

На правах рукопису

УЛЄЄВ ОЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ

УДК 621.234.396.043

247

П/ШВ

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПРИЙМАННЯ БЧК ЗА КОДОВИМИ
ОЗНАКАМИ ТА ПАРАМЕТРАМИ ЛІНІЙНОГО СИГНАЛУ**

05.12.02. - Телекомунікаційні системи та управління ними

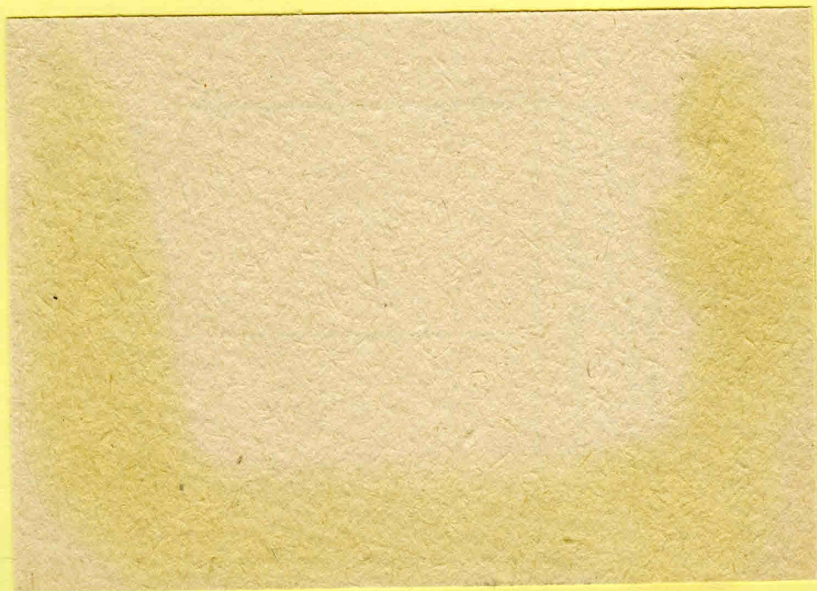
АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового
ступеня кандидата технічних наук

ІНСТИТУТ ФІЗИКИ

29 05 2000

180100



На правах рукопису

УЛЄЄВ ОЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ

.391(043)

УДК ~~621.234.396.043~~

У47

ЕФЕКТИВНІСТЬ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПРИЙМАННЯ БЧК ЗА КОДОВИМИ
ОЗНАКАМИ ТА ПАРАМЕТРАМИ ЛІНІЙНОГО СИГНАЛУ

05.12.02. - Телекомунікаційні системи та управління ними

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового
ступеня кандидата технічних наук

НТБ
ІФНТУНГ



as901

Одеса - 2000



**Роботу виконано в Українській державній академії зв'язку ім.
О.С.Попова**

Науковий керівник – кандидат технічних наук,
доцент **В.М. Захарченко**
(Одеська державна морська академія);

Офіційні опоненти – академік Академії зв'язку України,
доктор технічних наук,
професор **Лучук А.М.**
(Національний інститут космічних досліджень НАН);

кандидат технічних наук,
доцент **Михальчан В.С.**
(Українське державне підприємство електрозв'язку
“Укртелеком”, Одеська дирекція).

K/OX

Провідна установа – Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”

Захист відбудеться “29” червня 2000 року о 13 год. на за-
сіданні спеціалізованої вченої ради Д.41.816.02 Української державної
академії зв'язку ім. О.С.Попова.

Адреса: Україна, 65029, м.Одеса, вул.Кузнечна, 1.

З дисертаційною роботою можна ознайомитися в бібліотеці Української
державної академії зв'язку ім. О.П.Попова.

Автореферат розісланий “26” травня 2000 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д.41.816.02
доктор технічних наук
професор



Князева Н.О.

Здано в набір

Підписано до друку

Формат **60x89/16**

Віддруковано на видавничому устаткуванні фірми RISO

у друкарні редакційно-видавничого центру УДАЗ ім. О.С. Попова
м. Одеса, 65021, вул. Старопортофранківська, 61.

Тел. (0482) 207-894

© УДАЗ, 2000.

Об'єм **1,25**

друк. арк.

Зам № **598**

Тираж **100** прим.

УДАЗ

Загальна характеристика роботи

Розв'язання задач задоволення потреб народного господарства в інформатизації та автоматизації систем керування і населення України в послугах зв'язку передбачає розширення інформаційних та телекомунікаційних технологій на існуючих та утворюваних мережах зв'язку.

Вивчення потреб споживачів, визначення тенденцій розвитку нових інформаційних служб, аналіз можливостей існуючих окремих мереж електрозв'язку приводить до висновку про те, що інтеграція мереж зв'язку на базі цифрових методів передавання й комутації дає змогу забезпечити абонентів, окрім телефонного зв'язку, такі додаткові послуги, як обмін інформацією поміж СОМ, підключення персональних комп'ютерів у обчислювальну мережу тощо.

При обміні повідомленнями виникає необхідність як в передаванні великих обсягів інформації (верхні рівні мережі передавання даних – ПД), так і в обміні короткими повідомленнями (нижні рівні мережі ПД).

При створенні сучасних мереж з економічних міркувань доцільно використовувати існуючу телефонну міську мережу. Більш ефективно вказана мережа може використовуватись для функціонування низових ланок автоматизованих систем керування (АСК), де обмін інформацією проводиться на швидкостях $50 \dots 200$ біт/с. Проте імовірність помилки в таких каналах становить $5 \cdot 10^{-3} \dots 5 \cdot 10^{-4}$, тоді коли для нормальної роботи АСК імовірність помилки не повинна перевищувати $10^{-6} \dots 10^{-7}$.

