

УДК 621.317.73

DOI: 10.31891/2219-9365-2019-63-1-54-61

МАКАРИШКІН Д. А.,  
КИСІЛЬ Т. М.,  
КАРПОВА Л. В.,  
ДРАБИНКА О. С.

Хмельницький національний університет

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЗОСЕРЕДЖЕНИХ ЗАВАД НА СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ЗІ ЗГОРТКОВИМ КОДУВАННЯМ

*В статті описаний аналіз впливу зосереджених завад на системи передачі інформації зі згортковим кодуванням. Розглядається структура алгоритму згорткового декодування Вітербі, яка дозволяє здійснювати його внутрішню адаптацію при різних внутрішніх умовах. Проводиться дослідження умов роботи алгоритму згорткового декодування Вітербі, які забезпечують рівень завади, за якого даний алгоритм знову стає працездатним. Встановлено, що в умовах впливу зосереджених по спектру завад великого рівня здійснюється різке погіршення коректуючої здатності згорткових кодів.*

*Ключові слова:* завади, алгоритм згорткового декодування Вітербі, ймовірність помилок, перекоження символів.

MAKARYSHKIN D.,  
KYSIL T.,  
KARPOVA L.,  
DRABYNKA O.

Khmelnitskyi National University

## ANALYSIS OF THE INTERVENTION OF INTERVENTIONED LOSS ON THE TRANSMISSION OF INFORMATION WITH SCREEN CODING

*The article describes the analysis of the influence of concentrated impediments on information transfer systems with convolutional encoding. The structure of the Viterbi convergent decoding algorithm is considered, which allows for its internal adaptation under different internal conditions. The study of the conditions of the Viterbi rollout algorithm, which provides a level of interruption, at which this algorithm becomes operational again, is carried out. It was established that under conditions of influence of large-scale luminescent spectrum, a sharp deterioration of the correction capacity of convolutional codes is carried out. There are various ways to decode convolutional codes based on the interleaving and de-interleaving of digital characters to deal with error groups as a result of fading signals. As a result of interleaving, consecutively badly distorted characters are spaced apart in time and can be successfully used for convolutional decoding according to the Viterbi algorithm. However, when using interleaving, it is possible to make the wrong choice of the best path on the grid and, accordingly, to incorrectly decode some portion of the transmitted information correspondence. Since each path metric is calculated according to the same rule, this corresponds to the assumption that the average noise level over the entire length of the path remains constant. In other words, the value of the contribution of each character in the formation of the total metric of each path must be different, and in the standard Viterbi algorithm this adjustment is not made. The purpose of the convolutional code decoding method is to reduce the likelihood of decoding error and to increase the noise immunity of the transmitting information. It is known that the basic principle of the "soft" method of decoding according to the Viterbi algorithm is to choose the path on the lattice diagram, which generally has a minimum metric, that is, the minimum sum of Euclidean distances for all accepted characters from the code variant corresponding to each character, to the value of the voltage obtained from the demodulator output when this symbol arrive. Each variant of the path corresponds to a specific variant of the correspondence of the transmitted symbols, the path with the smallest metric corresponds to the most probable transmitted correspondence of the symbols. According to the maximum likelihood method, it is necessary to select the most probable ones from all possible sequences of the received symbols. Suppose that the probability of the  $q$ th variant of the sequence is  $P_q$ , then we must find the number  $q$  with which the maximum value  $\{P_q\}$  is provided.*

*Keywords:* obstacles, algorithm of convolutional decoding of viterbi, probability of errors, interleaving of symbols.

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день розвиток системи передачі інформації по радіоканалам має тенденцію, яка полягає в безперервному збільшенню кількості радіовипромінювальних засобів за рахунок розвитку сучасних систем передачі інформації. Збільшення кількості джерел радіовипромінювання, в тому числі від промислового обладнання та транспорту. Одночасно при цьому повинні зберігатися вимоги на якісні характеристики, які відзначають важливу наукову та практичну проблему, що полягає в розробці нових методів та алгоритмів розробки сигналів для підвищення завадостійкості систем передачі інформації в умовах дії завад. Ця проблема може бути вирішена за рахунок підвищення характеристик шляхом модифікації, яка має алгоритм згорткової обробки сигналів. Широке засосування в системах передачі цифрової інформації знайшли згорткові коди. Вони використовуються в системах мобільного та супутникового зв'язку, в модемах для телефонних ліній зв'язку та в інших радіотехнічних системах. Згорткові коди розглядалися у роботах таких вчених, як Л.М. Финк, А.Г. Зюко, В.Л. Банкет, Э.Вітербі, Дж. Кларк, Дж. К. Омур, Дж. Хеллер та ін. Особливо ефективним рахується

