

МЕТОДИКА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОСТІ ПРОДУКТИВНОСТІ ДЖЕРЕЛА ПОВІДОМЛЕНЬ ЗА УМОВ ДОСЯГНЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ

Уривський Л.О., Корнієнко А.А.

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: leonid_uic@ukr.net, and.korniienko@gmail.com

METHOD OF ENSURING CONSTANCY OF THE MESSAGES SOURCE PRODUCTIVITY UNDER CONDITIONS OF ACHIEVING MAXIMUM COMMUNICATION CHANNEL PRODUCTIVITY

The report outlines a methods that is to establish relationships between the initial rate of symbols transmission in the information system (the initial state of the system before encoding) and the encoding speed, which will ensure the condition of constancy of the message source productivity (future state of the system with increasing channel data rate).

Основною задачею існуючих та перспективних телекомунікаційних систем є передача заданого об'єму інформації для задоволення зростаючого попиту користувачів до інформаційних послуг. При цьому оцінка якості цих систем часто базується виключно на критеріях достовірності. Разом з тим, актуальною для цифрових систем зв'язку є задача забезпечення ефективності використання обмежених енергетичних та частотних ресурсів.

Отже, сучасні системи електронних комунікацій мають напрямок розвитку у бік збільшення швидкості передачі інформації. Але збільшення швидкості потребує використання додаткових ресурсів каналу зв'язку та інструментів підтримання заданої достовірності передачі при певних енергетичних обмеженнях.

Метою доповіді є дослідження методики підтримання сталої швидкості передавання інформації джерела за рахунок використання додаткових ресурсів каналу зв'язку, в основу якої покладені рекомендації щодо вибору типу модуляції та параметрів завадостійкого кодування.

Актуальність дослідження полягає у новітньому підході до вирішення задачі забезпечення високоякісного зв'язку при сталій продуктивності джерела повідомлень шляхом розширення частотної смуги передачі з метою залучення ресурсу системи зв'язку для підтримання необхідної достовірності передачі.

Об'єктом дослідження є канал телекомунікацій та його властивість підтримувати сталу швидкість передавання інформації джерела повідомлень шляхом вибору необхідних параметрів системи передачі, а саме, швидкості передавання символів та структури завадостійкого коду.

Постановка задачі. Відомі методики забезпеченні потрібної достовірності передавання інформації в дискретному каналі зв'язку при його сталих ресурсах:

полосі частот та енергетичних параметрах на основі вибору коригуючих кодів, максимально наближених до границі Шеннона [1, 2].

В цих методиках використано відомий взаємозв'язок продуктивності R та пропускної здатності C в дискретному каналі при використанні надлишкового кодування, а саме:

- значення пропускної здатності за формулою (1.1):

$$C = V_C \left[\log_2 M + p_{\text{сим}} \cdot \log_2 \frac{p_{\text{сим}}}{M-1} + (1 - p_{\text{сим}}) \cdot \log_2 (1 - p_{\text{сим}}) \right], \quad (1.1)$$

- та продуктивності за формулою (1.2):

$$R = \frac{k}{n} \cdot V_C \cdot \log_2 M \left[1 + p_{\text{біт_декод}} \cdot \log_2 p_{\text{біт_декод}} + (1 - p_{\text{біт_декод}}) \cdot \log_2 (1 - p_{\text{біт_декод}}) \right], \quad (1.2)$$

де V_C – швидкість передавання модульованих символів у каналі зв'язку;

M – кратність багатопозиційної маніпуляції;

$\log_2 M$ – кількість біт у одному символі, який передається у каналі зв'язку;

$k / n = r_k$ – швидкість кодування в блоці довжиною n , в якому k біт є інформаційними символами джерела повідомлень.

Отже, для економії частотного ресурсу в сучасних системах зв'язку використовується багатопозиційна маніпуляція: в каналі без надлишкового кодування $V_C = V_R / M$, де V_R – швидкість передавання інформаційних символів джерела повідомлень.

Адже сигнали багатопозиційної маніпуляції більш вразливі до дії завад, ніж сигнали бінарної маніпуляції, їх завадостійкість зменшується із зростанням показника M .

Завдання надлишкового коду полягає у забезпеченні потрібної достовірності прийому прийнятих та декодованих біт $p_{\text{біт_декод}}$, які надходять до приймача повідомлень.