Робота короткими блоками при кодах, що виправляють помилки, не дозволяє ефективно використовувати пропускну здатність каналу через велику питому вагу перевірних (надлишкових) елементів. Позитивного ефекту можна набути, використовуючи зворотній зв'язок, котрий забезпечує передавач інформацією про якість приймання кодового слова, чи оцінку якості приймання за параметричними ознаками сигналу. В обох випадках на інтервалах 'доброго стану каналу можна передавати інформацію зі зниженою надлишковістю, а на інтервалах поганого стану – з підвищеною (за рахунок повторення). Для зменшення довжини кодового слова можна використовувати багатопозиційні часові сигнали (БЧС).

Проблемам підвищення ефективності використання реальних каналів зв'язку при роботі короткими блоками присвячено роботи Р.Г. Баркера,

Д.Д. Стиффлера, В.К. Стеклова, К.О. Мешковського, І.О. Мизина, А.М.Лучука, Г.А. Мастової, В.П. Цимбал та ін.

Надлишкове кодування, котре набуло широкого використання в техніці зв'язку для підвищення правильності передавання, дає змогу досягти практично будь-якої правильності передавання. Надлишковість, котра при цьому вводиться, буде постійною, незалежно від стану якості каналу, тоді коли якість каналу (а, отже, й імовірність помилки) змінюється у часі. Застосування детекторів якості сигналу дозволяє дістати змінну надлишковість. Контролюючи параметри прийнятого сигналу, приймач стає адаптивним, підстроєним під стан каналу, що забезпечує ефективне його використання пропускну здатності.

Теорію синтезу пристроїв за оцінками сигналу (детекторів якості – ДЯ) розглянуто в різноманітних аспектах в роботах В.П. Шувалова, М.В. Захарченко, В.С. Антошевського, Е.П. Шпилевського, Ю.О. Аббисова, С.О. Курицина, В.Г. Морозова, Б. Гарріса, К. Моргана та ін. Результати цих досліджень може бути використано для оцінки ефективності різноманітних ДЯ, контролюючих ті чи інші параметри прийнятого сигналу. Проте, незважаючи на порівняно велику кількість публікацій, в цій галузі багато питань або виявилися висвітленими неповною мірою, або їх зовсім не було порушено.

Дослідження вказаних авторів дали змогу створити досить ефективні пристрої захисту від помилок (ПЗП) систем передавання з кодовим методом виявлення помилок для каналів з нечастими помилками. Розроблені алгоритми далі змогу підвищити пропускну здатність за рахунок спільного використання непрямих та кодових методів.

Актуальність теми. Стиснення інформації багатопозиційними часовими сигналами забезпечує більш високу швидкість передавання при роботі по реальним каналам. Таким чином, проблема використання параметрів лінійних сигналів разом з параметрами багатопозиційних часових кодів (БЧК) на сьогодні не вирішена і є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Наведені в дисертаційній роботі дослідження є частиною планової наукової роботи Української державної академії зв'язку ім. О.С.Попова “Підвищення ефективності використання каналів існуючих мереж зв'язку”, окремі алгоритми реалізовано й випробувано на кафедрі документального електровз'язку.

Мета роботи і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є оцінка впливу окремих спотворювальних чинників на передавання багато-позиційних часових сигналів (БЧС), побудова надлишкових багатопозиційних часових кодів, що виправляють i -кратні помилки зміщень величиною $e_{\text{зс}}$, фізико-математичне моделювання систем стиснення інформації, алгоритми спільного використання БЧК і параметрів лінійного сигналу для забезпечення заданої якості.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в наступному:

- показано, що в каналах з флуктуаційними шумами, як і в каналах із середженими завадами, помилки за рахунок дроблень є переважними;
 - визначено статистичні параметри спотворень лінійного сигналу в реальних каналах з двома станами;
 - проведено оцінювання значень імовірності помилки за апріорними значеннями імовірностей правильних і хибних стирань по параметрах лінійного сигналу;
 - встановлено залежність ймовірностей правильного й хибного стирання з властивостями надлишкового розрядно-цифрового коду;
 - одержано оцінки статистичних параметрів зміщень значущих моментів часу (ЗМВ) за рахунок переривань сигналу;
 - встановлено залежність поміж кратністю помилки в кодовому слові та коефіцієнтом групування, доведено недоцільність декореляції при роботі короткими кодовими блоками;
 - визначено границі зміни пропускної здатності двійкового каналу при зміні параметрів БЧК;
 - визначені параметри системи з розв'язувальним зворотнім зв'язком (РЗЗ) при використанні параметричних і кодових параметрів БЧК;
 - оцінено ефективність застосування на каналах низових ланок АСК кодів Абрансона-Файра разом з багатопозиційними часовими сигналами;
 - доведено доцільність застосування сигнальних конструкцій БЧК при використанні як первинного, безперервного коду Фінка-Хагельбаргера;
- доведено доцільність введення виправлення частини помилок зміщень ЗММ у сигнальних конструкціях БЧК

Практичне значення одержаних результатів полягає в дістаних статистичних характеристиках потоку помилок на реальних каналах в різноманітних станах його, досліджених алгоритмах передавання інформації в одно-

бічних системах та системах з розв'язувальним зворотним зв'язком, рекомендаціях щодо формування коротких сигнальних конструкцій із заданими властивостями.