алгоритм згорткового декодування, вперше запропонований Э. Вітербі. Але в сучасних умовах ефективність багатьох методів згорткової обробки сигналів є недостатнім. Ці методи розроблялися для роботи в умовах дії апаратурних шумів. При наявності зовнішніх завад або завмирання сигналів існуючі методи згорткової обробки сигналів вже не забезпечують необхідної якості передаючої інформації, а при деяких умовах може виникнути повний зрив зв'язку. В той час є можливість здійснити внутрішню адаптацію деяких методів згорткової обробки сигналів, що підвищують завадостійкість за різних умов роботи.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Існують різні способи декодування згорткових кодів, основані на перемеженні і депереженні цифрових символів для боротьби групами помилок в результаті впливу завмирання сигналів. В результаті перемеження ідучи підряд сильно спотворені символи терплять рознесення часі і в подальшому можна успішно використовувати згорткове декодування відповідно алгоритму Вітербі.

Проте при використанні перемеження можливий неправильний вибір найкращого шляху по решітці і, відповідно, неправильне декодування якоїсь ділянки переданої інформаційної відповідності. Оскільки, кожна метрика шляху обчислюється по одному і тому ж правилу, це відповідає допустимості, що середній рівень шуму на всій довжині шляху залишається постійним. Іншими словами, величина внеску кожного символу в формуванні сумарної метрики кожного шляху повинна відрізнятися, а в стандартному алгоритмі Вітербі дане коректування не здійснюється.

Задачею методу декодування згорткових кодів є зниження ймовірності помилки при декодуванні і підвищення завадостійкості передаючої інформації. Як відомо, основний принцип «м'якого» способу декодування по алгоритму Вітербі заключається у виборі того шляху по решітковій діаграмі, який в цілому має мінімальну метрику, тобто мінімальну суму евклідових відстаней по всім прийнятим символам від варіанта коду, який відповідає кожному символу, до значення напруження, одержаного з виходу демодулятора під час приходу цього символу [1]. Кожний варіант шляху відповідає визначеному варіанту відповідності переданих символів, шлях з найменшою метрикою відповідає найбільш ймовірній переданій відповідності символів. Відповідно до методу максимальної правдоподібності, необхідно із всіх можливих варіантів послідовностей прийнятих символів вибирати найбільш ймовірні [2]. Нехай ймовірність  $q$ -го варіанта послідовності рівна  $P_q$ , тоді необхідно знайти той номер  $q$ , при якому забезпечується максимальне значення  $\{P_q\}$ .

**Метою статті** є проведення аналізу впливу зосереджених завад на системи передачі інформації зі згортковим кодуванням.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Дії зосереджених по спектру завад можуть викликати групування помилок, що являється характерною ситуацією при пошкодженні системи передачі інформації завадами від зовнішніх джерел [3–5]. Якщо на встановленому інтервалі часу, навіть достатньо короткому, з'являється вузькосмугова завада видимого рівня, це призводить до збільшення ймовірності помилки декодування. Коли тривалість завади невелика, то перемеження символів здатне нівелювати негативні наслідки її впливу. Проте і в цьому випадку статистичні властивості сусідніх декодованих символів змінюються і виникають додаткові особливості роботи алгоритму декодування.

Як відомо, при обробці сигналів відповідно до принципу максимальної правдоподібності, повинна оцінюватись повністю вся послідовність прийнятих символів.

При її згортковому декодуванні перебираються всі можливі варіанти послідовностей, відповідаючи різним шляхам по решітці, і вибирається найбільш ймовірна послідовність. Позначимо через  $N$  довжину послідовності, а через  $q$  – номери її варіантів. При декодуванні необхідно знайти той номер  $q$ , для якого ймовірність  $P_q$ , що був переданий саме цей варіант послідовності символів, була б максимальною.

