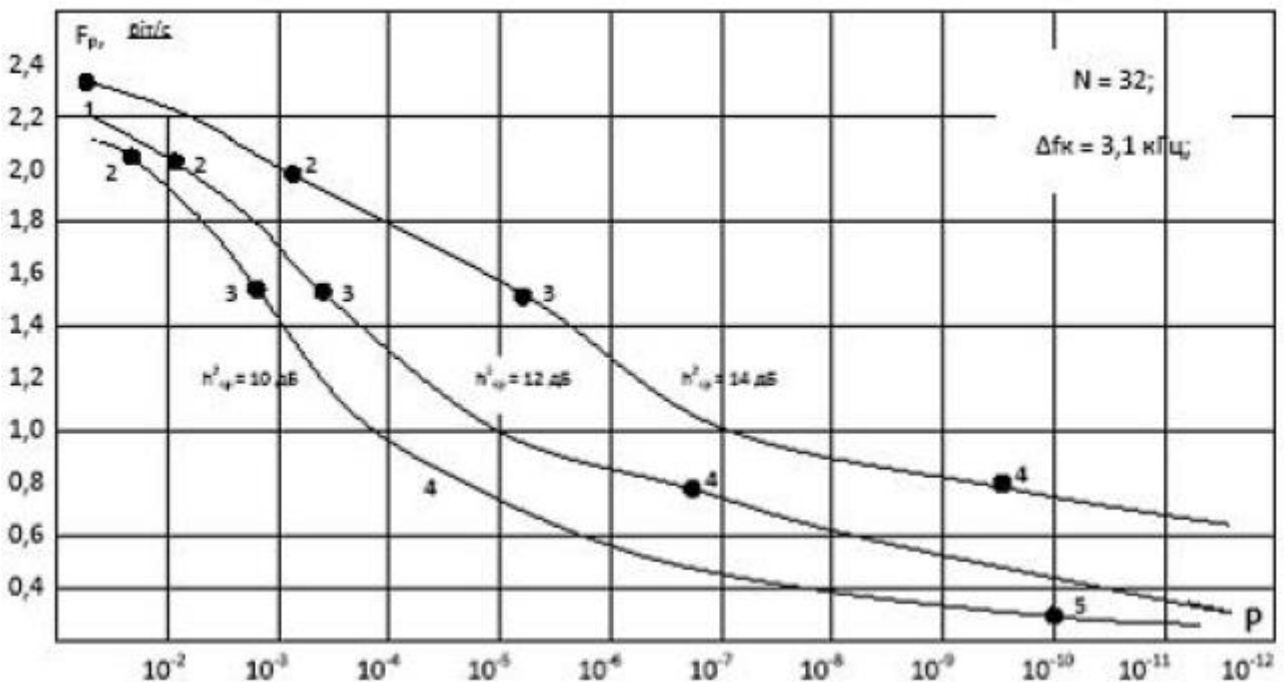


Рис. 1. Результати оптимізації параметрів моделі каналу передачі даних

Таблиця 1. Оптимальні значення параметрів каналу передачі даних

$h^2_{\text{сп}}$ [дБ]	F_p [біт/с/Гц]	m_{τ}	m_{ϕ}	k	k_n	τ [мс]	P	№ точки
1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,39	12	4	0, 5, 10	2,38	4,64	$1,57 \cdot 10^{-9}$	1
	0,78	4	4	-1, 3, 7	1,18	1,67	$2,08 \cdot 10^{-3}$	2
	1,55	2	4	-2, 1, 4	-0,04	0,63	$1,26 \cdot 10^{-3}$	3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	2,06	1	6	13	0,30	0,42	$1,88 \cdot 10^{-2}$	4
	2,32	1	8	-2, 1, 4	0,30	0,42	-	5
	0,39	12	4	0, 5, 10	2,38	4,64	$4,12 \cdot 10^{-12}$	1
	0,78	4	4	-1, 3, 7	1,18	1,67	$1,93 \cdot 10^{-7}$	2
12	1,55	2	4	-2, 1, 4	-0,04	0,63	$3,15 \cdot 10^{-4}$	3
	2,06	1	6	13	0,30	0,42	$9,81 \cdot 10^{-3}$	4
	2,32	1	8	-2, 1, 4	0,30	0,42	-	5
	0,39	12	4	0, 5, 10	2,38	4,64	$7,01 \cdot 10^{-14}$	1
	0,78	4	4	-1, 3, 7	1,18	1,67	$3,29 \cdot 10^{-10}$	2
14	1,55	2	4	-2, 1, 4	-0,04	0,63	$6,47 \cdot 10^{-6}$	3
	2,06	1	6	13	0,30	0,42	$8,63 \cdot 10^{-4}$	4
	2,32	1	8	-2, 1, 4	0,30	0,42	$7,74 \cdot 10^{-2}$	5