Особистий внесок автора. Основні наукові положення, результати теоретичних досліджень, висновки та рекомендації, що містяться в дисертаційній роботі, дістаной автором самостійно

Апробація результатів роботи. Основні результати досліджень з теми дисертаційної роботи докладались і обговорювались на наукових конференціях Української державної академії зв'язку ім. О.С. Попова, семінарах кафедри документального електрозв'язку.

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи викладено в шістьох наукових статтях, двох главах книги "Методи підвищення ефективності використання каналів зв'язку" та підручнику "Мережі телекомунікацій".

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох глав, висновків і списку використаної літератури. Текст викладено на 131 сторінках, ілюстровано 27 рисунками. Список літератури включає 93 найменування.

Короткий зміст роботи

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету й завдання дослідження, проведено аналіз опублікованої літератури з досліджуваних проблем.

В першому розділі проведено класифікацію методів підвищення правильності прийому й дано критерії оцінки якості.

Особливу увагу приділено кодовим методам підвищення якості передавання, наведено моделі реальних каналів зв'язку, результати статистичних вимірювань потоків помилок у каналах зв'язку низових ланок АСК, проаналізовано критерії, що характеризують моделі, визначено параметри групування помилок і розподілу тривалості поміж пакетами.

З метою узгодження надлишковості блокових розрядно-цифрових кодів оцінено вплив довжини кодових конструкцій та смуги пропускання каналів за постійної швидкості модуляції на якість передавання. Проведено апроксимацію розподілу помилок на заданих інтервалах для реальних комутованих каналів.

На рис.1 подано вигляд розподілу помилок в пакеті, починаючи з першої, на інтервалі пакету $T_n=16t_0$

Дістанний розподіл з точністю до 10 % може бути апроксимовано функцією

$$e(i) = e^{-i} + (-1)^{i+1} \cdot \frac{1}{[26 \cdot (i)^{2i} - i^i]} + e^{\left(-9,74 \cdot \frac{i}{16}\right)}, \quad (1)$$

де i — ціле число, $i=1..16$.

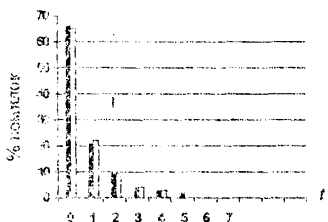


Рис 1

Результати проведених статистичних вимірювань показують, що помилки в каналі зв'язку групуються не лише за інтервалами кодових комбінацій, а й у границях самої кодової комбінації. Це дозволяє використовувати надлишковість коду для виправлення локалізованих груп помилок.

В роботі проведено порівняння кодів БЧХ, що виправляють трикратні рівномірно розподілені помилки в кодовому слові з кодами Файера і Абрамсона, що виправляють локалізовані помилки. Показано, що при тій самій кратності помилок за рахунок зменшення збиткових елементів — швидкість передачі зростає в 1,5 + 1,7 разів.

В даному розділі наведено розрахунки основних параметрів часто використовуваних блокових кодів: мінімальної кодової відстані, коефіцієнта надлишковості, завадостійкості, ймовірності виявлення помилки та коефіцієнта виявлення, швидкості передавання при заданих параметрах каналу.

Проведено порівняння систем передавання та систем з розв'язувальним зворотним зв'язком для аналізованих блочних кодів з урахуванням дістанних статистичних параметрів каналу.

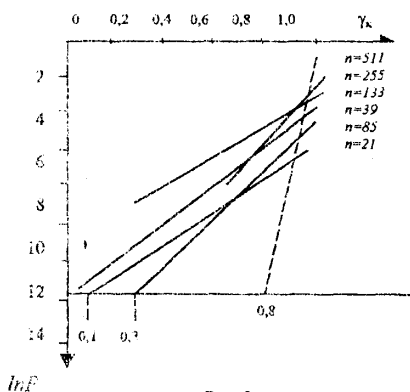


Рис. 2

На рис.2 за приклад наведено залежності швидкості передавання для системи з виправленням помилок при роботі по каналах МТМ. З цього рисунка випливає, що правильність передавання 10^{-6} , подана на графіку горизонтальною лінією, може бути забезпечена або за рахунок введення великої надлишковості, або за рахунок застосування довгих кодових слів. При цьому для довжин $n \geq 511$ елементів можна ді-

стати коефіцієнт використання $\gamma_k \geq 0,8$. Аналіз показує, що при роботі блока-

ми такої довжини кратність виправлюваних помилок має бути не менше за $t_w \geq 12$.

З урахуванням одержаної статистики помилок було проведено розрахунки ефективності декореляції помилок для даних кодів. В таблиці 1 наведено розрахункові значення швидкості передавання для окремих довжин кодових слів та коефіцієнт збільшення вірності K_2 при декореляції, t_w — кратність виявленої помилки.

Таблиця 1

n	Без декореляції				При декореляції, $f = 1000$				
	t_w	d	m	$R_1 = m/n$	t_w	d	m	$R_2 = m/n$	$K_2 = R_2/R_1$
15	10	11	>2	0,13	4	5	7	0,46	3,53
31	15	16	6	0,193	4	5	21	0,67	3,47
63	16	17	24	0,38	5	6	45	0,71	1,86
127	22	23	57	0,44	8	9	99	0,779	1,77

У другому розділі розглянуто питання статистичного взаємозв'язку потоку зміщень значущих моментів відтворення (ЗМВ) з параметрами потоку помилок. Оскільки в аналізованих сигналах БЧК базовий елемент k_2 є суттєвою причиною помилок є зміщення ЗМВ на величину $\theta > \frac{1}{2}$.