Позначимо через  $a_i^{(q)}$  значення  $i$ -го символу в  $q$ -му варіанті послідовності. Оскільки значення шумової компоненти в різних символах можна рахувати однаковими, то ймовірності  $P_q$  для різних  $q$  будуть рівні:

$$P_q = \prod_i^N P_i^q \{y_i / a_i^{(q)}\}, \quad (1)$$

де  $p_i^{(q)}\{y_i/a_i^{(q)}\}$  – умовна ймовірність того, що при значенні переданого  $i$ -го символу, рівному  $a_i^{(q)}$ , на виході демодулятора з'являється напруга, яка дорівнює  $y_i$ .

Спочатку розглянемо ситуацію, коли рівень шумів достатньо малий у порівнянні з рівнем вузькосмугової завади і ним можна знехтувати [3–5]. Нехай по системі передачі інформації обробляється сигнал з модуляцією BPSK виду:

$$S_i(t) = U_c \cos(\omega_c t + \varphi_i) = UC_i \cos(\omega_c t), \quad (2)$$

де  $i$  – номер поточного символу; фаза  $\varphi_i$  може приймати значення  $0^\circ$  або  $180^\circ$ ; зовнішня завада описується виразом  $Z(t) = U_{\text{п}} \cos(\omega_{\text{п}} t + \psi)$ ;  $\omega_c$  і  $\omega_{\text{п}}$  – частоти сигналу і завади;  $\psi$  – початкова фаза завади.

В приймачі за допомогою опорного коливання  $S_0(t) = U_0 \cos \omega_c t$ , синфазного з несучою інформаційного сигналу, здійснюється кореляційний прийом. Після інтегрування на інтервалі  $T_c$  часу

довжині символу  $i$ -е значення корисної складової дорівнює  $y_i = x_i U_0 T_c / 2$ , де  $x_i$  приймає значення  $+1$  або  $-1$  в залежності від передаючих символів. Інтегрування результату кореляційної обробки сигналу, який пошкоджено завадою, на цьому ж інтервалі, визначить рівень завадової складової в сумарному сигналі:

$$z_i = \frac{1}{2} U_{\Pi} U_0 T_c \frac{\sin(\Delta\varphi/2)}{(\Delta\varphi/2)} \cos[(i + 0,5)\Delta\varphi + \varphi_{\Pi}] \quad (3)$$

де  $\Delta\varphi = \Delta\omega T_c = (\omega_0 - \omega_{\Pi}) T_c$ .

Необхідно відмітити, що ширина смуги тракту підсилення приймача, як правило визначається шириною смуги спектра передаючого сигналу (величиною  $T_c$ ), тому завади з частотою  $\omega_c$ , які відрізняються від частоти  $\omega_{\Pi}$  на значення  $2\pi/T_c$ , розглядати не має сенсу. Таким чином, наявність завади виражається в тому, що в приймачі після корелятора до значення відліків передаючого сигналу додаються компоненти, огинаюча яких представляє собою гармонічну функцію. Для зручності подальшого розгляду роботи декодера, будемо рахувати коефіцієнти передачі відповідних ланцюгів такими, що модуль інформаційної складової відліків дорівнює одиниці. В такому випадку амплітуда  $r$  огинаючої завадовою складової буде дорівнювати:

$$r = \frac{U_{\Pi} \sin(\frac{\Delta\varphi}{2})}{\frac{\Delta\varphi}{2}}, \quad (4)$$

У випадку застосування процедури депереження символів, послідовність завадових компонентів відліків сигналу також змінюється. Оскільки в загальному випадку величина  $\Delta\varphi$  не є кратною  $2\pi$ , то характер значень завадових компонент в сусідніх відліках стає псевдовипадковим з функцією  $W_1(u)$  густини розподілення наступного виду:

$$W_1(u) = 1/\pi\sqrt{r^2 - u^2}, \quad (5)$$

В цій ситуації властивості результатів декодування суттєво змінюються і залежать від значення величини  $r$ . На рис. 1 та рис. 2 наведені графіки функції густини умовної ймовірності  $p(y_i/x_i)$  для випадків,  $r < 1$  (рис. 1) і  $r > 1$  (рис. 2) відповідно.