Умови передавання: аналоговий канал з $\Delta f_k=3100$ Гц і лінійною АЧХ; $N=32$;

$$\Delta f_k=3100 \text{ Гц}; B_{\varphi}=0$$

- у діапазоні середніх питомих швидкостей ($F_p \leq 1,55$ (біт/с)/Гц) оптимальною є АЧФМ;

- у діапазоні питомих швидкостей вище $2,0$ (біт/с)/Гц оптимальною є багатократна ФРМ;

- у міру зростання значень F_p у класі модемів із АЧФМ (точки 1, 2, 3 у табл. 1) значення параметра КП зменшуються.

Вплив міжсимвольних завад, що утворені за рахунок обмеженості смуги каналу, в аналізованій моделі полягає в наступному. При низьких питомих швидкостях ($<0,7$ (біт/с)/Гц) значення параметра $K_{\Pi} > 1$. У цьому випадку енергетичні спектри ЧФМ сигналів з більшим запасом містяться в смузі прозорості каналу, спотворення сигналів є невеликими і якісні характеристики оптимальних приймачів наближаються до відповідних характеристик, що отримані на основі моделі з ідеальним смуговим каналом. У міру зростання питомих швидкостей значення K_{Π} зменшуються, спотворення спектра (а, отже, і рівні міжсимвольних завад) збільшуються, спостерігається все більші розходження між результатами оптимізації параметрів моделей ідеального й реального каналів.

Зокрема, посилення впливу міжсимвольних завад у міру зростання F_p знайшло своє відбиття на рис.1 у тім, що на оптимальних кривих при значеннях $0,1 \leq K_{\Pi} \leq 0,3$ спостерігаються точки перегину. У діапазоні високих питомих швидкостей, більших 2 (біт/с)/Гц, АЧФМ відповідають негативні значення K_{Π} , при яких рівень міжсимвольних завад настільки високий, що завадостійкість системи падає до неприпустимо низького рівня.

Перехід при зростанні F_p вище $2,0$ (біт/с)/Гц до одночастотних приймачів із ФРМ ($m_{\varphi}=1$) приводить до збільшення значення K_{Π} й, отже, до зменшення рівня міжсимвольних завад у порівнянні з АЧФМ. Однак збільшення F_p у цьому випадку змушує збільшувати кратність ФРМ (тобто, кількості позицій сигналу по фазі m_{φ}), що в сполученні з дією міжсимвольної завади призводить до різкого погіршення завадостійкості системи. Тому оптимальні криві на рис.1 в області більших F_p мають загини (тобто, малим природою F_p відповідають великі зміни P).

Розрахунки за програмою “CHFMR” показують, що при мінімально припустимому співвідношенні сигнал/завада в стандартному телефонному каналі з $h^2_{\text{порівн}}$, що дорівнює 17 дБ, з лінійною ФЧХ й

імовірністю помилки P , не вищою за $1 \cdot 10^{-3}$, максимально можлива питома швидкість передачі F_p у класі некогерентних систем з урахуванням міжсимвольних завад не перевищує 2,8 (біт/с)/Гц. Така питома швидкість може бути отримана, якщо використати 16-ти позиційну ФРМ.

Виконаємо аналіз впливу амплітуди осциляцій ФЧХ каналу, тобто параметра b_ϕ , на результати рішення оптимізаційної задачі. Результати такого аналізу є корисними при визначенні вимог до ФЧХ аналогового каналу. Дані для аналізу отримані за допомогою програмного комплексу

“CHFMR” за умов, коли вихідні значення b_ϕ лежать в діапазоні 0 – 0,5 рад.

У табл. 2 занесені мінімально можливі значення P при $h^2_{порівн}=12$ дБ для ряду значень питомих швидкостей $R_{уд}$ з діапазону 0,65–1,74 [(біт/с)/Гц] у смузі каналу $\Delta f_k=3,1$ кгц для чотирьох значень b_ϕ : 0; 0,1; 0,2; 0,3 [радіан]. За даними табл. 2 на рис. 2 побудовані графіки залежності $P=f(R_{уд})$ при $b_\phi=const$. Ці графіки відбивають спільний вплив на якісні характеристики каналу передачі даних міжсимвольних завад через обмеженість смуги АЧХ і луно- сигнали, що утворюються внаслідок коливального характеру ФЧХ.

Таблиця 2.