В роботі визначено величину коефіцієнта кореляції зміщень двох сумарних ЗМВ в каналі з пам'яттю

$$R_{k_2} = \frac{1}{2\sqrt{[1 + \rho(\tau_1)][1 + \rho(\tau_2)]}} [1 + \rho(\tau_1) + \rho(\tau_2) + \rho(\tau_3)] \quad (2)$$

де $\tau_1 = t_0 k_1$; $\tau_2 = t_0 k_2$; $\tau_3 = t_0 (k_2 - k_1)$

Для синхронного методу фазування визначено величину середньоквадратичного відхилення зміщень аналізуючих імпульсів з урахуванням параметра завад $h = \frac{U_c}{U}$.

Враховуючи величину зони Δ та взаємозв'язок зміщень ЗМВ, імовірність правильного приймання дорівнює

$$P_c(2) = 1 - 4 \left[T \left(\frac{\Delta}{\sigma}; \sqrt{\frac{1+\rho}{1-\rho}} \right) + T \left(\frac{\Delta}{\sigma}; \sqrt{\frac{1-\rho}{1+\rho}} \right) \right] \quad (3)$$

де $T(x)$ табличний інтервал Оуена

$$T \left(\frac{\mu}{\sigma}; \sqrt{\frac{1+\rho}{1-\rho}} \right) = T(h, \rho) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} \int_0^{100} \exp \left[-\frac{1}{2} (X^2 - Y^2) \right] dX dY \quad (4)$$

ρ — коефіцієнт кореляції зміщень ЗМВ.

В роботі проаналізовано закономірності групування помилок при заниженнях рівня сигналу і середньої імовірності помилкової реєстрації одного елемента

$$P_{op} = 0,5^2 \alpha \int_0^{t_0-r} f(l) dl dx + (0,5)^2 \gamma \int_0^{t_0-r} f(l) dl dx [2C_2^2 + C_2^1] +$$

$$+ \dots + (0,5)^n \alpha \int_0^{(n+1)t_0-x} f(l) dl dx [nC_n^n + (n-1)C_n^{n-1}(\varphi) \dots + C_n^1 + \dots + 1] = \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{\infty} (0,5)^i \alpha \left[\sum_{j=1}^i j C_j^i \right] \int_0^{(i+j)t_0-x} f(l) dl dx.$$

де $f(l)$ – закон розподілу тривалостей заниження рівня,
 α – густина розподілу початків занижень.

На рис. 3 подано результати розрахунку $P(\geq m, n)$ для кодових слів різної тривалості при одержаних параметрах заниження рівня сигналу. Для порівняння (пунктир) на цьому ж малюнку показано результати експериментальних вимірювань на реальних каналах даного типу. Як бачимо, ці залежності відрізняються дуже незначно.

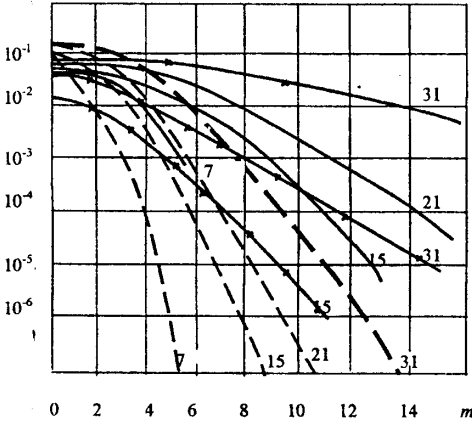


Рис. 3

Для порівняння (пунктир) на цьому ж малюнку показано результати експериментальних вимірювань на реальних каналах даного типу. Як бачимо, ці залежності відрізняються дуже незначно.

З метою оцінки впливу переривань на групування помилок було проведено статистичні вимірювання параметрів при різних значеннях смути. З урахування

проведених вимірювань дістано вираз для ймовірності помилки при дробленнях

$$P_0 = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\alpha_n}^{\beta_n} e^{-\frac{z^2}{2}} dz = \Phi(\beta_n) - \Phi(\alpha_n), \quad (6)$$

де $\Phi(x)$ – інтеграл імовірностей. При цьому границі інтегрування дорівнюють

$$\left. \begin{aligned} \alpha_n &= \frac{\ln a - m}{\sigma_s} \\ \beta_n &= \frac{\ln \beta - m}{\sigma_s} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

де σ_s – середньоквадратичне значення $\ln(l)$

В таблиці 2 наведено значення імовірностей помилок різної кратності за дістаними виразами.

Таблиця 2.

Проведені розрахунки й результати вимірювань i -кратних помилок в каналі з однією й тією самою смугою підтверджують гіпотезу про дроблення як основну причину помилкового приймання.

Діапазон тривалостей	Середня тривалість	Імовірність $P_0, \%$	Імовірність появи помилок різноманітної кратності %					
			0	1	2	3	4	
$(0-0.5)t_0$	0,25	20,0	17,5	2,5				
$(0,5-1)t_0$	0,75	37,1	23,7	14,25				
$(1-2)t_0$	1,5	32,4	14,4	16	2			
$(2-3)t_0$	2,5	7,6	1,85	3,8	1,95			
$(3-4)t_0$	3,5	2,9	0,66	0,66	0,532	0,98	0,08	
Σ		100	57,26	37,2	4,48	0,98	0,08	

На закінчення другого розділу розглянуто питання зв'язку коефіцієнта групування помилок та коефіцієнта кореляції при передаванні сигнальних конструкцій РЦК.

У зв'язку з тим, що багатопозиційні часові сигнали орієнтовані не лише на кодові ознаки, у третьому розділі розглянуто моделі потоку помилок при оцінці лінійних сигналів. При цьому сигнал та завада на виході порогового елемента подаються потоками прямокутних імпульсів (ППІ).