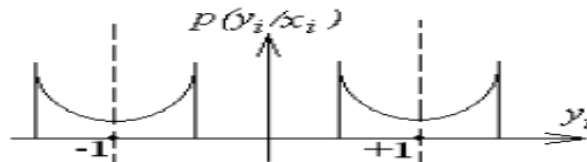


Рис. 1. Графік умовної ймовірності  $p(y_i/x_i)$  для випадку  $r < 1$

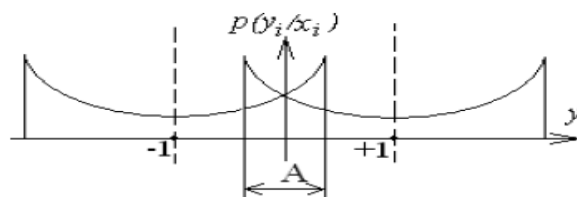


Рис. 2. Графік умовної ймовірності  $p(y_i/x_i)$  для випадку  $r > 1$

В ситуації на рисунку 1 представлено два розподіли при передачі двох варіантів значень символів ( $+1$  і  $-1$ ), які не перекриваються. Будь-яке значення  $y_i$  дозволяє однозначно віднести відповідний переданий кодівий символ до значення  $+1$ , або до значення  $-1$ . Декодування при цьому здійснюється без помилок, а різниця в завадостійкості між «м'яким» і «жорстким» алгоритмом існує. Проте при значному рівні завади (рис. 2) два розподіли починають перекриватися і алгоритм Вітербі в «класичному» варіанті стає непридатним. Він пропонує роботу в умовах впливу тільки шуму, який має гаусівський розподіл, симетричний відносно нульового значення аргументу, і монотонно віддаляється при віддаленні від нього. Мірою величини значень відповідних умовних ймовірностей служить при цьому наближеність величини аргументу до нуля.

Густина розподілу, яка зосереджена по спектру завади, хоча і має симетричну форму, але представляється у вигляді бімодальної функції з провалом при нульовому значенні аргументу. В зв'язку з цим в області, де розподіл, відповідно передачі різних символів, перекривається (область  $A$  на рисунку 2),

повинно діяти зворотне правило відповідностей значень прийнятих символів. Воно полягає в тому, що якщо величина  $y_i > 0$ , то ймовірно, що передавалось значення символу, яке дорівнює  $-1$ , а якщо  $y_i < 0$ , то ймовірно передача значення  $+1$ . В тому випадку, якщо значення прийнятого відліку не попадає в область  $A$ , то декодування можна здійснити безпомилково.

Таким чином, використовуючи «класичний» алгоритм Вітербі обчислює метрики різних шляхів по решітці, як суми відстаней (незалежно, по правилу Хеммінга або по правилу Евкліда) між прийнятим відліком і варіантом переходу, що дає завідомо неправильний висновок про перевагу того чи іншого шляху.

Виходом з даної ситуації можуть служити два варіанта обробки сигналів. Один із них полягає в тому, що при обчисленні метрик необхідно здійснити додаткові нелінійні перетворення. Дійсно, умовна ймовірність  $p_i^{(q)}\{y_i / a_i^{(q)}\}$ , буде дорівнювати:

$$p_i^{(q)}\{y_i / a_i^{(q)}\} = \left\{ \frac{1}{\pi \sqrt{r^2 - (y_i - a_i^{(q)})^2}} \right\} \quad (6)$$

Підставляючи (6) в (1), отримаємо:

$$\begin{aligned} p_q &= \frac{1}{\pi} \prod_i^N \frac{1}{\sqrt{r^2 - (y_i - a_i^{(q)})^2}} = \frac{1}{\pi} \prod_i^N \exp\{-0,5 \ln[r^2 - (y_i - a_i^{(q)})^2]\} \\ &= \frac{1}{\pi} \exp\{-0,5 \sum_i^N \ln[r^2 - (y_i - a_i^{(q)})^2]\} \end{aligned} \quad (7)$$

Тоді найкращий шлях по решітці визначається максимальним значення ймовірності  $P_q$ , відповідним мінімумом суми:

$$\sum_i^N \ln[r^2 - (y_i - a_i^{(q)})^2] \quad (8)$$

Якщо значення будь-якого відліку не потрапляє в інтервал  $A$ , то в отриманій сумі, в якості відповідного додатку замість логарифма необхідно підставляти нуль. Таким чином, після «м'якої» демодуляції є необхідним до декодування здійснити нелінійне обробку сигналів відповідно до формули (7), в цьому випадку звичайний алгоритм Вітербі збереже працездатність.