Визначення бітової помилки після декодера проводиться за наступною формулою (1.3) [3]:

$$p_{\text{біт_декод}} = \frac{1}{n} \sum_{j=S+1}^n j \cdot C_n^j p_{\text{біт}}^j (1 - p_{\text{біт}})^{n-j} \quad (1.3)$$

Вирішення задачі дослідженні передбачає модернізацію методики синтезу коригуючих кодів при фіксованих ресурсах каналу зв'язку [1,2] відносно нових вимог щодо сталості продуктивності джерела та збереження якості передачі інформації [4].

В даному випадку методика має передбачати збільшення використання частотного ресурсу, оскільки частина ресурсу буде відокремлюватися на інструменти забезпечення достовірної передачі інформації, а саме на кодування [5, 6].

Складність полягає в тому, що заздалегідь невідомо, який вплив матимуть параметри коду на фінальну продуктивність каналу зв'язку при сталій продуктивності джерела.

В [5] досліджено закономірність, яка полягає в тому, що збільшення

швидкості передавання символів в каналі зв'язку породжує 2 тенденції:

- згідно формули (1) зростає пропускна здатність C каналу, але знижується завадостійкість прийому;
- для підтримки потрібної достовірності прийому (1.3) за зростаннями ймовірності помилки в прийомі символів зменшується швидкість кодування $k/n = r_k$, і, як наслідок, зростає різниця між пропускною здатністю C каналу та його продуктивністю R згідно виразу (1.2).

Протилежність вказаних тенденцій породжує екстремуми продуктивності R при певних значеннях V_C и r_k .

Рисунок 1 ілюструє існування екстремумів для сигналів QAM-16 та QAM-64.

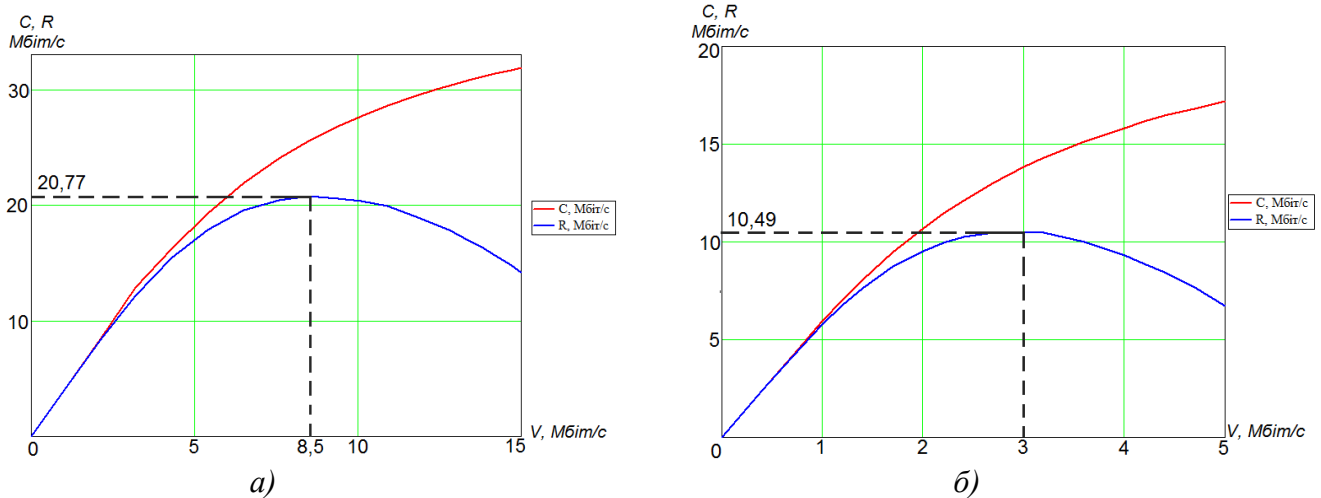


Рис. 1. Графік пропускної здатності та продуктивності при $\alpha=32$ МГц, $n=1000$ (QAM-16 – а) та QAM-64 – б)).

Досліджені закономірності узагальнено графічно (рис.2), на якому відображено залежність продуктивності R та параметру α від довжини блоку коду n .