Наводиться методика розрахунку ймовірності помилки $P_{\text{пом}}$ за короткочасних переривань та знижень рівня сигналу.

$$P_{\text{пом}} = \frac{\bar{\gamma}_{2,2} \bar{\tau}_{2,2}}{\gamma_1 \tau_1} \quad (8)$$

Як видно з виразу (8), для розрахунку ймовірності помилки досить знання параметрів потоку завади чи параметрів потоку збігу: середньої частоти проходження імпульсів $\bar{\gamma}_{2,2}$ та середньої тривалості $\bar{\tau}_{2,2}$ імпульсів потоку збігів, оскільки параметри інформаційного потоку (середня частота $\bar{\gamma}_1$ та середня тривалість $\bar{\tau}_1$) зазвичай відомі чи легко можуть бути знайдені. Запропоновано й розроблено модель потоку стирань на основі подання сигналу й завади у вигляді потоку прямокутних імпульсів ППІ, котра дозволяє визначити середню частоту сигналів стирання. Для відомих моделей потоку стирання передбачається знання розподілу помилок в пакеті. Запропонована модель за відомих параметрів потоку завади, наприклад, імпульсів дроблень, дозволяє розрахувати середню частоту видавань сигналу стирання

$$\bar{\gamma}_{2,2} = \bar{\gamma}_1 \bar{\gamma}_2 (\bar{\tau}_1 + \bar{\tau}_2) \int_0^b \alpha_{2,2}(\tau) d\tau \quad (9)$$

де $\alpha_{2,2}(\tau)$ - густина ймовірності тривалості імпульсів потоку збігів.

Таким чином, досліджуючи параметри $\bar{\gamma}, \bar{\tau}$ та $\alpha(\tau)$ потоку збігів або потоку завади, можна здійснити оцінювання якості каналу.

На основі описаної моделі детектора якості (ДЯ), контролюючого тривалість кодової послідовності за впливу імпульсів дроблення, крайових спотворень, а також за їх сумісної дії показано, що ДЯ, де за контрольований параметр розглядається тривалість кодової послідовності, ефективніше застосувати за впливу імпульсів дроблень на передаваний сигнал. При крайових спотвореннях ефективність такого ДЯ спадає.

Встановлено, що зі зростанням величин параметрів потоку дроблень збільшується й середня частота проходження правильних $\bar{\gamma}_{\text{пст}}$ та хибних $\bar{\gamma}_{\text{хст}}$ стирань. Причому середня частота проходження імпульсів, відповідних хибним стиранням, зростає швидше.

Середня частота проходження імпульсів, відповідних невиявленим помилкам $\bar{\gamma}_{\text{невном}}$, зі зростанням величин параметрів потоку дроблень збільшується.

При розгляді впливу імпульсів дроблень було прийнято такі припущення: на одиничний елемент діє не більше одного імпульсу дроблення, моменти початків імпульсів дроблень розподілено за рівномірним законом, а тривалість дроблень розподілено за логарифмічно-нормальним законом. Крім того, враховувалось, що ідеальні границі сприйманих кодових посилок.

Одержані вирази для визначення $\bar{\gamma}_{\text{пст}}$, $\bar{\gamma}_{\text{хст}}$ та $\bar{\gamma}_{\text{невном}}$, що характеризують ефективність розглянутого ДЯ.

Досліджено вплив параметрів нормального закону розподілу крайових спотворень з нульовим середнім на імовірнісні характеристики ДЯ. Показано, що зі збільшенням дисперсії крайових спотворень та порогу стирання збільшується кількість стирань, видаваних ДЯ. В реальних каналах імпульси дроблення та крайові спотворення зазвичай діють на передаваний сигнал спільно.

Проведено аналіз ДЯ, оцінюючого якість дискретного каналу за рівнями двох робочих частот на виході частотного дискримінатора відносно рівня сигналу на середній частоті. Показано, що за малих співвідношень сигнал / шум ($h \ll 1$) ймовірність стирань дорівнює ймовірності появи імпульсної завади (розглядається вплив лише імпульсної завади), при чому ймовірність невиявленої помилки наближається до нуля.

Було промодельовано роботу ДЯ, контролюючих тривалість прийманих кодових посилок за невідомих їхніх ідеальних границь.

Показано, що імовірність ураження сигналу після порогового елемента дробленням

$$P_{др} = \frac{\phi(h)}{\tau_c} \int_0^{\tau_{п}} [1 - P_B(l)] dl, \quad (10)$$

де $h = \frac{u_c}{u_n}$; $P_B(l)$ – інтегрований розподіл імовірностей тривалості перевищення завади над сигналом; $\tau_{п}$ – тривалість плоскої вершини відеосигналу. Густина розподілу ймовірностей зміщення моментів спрацювання порогового елемента θ для систем з частотною модуляцією описується законом.

$$P_s(\theta) = \frac{4h}{\sqrt{2}} e^{-2h^2} \quad (11)$$

Порівняння виразів (10), (11) показує, що ймовірність помилкового приймання через дроблення $P_{др}$ на багато більше за ймовірність помилкового приймання через зміщення ЗМВ, що пояснює доцільність формування сигнальних конструкцій БЧК, в яких інформація про переданий символ міститься в місцях знаходження ЗММ.

Четвертий розділ дисертації присвячено питанням спільного використання параметричних та кодових методів виявлення помилок. При цьому об'єктом дослідження є сигнальні конструкції БЧК, в котрих поєднуються як лінійні, так і кодові ознаки. Розглянуто методи формування сигнальних конструкцій БЧК, наведено алгоритми збільшення пропускної здатності при рівномірних та нерівномірних конструкціях БЧК.