$R_{уд}$	0,65	0,77	0,97	1,16	1,35	1,55	1,74
B_ϕ/R	2000	2400	3000	3600	4200	4800	5400
0,0	$1,03 \cdot 10^{-7}$	$3,18 \cdot 10^{-7}$	$3,27 \cdot 10^{-6}$	$1,31 \cdot 10^{-5}$	$8,14 \cdot 10^{-5}$	$4,16 \cdot 10^{-4}$	$7,92 \cdot 10^{-3}$
0,1	$8,29 \cdot 10^{-7}$	$2,49 \cdot 10^{-6}$	$1,16 \cdot 10^{-5}$	$3,74 \cdot 10^{-5}$	$1,59 \cdot 10^{-4}$	$9,99 \cdot 10^{-4}$	$1,28 \cdot 10^{-2}$
0,2	$1,37 \cdot 10^{-5}$	$3,73 \cdot 10^{-5}$	$1,34 \cdot 10^{-4}$	$6,55 \cdot 10^{-4}$	$1,25 \cdot 10^{-3}$	$5,21 \cdot 10^{-3}$	$4,47 \cdot 10^{-2}$
0,3	$7,23 \cdot 10^{-3}$	$9,01 \cdot 10^{-3}$	$1,61 \cdot 10^{-2}$	$5,74 \cdot 10^{-2}$	$7,33 \cdot 10^{-2}$	$1,05 \cdot 10^{-1}$	$3,39 \cdot 10^{-1}$

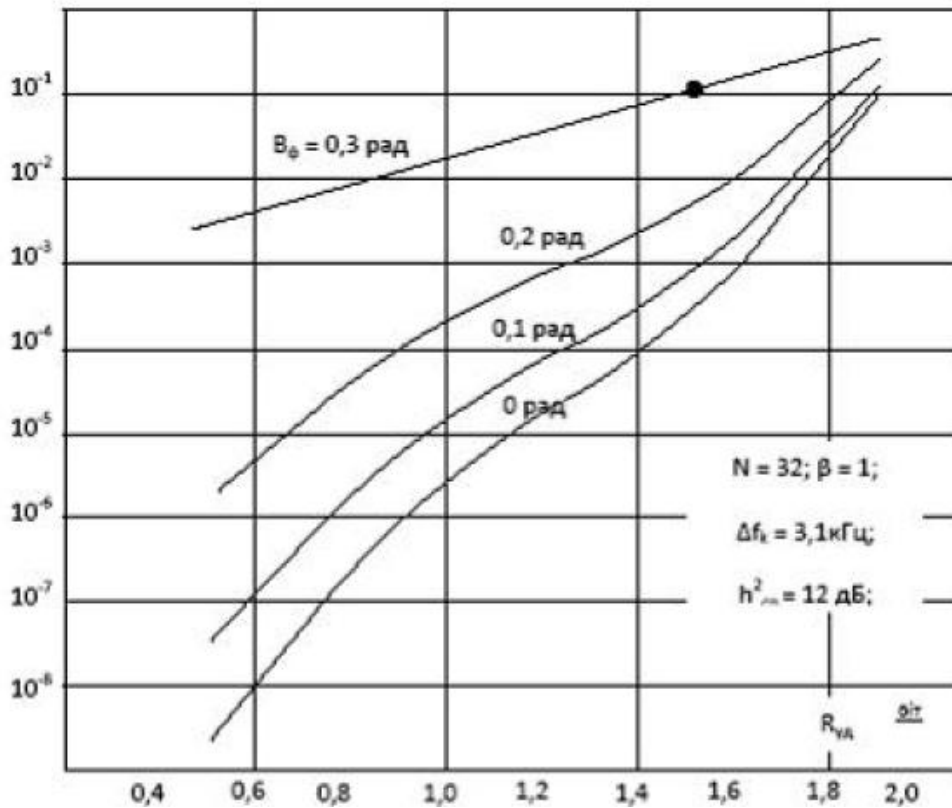


Рис.2. Вплив ФЧХ аналогового каналу на передачу АЧФМ сигналів

При $b_\phi < 0,1$ рад нелінійність ФЧХ є причиною збільшення P у широкому діапазоні питомих швидкостей не більш, ніж на один порядок, що цілком припустимо на практиці. З ростом значень b_ϕ зава-

достійкість каналу різко погіршується. Залежність $P=f(b_\phi)$ носить нелінійний характер. При $b_j > 0,3$ рад передача даних досить утруднена.

Як і слід було сподіватися, параметр

b_ϕ ФЧХ каналу значно впливає на величину P . Оптимальні значення інших оптимізує-чих параметрів моделі інваріантні щодо параметра b_ϕ .