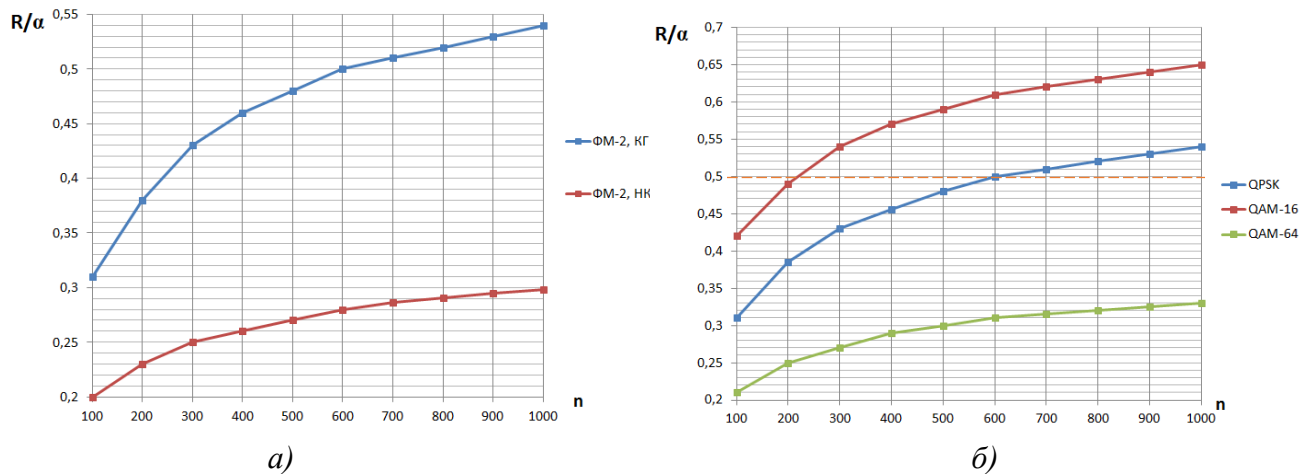


Рис. 2. Залежність продуктивності R та параметру α від довжини блоку коду n для видів маніпуляції ФМ-2 (когерентний, та некогерентний прийом – а)) та QPSK, QAM-16, QAM-64 (графіки б)).

За результатами апроксимації цих залежностей отримано аналітичні вирази, представлені в табл. 1 [6].

Таблиця 1. Залежність значення екстремуму R і параметра α .

Апроксимація	QPSK	QAM-16	QAM-64
Логарифмічна	$\frac{R}{\alpha} = 0,1 \cdot \ln(n) + 0,32$	$\frac{R}{\alpha} = 0,1 \cdot \ln(n) + 0,42$	$\frac{R}{\alpha} = 0,05 \cdot \ln(n) + 0,2$

Параметр α є одним з енергетичних параметрів каналу зв'язку:

$$\alpha = P_C / N_0, \quad (1.4)$$

де P_C – потужність сигналу в точці прийому;

N_0 – спектральна щільність потужності завади.

Особливість параметру α полягає у тому, що його компоненти є фіксованими в точці прийому і не залежать від інформаційних параметрів каналу зв'язку на відміну від традиційного енергетичного показника каналу – так зване відношення сигнал/ шум h^2 :

$$h^2 = P_C / P_{\text{ш}} = E_C / N_0 = P_C / (N_0 * V_C) = \alpha / V_C. \quad (1.5)$$

Зміст нової методики. Ідея запропонованої нової методики полягає у встановленні взаємозв'язків між початковою швидкістю передавання символів V_R в системі передачі інформації (початковий стан системи до кодування) та той швидкістю кодування r_k , яка забезпечить умову незмінності продуктивності джерела повідомлень $V_R = R$ (майбутній стан системи при збільшенні каналної швидкості передачі інформації).

Кінцевим завданням методики є досягнення показника $V_R = R$ при необхідній достовірності $p_{\text{біт_декод}}$ та визначеним значенням швидкості передавання символів в каналі зв'язку $V_C > R$ з урахування багатопозиційності сигналу M і надлишкового кодування.

Таблиця 2. Максимальні значення R при різних α ($n=1000$, QAM-16).