В кодових словах БЧК інформацію про передаваний символ закладено не в значенні двійкових цифр кодового слова (0,1), а в місцях генерування значущих моментів модуляції. При цьому за базовий обрано елемент $\Delta < t_0$ ($\Delta = \frac{t_0}{S}$, $S \in 1, 2, \dots, n$), а відстань поміж ЗММ $\tau_c \geq t_0$.

На рис. 4 наведено декілька реалізацій сигналів БЧК при $i = 3$, $S = 5$ на інтервалі $T_c = 5t_0$.

Показано, що середнє число \bar{n} ЗММ визначається

$$\bar{n} = \sum_{n=1}^m \frac{n C_{mS-n(S-1)}^2}{C_{mS-n(S-1)}^n} \quad (12)$$

Втрати в каналі через невизначеність у приманні кодової сигнальної конструкції визначається виразом

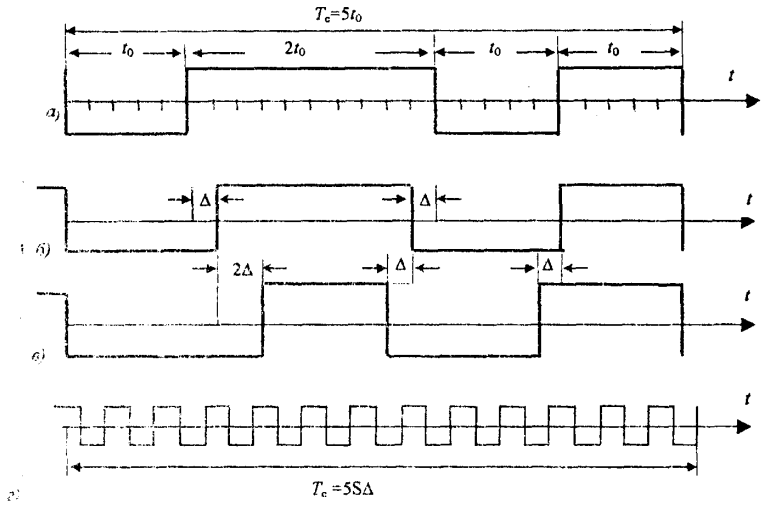


Рис. 4

$$H_{\text{стр}} = - \left[P_B \log P_B + (1 - P_B) \log \frac{1 - P_B}{N_{\text{PE}} - 1} \right], \quad (13)$$

де $P_B = \left[2F \left(\frac{\Delta}{2\sigma} \right) \right]^n$ – ймовірність правильного приймання сигнальної конструкції. Пропускна здатність каналу в такому разі дорівнює

$$C = \frac{1}{m} \left(\log_2 N_{\text{PE}} - H_{\text{стр}} \right), \frac{\text{бит}}{\text{символ}}, \quad (14)$$

де N_{PE} – число реалізацій сигналів на інтервалі m ;

m – інтервал тривалості сигнальної конструкції в елементах $\left(m = \frac{T_c}{t_0} \right)$.

Для виявлення помилок як критерій правильності приймання сигнальної конструкції використовуються співвідношення поміж місцями знаходження значущих моментів модуляції

$$A_1 X_1 + A_2 X_2 + \dots + A_n X_n = 0 \pmod{A_0} \quad (15)$$

де X_i – місця генерації ЗММ.

При цьому коефіцієнти A_i визначаються через кодові відстані з таким розрахунком, аби забезпечити ймовірність помилкової трансформації одного дозволеного кодового слова в інше не менше за задану.

для парного d :

$$\left. \begin{aligned} A_{i-k} &= A_{(i-k)/2} \left(\frac{d-1}{2} - 1 \right) + \frac{d}{2}; \\ A_0 &= A_1 \frac{d}{2} + \frac{d}{2} \end{aligned} \right\}$$

для непарного d :

$$\left. \begin{aligned} A_{i-k} &= A_{(i-k)/2} \left(\frac{d-1}{2} \right) + \frac{d-1}{2}; \\ A_0 &= A_1 \frac{d-1}{2} + \frac{d-1}{2} \end{aligned} \right\}$$

де $i \rightarrow 1$ число ЗММ в кодовій конструкції; $k \leq i$.

Враховуючи лінійність операції підсумовування за модулем, вираз за-
вади E можна подати

$$A_i e_i + A_{i-1} e_{i-1} + \dots + A_1 e_1 = \sum_{j=1}^i A_j e_j \pmod{A_0}. \quad (17)$$

Якщо сума рівняння за модулем A_0 дорівнює 0, то помилку не буде ви-
явлено.

В роботі показано, що якщо коефіцієнти A_i обрати за правилом $A_i = (2e_0 + 1)^{i-1}$, $i = 1, 2, \dots, n$ (e_0 – величина виправлюваної помилки зміщення), то такий код виправляє всі помилки кратності $i \leq n$ величиною $\lfloor \frac{1}{2} \Delta \rfloor \geq e_0$. В такому разі кожному векторові помилок E відповідає єдиний синдром, який дозволяє однозначно виправити помилку на виході каналу.

В роботі вставлено верхню границю для кодової відстані за умови, що задано залишкову імовірність помилкового приймання сигнальної кон-
струкції

$$\phi \left[\frac{(d-1+0,5)\Delta}{\sigma} \right] - \phi \left[\frac{(d-1-0,5)\Delta}{\sigma} \right] \leq 10^{-K_c}, \quad (18)$$

де K_c – показник ступеня імовірності невиявленої помилки.