Інший варіант обробки полягає у мірах по зниженню рівня завади до депереження символів, щоб забезпечити умови роботи алгоритму. Розглянемо умови роботи при одночасній дії та зовнішній заваді, і шумів. В цьому випадку після депереження функція густини розподілу значень відліків буде мати наступний вигляд [6]:

$$\begin{aligned} p_i^{(q)} &= \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(y_i - a_i^{(q)})^2 + r^2 / 2}{2\sigma^2}\right\} \left\{ I_0\left(\frac{r^2}{4\sigma^2}\right) I_0\left[\frac{r(y_i - a_i^{(q)})}{\sigma^2}\right] + \right. \\ &\quad \left. + 2 \sum_{n=1}^N (-1)^n I_n\left(\frac{r^2}{4\sigma^2}\right) I_{2n}\left[\frac{r(y_i - a_i^{(q)})}{\sigma^2}\right] \right\} \end{aligned} \quad (8)$$

де  $I_n$  – функції Бесселя  $n$ -го порядку від уявного аргументу. Нижче представлені графіки функції густини розподілу значень відліків сигналу при одночасній дії шуму та завади, де використовувались два значення амплітуди вузькосмугової завади: 0,2 для рисунку 3 (рівень завади невеликий) та 1,5 для рисунку 4 (рівень завади значний).

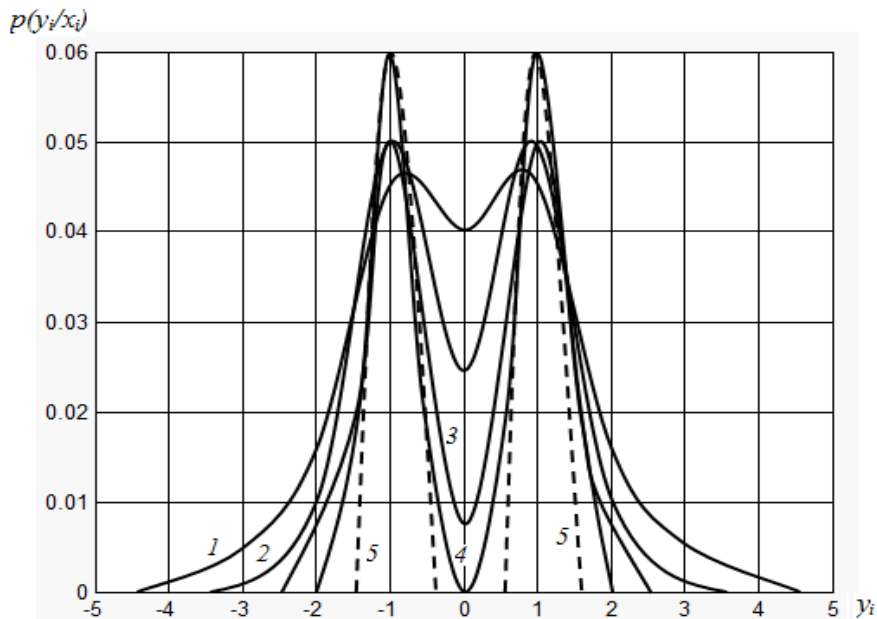


Рис. 3. Функція густини розподілу значень відліків сигналу при одночасній дії шуму та завади при невеликому рівні завади