α , МГц	V_C , Мбіт/с	C , Мбіт/с	R , Мбіт/с	$p_{\text{сум}}$	$p_{\bar{0}}$	$p_{\bar{0}k} * 10^{-6}$	S	k
20	5,6	16,367	12,969	0,132	0,070	0,75	107	579
40	10,9	32,298	25,941	0,126	0,067	0,84	103	595

На підставі аналізу даних, наведених у [6], подібних даним у Таблиці 2, визначено, що для видів модуляції: QPSK, QAM-16, QAM-64 в точці максимального значення продуктивності каналу R мають місце наступні параметри сигналів:

$$p_{\text{сум}} = 0,113 \dots 0,132; \quad p_{\bar{0}} = 0,057 \dots 0,070;$$

$$p_{\bar{0}k} < 1 * 10^{-6} \quad (0,59 \dots 0,96 * 10^{-6}).$$

Отже, різниця в параметрах сигналу в точці R_{MAX} значною мірою схожі.

Більш того, для видів маніпуляції в точці R_{MAX} має місце значення $r_k \approx 0,6$ для QAM-16, QAM-64 при $n = 1000$ і $r_k \approx 0,5$ для QPSK при $n = 1000$ (залежність від значення n не дуже суттєва).

Отже, задачу пошуку оптимального значення r_k вирішено.

Якщо звернутися до формули (1.2), то, з урахуванням $p_{\delta k} < 1 \cdot 10^{-6}$, можна записати:

$$R = r_k \cdot V_C \cdot \log_2 M, \quad (1.6)$$

або:

$$V_C = \frac{R}{r_k \cdot \log_2 M}. \quad (1.7)$$

Із (1.7) можна зробити висновок, що для кожного значення R становиться відомою потрібна швидкість передавання сигналів в каналі V_C .

Вибір оптимального (для заданого $V_R = R$) значення M можливо за наступними кроками.

Виходячи із реального каналу зв'язку, слід визначити його параметр

$$h^2 = P_C / P_{ш} = \alpha / V_C$$

за початкових умов $V_C = V_R$. В такому разі $\alpha = h^2 * V_R$. Отже є можливість визначити показник R/α для того, щоб скористатися залежностями $R/\alpha (M, n)$ на Рис. 2 за правилом: припустимі значення (M, n) належать області $\{ R/\alpha > R/\alpha (M, n) \}$.

Наприклад, при $R/\alpha = 0,5$ (рис.2) можливо досягнення необхідної продуктивності: для QAM-16 при $n > 200$, для QPSK при $n > 600$. Для QAM-64 даний показник недосягнений.

Кінцевим кроком є вибір оптимального M і можливість скористатися формулою (1.7) для визначення V_C для потрібного значення R .

Вибір відповідного виду багатопозиційної модуляції здійснюється за критерієм мінімальної полоси каналу зв'язку відповідно до співвідношення: $\Delta F = V_C$.

Такий вибір можливий при аналізі залежностей продуктивності R та полоси передавання ΔF від параметра h^2 (рис.3). Рисунок 3 виконаний на підставі даних за дослідженням [6] за умов: $\alpha = 32$ МГц; $n = 1000$.