Для швидкості передавання інформації в системах з розв'язувальним
зворотнім зв'язком при БЧК маємо

$$R = \frac{E^* [\log_2 N_{\text{св}}]}{T_c} \cdot \frac{P_s}{(1-P_s)M + P_s}, \quad (19)$$

де P_s – ймовірність вірного приймання сигнальної конструкції; M – число
повторень.

Значення імовірності вірного приймання при зміщенні ЗМВ знаходи-
ться

$$P_s = \left\{ 2\Phi \left[\frac{\Delta(2e_0 + 1)}{2\sigma} \right] \right\}^n \quad (20)$$

Імовірність невиявленої помилки при $n = 3$ визначається

$$P_{\text{нвп}} = P(0) \cdot P(d-1) \cdot P(1), \quad (21)$$

де $P(i)$ – імовірності зміщень ЗМВ на число зон 0 ; $d-1$; 1 .

При цьому

$$P(0) = 2\phi\left(\frac{\Delta}{2\sigma}\right). \quad (22)$$

Оскільки повторення сигнальної конструкції відбуватиметься тоді, коли хоч би одна координата вектора помилки матиме величину $e > e_0$, то для ймовірності повторення маємо

$$P_{\text{повт}} \approx i \left\{ \phi\left(\frac{(e_0 + 1,5)\Delta}{\sigma}\right) - \phi\left(\frac{(e_0 + 0,5)\Delta}{\sigma}\right) \right\} \quad (23)$$

В роботі приведені результати статистичних вимірювань якості передачі на реальних каналах, які зазнають переривань сигналу й знижень рівня. Для прикладу в таблиці 3 наведені параметри спотворень сигналів БЧК при $A_1 = 1$; $A_2 = 3$; $A_3 = 9$; $A_0 = 21$ $s = 7$ для каналу $3\Delta F = 700$ Гц, $B = 600$ Бод.

Таблиця 3

Спотворення	Збільшення ЗМВ	Зменшення ЗМВ	Зміщення ЗМВ ($\theta > \Delta/2$)
імовірність	1,85 · E - 02	5,3 · E - 04	8,2 · E - 03

Із таблиці виходить, що для приведених значень зміщень $\theta = 0,03 t_0$. Імовірність дроблень сигналів близька імовірності зміщень ЗМВ за границі зони. Більша частина спотворень виявляється підрахунком числа ЗМВ, а решта перевіркою зберігання рівняння (15).

В роботі розроблений алгоритм спільного використання БЧС з неперервними кодами Фінка-Хагельбаргера з кроком підсумовування γ , виправляючого пакети посилок $l_{\text{п}} = 2\gamma$ з захисним інтервалом $l_3 = 6\gamma + 1$. Доказана можливість збільшення швидкості передачі до 2 разів.

У висновках наведено основні результати, дістані в дисертаційній роботі:

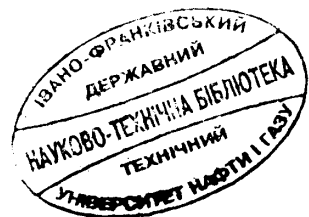
1. Систематизовано методи підвищення правильності передавання дискретної інформації в низових ланках АСК на базі блокових кодів, котрі задовольняють часовим та ймовірнісним критеріям якості.
2. Визначено імовірнісні й параметричні характеристики при використанні в реальних каналах найпростіших надлишкових кодів. Наведемо методку розрахунку параметрів коду для системи ПД низової ланки АСК.
3. Встановлено взаємозв'язок спотворень лінійних сигналів та параметрів потоку помилок. Проведено аналіз впливу параметрів дроблень сигналу на параметри потоку помилок.

4. Дістано аналітичний вираз для середньої частоти стирань через параметри дроблень кодових сигналів.
5. Встановлено границі зміни пропускної здатності при використанні сигнальних конструкцій БЧК в реальних каналах.
6. Одержано аналітичні вирази параметричних та імовірнісних характеристик систем з розв'язувальним зворотним зв'язком при використанні БЧК.
7. Дано аналіз впливу параметрів сигнальних конструкцій БЧК на параметри системи з РЗЗ.
8. Проведено порівняння систем з РЗЗ при надлишкових розрядно-цифрових кодах та сигнальних конструкціях БЧК.
9. Проведено статистичні вимірювання спотворень параметрів БЧК на реальних каналах зв'язку, алгоритми використання їх в системах з вирішальним зв'язком.

**Матеріали дисертаційної роботи знайшли відбиття
в таких публікаціях:**

1. Улеев А.П. Методы повышения верности передачи дискретной информации // Методы повышения эффективности использования каналов связи. – К.: Техника, 1998. – С. 152 - 190.
2. Улеев А.П., Захарченко В.Н. Основы теории передачи информации // Методы повышения эффективности использования каналов связи. – К.: Техника, 1998. – С. 6-45.
3. Зименко А.В., Улеев А.П., Хенди Амаджад Юсеф. Зависимость ошибочного приема сигнальной конструкции от величины группировки ошибок в системах с РОС // Сб. трудов УГАС «Информатика и связь», 1998. – С. 217-220.
4. Захарченко В.Н., Топалов В.В., Улеев А.П. Вероятность ошибочного приема сигнальной конструкции избыточного МВК при i -кратном повторении // Радиотехника. Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. Харьковский государственный технический университет радиозлектроники. -1999 – №111, -С. 37-39.