Оптимальні рішення в класах ЧМ і ФМ можуть бути отримані як окремий випадок оптимальних рішень у класі АЧФМ відповідно при введенні обмежень $m_a=1$, $m_q=1$, $m_\phi=1$.

Зіставлення зручно проводити, якщо нанести точки оптимальних рішень для ЧФМ, ЧМ і ФРМ на один рисунок. Для випадку $N=32$, $\beta=1$, $m_i=2$, $K_n=0$ таким є рис.3, на якому для класу ФРМ нанесені також точки неоптимальних рішень при $m_\phi=3$.

Аналіз представлених на рис.3 резуль-татів дозволяє зробити наступні висновки:

- оптимальні рішення в класі ЧМ істотно гірше оптимальних рішень у класі ЧФМ;

- деякі оптимальні рішення в класі ФРМ збігаються з оптимальними рішеннями в класі ЧФМ;

- значення $m_\phi=1,2,3$ ніколи не приводять до оптимальних рішень;

- перехід від класу ЧМ до класу ЧФМ дозволяє істотно розширити діапазон можливих значень питомих швидкостей передачі;

- перехід від класу ФМ до класу ЧФМ дозволяє поліпшити завадостійкість у діапазоні середніх питомих швидкостей передачі (0,5 – 1,8 біт/с/Гц).

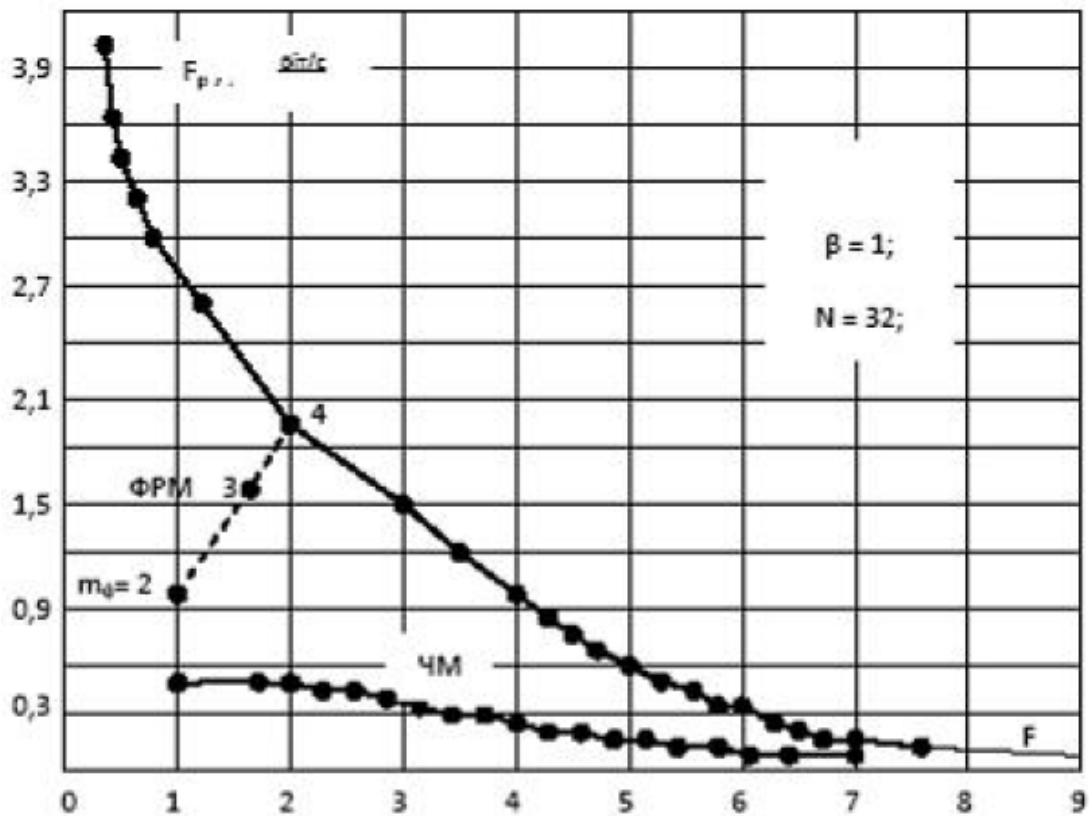


Рис.3. Графіки порівняння ефективності систем з ЧМ, ФРМ та ЧФМ

З рис. 3 видно, що ЧФМ має переваги перед ЧМ і ФРМ при питомих швидкостях передачі до 2,0 біт/с/Гц. Абсолютне значення виграшу, що оцінюється величиною параметра F , різне для різних значень швидкостей передавання інформації й лежить у межах 1,3 – 5. З ростом $R_{уд}$ виграш зменшується. Наприклад, при $R_{уд}=1$ біт/с/Гц перехід від широко застосовуваного