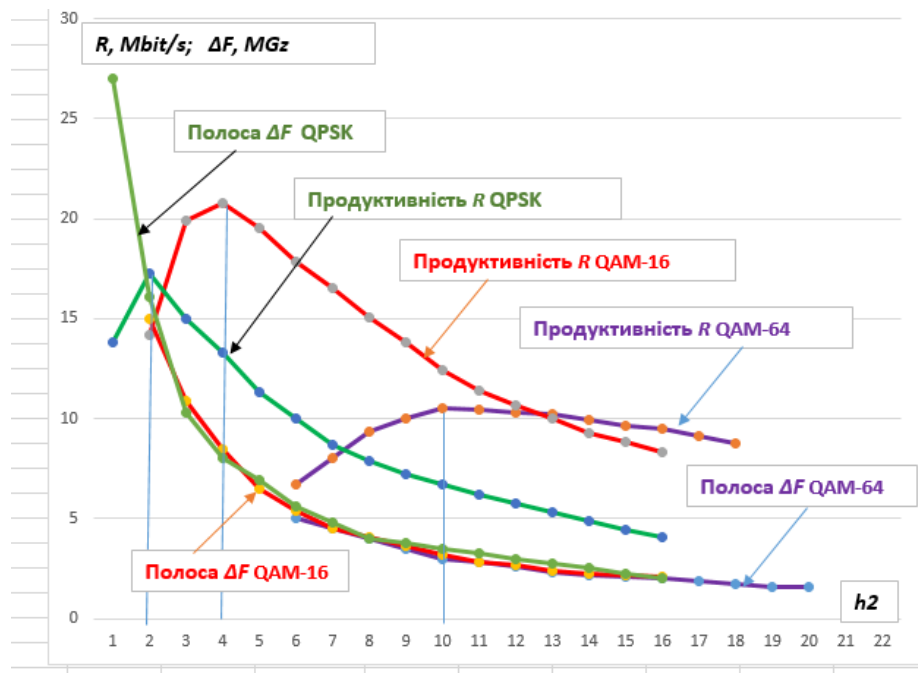


Рис. 3. Залежності продуктивності R та полоси передавання ΔF від параметра h^2 .

Користуючись даними рис.3, складемо таблицю рекомендованих значень для M в залежності від потрібної сталої продуктивності джерела $V_R = R$.

Таблиця 2. Рекомендовані види модуляції для заданих показників R , Мбіт/с при визначеному параметрі h^2 ($\alpha = 32$ МГц, $n = 1000$).

R , Мбіт/с	до 10			10...18		18...21
h^2	до 2	2...6	> 6	1..2	>2	2...4
Вид модуляції	QPSK	QAM-16	QAM-64	QPSK	QAM-16	QAM-16
$\log_2 M$	2	4	6	2	4	4
ΔF , МГц	до 10	0..5	0...3	18...26	3...8	8...12
R/α	до 0,31			0,31...0,56		0,56...0,65

Слід зауважити, як можна бачити на прикладі даних Таблиці 2, значення продуктивності R масштабуються пропорційно значенню показника α .

Висновки. Відомі результати [1, 2] містять відомості про методику визначення параметрів завадостійкого коду для випадку сталості частотно-енергетичних параметрів каналу зв'язку. Надлишковість кодування при цьому зменшує обсяг передаваної інформації джерела повідомлень.

Результати досліджень [5, 6] виявили наявність екстремуму продуктивності джерела R при динаміці швидкості передавання символів V_C у каналі.

В [4] вперше було сформульовано задачу синтезу методики визначення параметрів надлишкового коду за умов сталості швидкості передавання символів джерела повідомлень за рахунок використання додаткового частотного ресурсу ΔF каналу зв'язку.

В доповіді, на підставі аналізу даних, наведених у [6], запропоновано методику визначення параметрів завадостійкого кодування (n, r_k) при різних видах багатопозиційної модуляції M при заданій сталій швидкості передавання символів джерела V_R . Кінцевим завданням методики є досягнення показника $V_R = R$ при необхідній достовірності $p_{\text{біт_декод}}$ та визначеним значенням швидкості передавання символів в каналі зв'язку $V_C > R$ з урахування багатопозиційності сигналу M і надлишкового кодування.

Література

1. Уривський Л.О., Пешкін А.М. Методика оцінки граничної інформаційної ефективності завадостійких кодів// Information and Telecommunication Sciences, – К.: NTUU 'KPI'. – 2016. – № 2. – р.70-74.
2. Uryvsky L., Moshynska A., Peshkin A., Gryaznov D. The Signal-Code Construction Method with Maximum Approach to the Communication Channel Throughput / The scientific heritage, Budapest, Hungary. – No 22 (2018), P.1. – р.р. 28...33.
3. Основи теорії телекомунікацій / Підручник / За заг. ред. проф. Ільченка М.Ю. - К.: ІССЗІ НТУУ «КПІ», 2010. – с.786, іл.
4. Уривський Л.О., Корнієнко А.А. Методика визначення параметру швидкості кодування за алгоритмом управління ситуацією в каналі зв'язку при незмінності продуктивності джерела повідомлень / XV міжнародна науково-технічна конференція "ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ" 12–16 квітня 2021 року/ Матеріали конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – с.62-65.
5. Уривський Л.О., Вергун С.М., Мошинська А.В. Аналіз продуктивності завадозахищених систем передавання дискретної інформації // Наукові вісті. – НТУУ «КПІ», № 2, 2016, с. 7...13.
6. Уривський Л. А., Прокопенко Е. А., Вергун С. Н. Исследование экстремумов производительности в дискретных каналах связи с кодированием // Наукові записки УНДІЗ. – 2014. №.5(33) – с. 20-26.