5. Захарченко В.Н., Улеев А.П., Липчанский А.И. Эффективность исправления ошибок смещения ЗМВ в системах с РОС // Вестник Харьковского государственного политехнического университета, 1999.- №35. –с. 85-91.
6. Киреев И.А., Захарченко В.Н., Улеев А.П. Сжатие информации в системах передачи данных при использовании многопозиционных временных сигналов // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. -1999.-№35.-с.100-104.
7. Захарченко В.Н., Топалов В.В., Улеев А.П. Группирование ошибок на интервале сигнальной конструкции разрядно-цифрового кода // Радиотехника. Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. – Харьков: Харьковский государственный технический университет радиоэлектроники. 1998. – №108. –С. 227-232.
8. Зименко А.В., Улеев А.П., Драганов А.В., Скорость вхождения в фазу стартового приемника системы, использующей МВК // Радиотехника. Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. – Харьков: Харьковский государственный технический университет радиоэлектроники. -1998. – №108. – С. 216-220.
9. Гайворонская Г.С., Улеев А.П. Сети документальной связи // Сети телекоммуникаций. –К.: Техника, 2000. –С. 122-135.



АННОТАЦИЯ

УЛЕЕВ АЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ

Эффективность оценки качества приёма МВК по кодовым признакам и параметрам линейного сигнала

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 — телекоммуникационные системы и управление ими. Украинская государственная академия связи им. А.С. Попова; Одесса, 2000.

Диссертационная работа посвящена вопросам повышения эффективности использования каналов связи за счёт формирования сигнальных конструкций, позволяющих оценивать качество приёма по параметрам линейного сигнала многопозиционных временных кодов.

На основе статистических измерений определена степень группирования ошибок в пределах сигнальной конструкции, проанализирована эффективность использования кодов Абрамсона и Файра, исправляющих пакеты локализованных ошибок, подтверждена гипотеза о прерываниях и занижениях уровня, как основных факторах ошибочного приёма. В работе проведен анализ модели канала, основанной на двух независимых потоках прямоугольных импульсов, параметры которых отображают источник сообщения и канал связи, предложены детекторы качества сигнала, позволяющие уменьшить избыточность кода при заданном качестве приёма.

Показано, что в системах с разрядно-цифровыми кодами запас надёжности приёма элемента за счёт влияния смещений значащих моментов модуляции на несколько порядков выше по сравнению с запасом по уровню сигнала; предложен алгоритм формирования сигнальных конструкций с базовым элементом $\Delta < t_0$; проанализированы методы обнаружения и исправления некоторых классов ошибок в таких сигнальных конструкциях; с целью использования многопозиционных временных кодов в системах с решающей обратной связью или при односторонней передаче с i -кратным повторением установлены соотношения между параметрами кодов и кодовым расстоянием; предложены алгоритмы совместного использования непрерывных разрядно-цифровых кодов и многопозиционных временных сигналов. Проведены статистические измерения параметров систем на базе многопозиционных временных кодов.

Ключевые слова: МНОГОПОЗИЦИОННЫЕ ВРЕМЕННЫЕ КОДЫ, СИНДРОМНОЕ ИСПРАВЛЕНИЕ, РЕШАЮЩАЯ ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ, ВНЕШНИЙ И ВНУТРЕННИЙ КОДЫ.

АНОТАЦІЯ

УЛЄЄВ ОЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ

Ефективність оцінки якості прийому БЧК за кодovими ознаками і параметрами лінійного сигналу

Дисертація на здобуття вченого ступеню кандидата технічних наук зі спеціальності 05.12.02 - телекомунікаційні системи й управління ними. Українська державна академія зв'язку ім. А.С. Попова; Одеса, 2000.

Дисертаційна робота присвячена питанням підвищення ефективності використання каналів зв'язку за рахунок формування сигнальних конструкцій, що дозволяють оцінити якість прийому по параметрах лінійного сигналу і багатопозиційних часових кодів. Запропоновано алгоритми формування коротких кодових слів, що забезпечують можливість одержати більш ніж у два рази більшу швидкість передачі як в односторонніх системах, так і в системах з ВЗЗ при заданій якості прийому

Визначено імовірнісні характеристики систем на базі багатопозиційних часових кодів, проведені статистичні вимірювання параметрів на реальних каналах зв'язку.

Ключові слова: БАГАТОПОЗИЦІЙНІ ЧАСОВІ КОДИ, СИНДРОМНЕ ВИПРАВЛЕННЯ, ВИРІШАЛЬНИЙ ЗВОРОТНИЙ ЗВ'ЯЗОК, ВІДНОШЕННЯ ПРАВДОПОДІБНОСТІ.

SUMMARY

ULEEV ALEXANDR PETROVICH

Efficiency of evaluation of the receiving quality of multiposition time codes by code characteristics and linear signal parameters.

Thesis for the application for the scientific degree of the candidate of technical sciences on the speciality 05.12.02 Telecommunication systems and their management - Ukrainian State Academy of Telecommunication named after A.S. Popov; Odessa, 2000.

The dissertation is devoted to the problems of the efficiency increase of using telecommunication channels basing on the signal construction formation allowing to evaluate the receiving quality by linear signal parameters and multiposition time codes (MTC). The algorithms of short code words have been suggested that allow both in one - way systems and in solving feedback systems (SFS) with the preset receiving quality to get more than two times greater transmission rate.

The probability characteristics of the systems basing on the multiposition time codes have been determined, the statistic measurements of the parameters in the real telecommunication channels have been carried out.

Key words: MULTIPOSITION TIME CODES, SYNDROME CORRECTION, SOLVING FEEDBACK, CORRECT DECISION PROBABILITY.