рішення $m_\phi=2$, $m_q=1$ (клас ФРМ) до оптимального рішення в класі ЧФМ дозволяє збільшити значення F в 4 рази. Оцінити при цьому поліпшення завадостійкості, яке може бути досягнуто, можна з урахуванням того, що значення ймовірності помилкового прийому біта p убуває приблизно

експоненціально з ростом F , тобто $p = \exp(-aF)$, де $a = h^2/2R$. Інший спосіб оцінки заснований на тому, що тривалість елементарного сигналу τ збільшується в те ж число раз, що й F , а потужність сигналу залишається незмінною. Нарешті, якщо оцінювати виграш по потужності сигналу, зберігаючи при цьому незмінною його енергію, то цей виграш визначається тими ж цифрами.

Для інших значень N зроблені вище висновки зберігаються.

У табл.3, як приклад, наведені дані, що дозволяють оцінити переваги ЧФМ при $m_\tau=2$ й $m_\phi=4$ у порівнянні із ФРМ-2.

Таблиця 3.

		$p=10^{-4}$	$p=10^{-4}$	$p=10^{-4}$	Про- граш по енергії сигналу у дБ
ЧФМ	H^2	16,2	20,8	25,4	
ФРМ-2	H^2	23,46	30,36	37,89	1,6
ФРМ-3	H^2	50,67	66,37	82,08	5,0

Визначалися енергетичні програші сигналів ФРМ-2 і ФРМ-3 щодо енергії сигналів ЧФМ у дБ за умов, коли забезпечувалися задані значення ймовірностей помилок у системі при однакових швидкостях передачі, смугах пропускання каналу й середніх потужностях сигналів і завад.

Як видно з табл. 3, при зазначених вище умовах ЧФМ забезпечує виграш по енергії сигналів у середньому відносно ФРМ-2 на 1,6 дБ, а відносно ФРМ-3 на 5 дБ.

Висновки

1. Виконано аналіз впливу параметрів моделі каналу передачі даних, що надана у [1], на результати рішення оптимізаційних задач. Виконаний аналіз показав, що:

- у рамках розглянутої моделі і при обраному критерії якості одноканальні пристрої з послідовною передачею елементарних сигналів мають істотні переваги в порівнянні з паралельними системами передачі даних;

- у класі некогерентних систем у діапазоні питомих швидкостей передачі 0,5

- 1,5 (біт/с)/Гц найбільшу ефективність має устаткування передачі даних з АЧФМ;

- введення параметра K_m сприяє кращій пристосованості оптимізаційного процесу до різноманітних вихідних вимог під час проектування характеристик устаткування каналу передачі даних;

- міжсимвольні завади, що обумовлені кінцевою шириною АЧХ каналу, при негативних значеннях параметра K_n є основним фактором, який заважає і знижує завадостійкість устаткування;

- максимально можлива питома швидкість передачі F_p через стандартний телефонний канал при некогерентному прийомі сигналів з урахуванням міжсимвольних завад, при якій забезпечується ймовірність помилки P не більше $1 \cdot 10^{-3}$, становить 2,8 (біт/с)/Гц;

- розроблений комплекс програмних засобів дозволяє при заданих умовах передачі даних розробити вимоги до припустимої величини амплітуди осциляції b_ϕ ФЧХ каналу; залежність P від b_ϕ носить нелінійний характер і зі зростанням значень b_ϕ понад 0,1 рад завадостійкість каналу різко погіршується.

2. Проводилось зіставлення ЧМ, ФРМ й АЧФМ у випадку передачі через ідеальний смуговий канал без урахування міжсимвольних завад. Показано, що АЧФМ перевершує за своїми якісними характеристиками ЧМ і ФРМ у діапазоні питомих швидкостей 0,5 – 1,8 [(біт/с)/Гц]. Значення виграшу F по потужності або тривалості посилок сигналу перебуває в межах 1,3 – 5 ($P \approx \exp(-\alpha F)$, де $\alpha = h^2/2R$). З ростом питомих швидкостей виграш F зменшується.

Список літератури

1. Муранов А.С. Задача оптимізації параметрів моделі каналу передавання даних // Проблеми інформатизації та управління: Зб. наук. пр. – К.: НАУ, 2008. – Вип. 1(23). – С. 69–73.