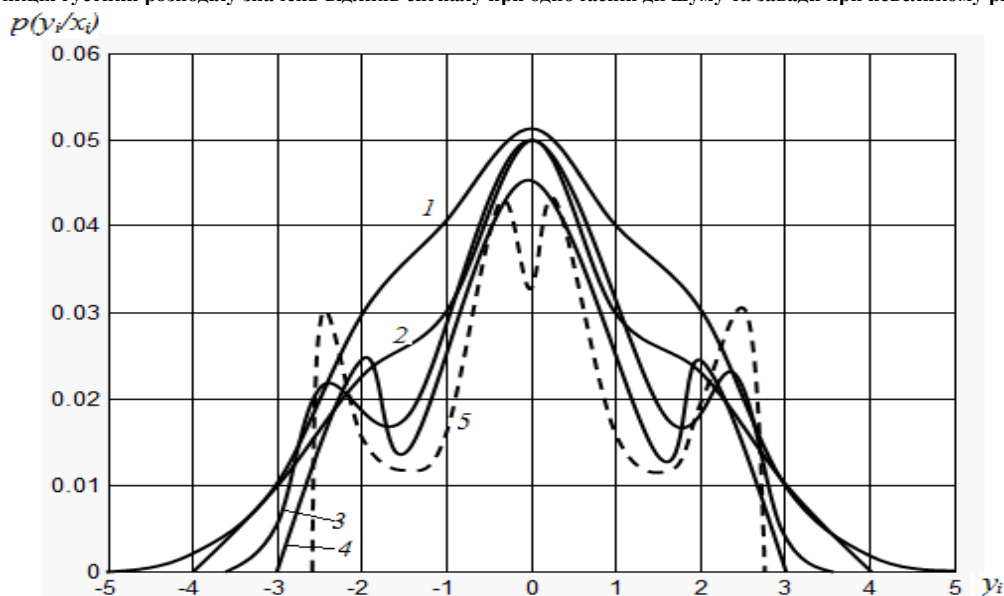


Рис. 4. Функція густини розподілу значень відліків сигналу при одночасній дії шуму та завади при значному рівні завади

Графіки побудовані для п'яти значень рівня шуму: кривій 1 відповідає відношення «сигнал/шум» 2 дБ, кривій 2 – 5 дБ, кривій 3 – 8 дБ, кривій 4 – 12 дБ та кривій 5 – 20 дБ. Проводячи аналіз рисунків, можна зробити висновок, що при невеликому рівні завади функції розподілу перекриваються тільки при дуже великому рівні шуму, при співвідношенні  $s/n$  більше за 5 дБ розподіли стають різними і можлива безпомилкова робота стандартного алгоритму Вітербі. Друга картина спостерігається при значному рівні завади. Форма функції розподілення вже не є унімодальною, але має достатньо складну форму, яка характеризує степінь перекриття двох розподілів. В такому випадку використання «класичного» алгоритму Вітербі також стає неможливим.

В цьому випадку перевагою є використання другого варіанту обробки, який полягає в зниженні рівня завади до депережеження, таким чином, щоб форма розподілу ймовірності відліків стала унімодальною. У випадку досягнення успіху «м'який» алгоритм Вітербі знову забезпечить оптимальний варіант обробки сигналів. Розглянемо вплив вузькосмугової завади на характеристики завадостійкості згорткового коду [3–5]. Для цього проводилось комп'ютерне моделювання. Різниця в тому, що вже не використовується адаптація алгоритму Вітербі для випадку пережеження символів, і додатково до параметру відношення енергії сигналу, який приходить на один біт вхідного повідомлення, до спектральної потужності шуму, додається параметр «відношення сигнал/завада». Спочатку розглянемо графіки залежностей вірогідності помилки від співвідношення «сигнал/завада» при фіксованому значенні

співвідношення «сигнал/шум» на вході корелятора. На рисунку 5-а показані графіки залежності ймовірності помилки декодування від співвідношення «сигнал/завада» при заданому відношенні «сигнал/шум», який дорівнює 2 дБ, 4 дБ і 6 дБ відповідно. По горизонтальній осі відкладено відношення «сигнал/завада», по вертикальній – значення ймовірності помилкового декодування символів. При моделюванні використовується код (7,5) зі швидкістю 1/2. Графіки 1-3 відповідають відношенню  $E_b/N_0=2$  дБ, графіки 4 – 6 – відношенню  $E_b/N_0=4$  дБ, графіки 7 – 9 – відношенню  $E_b/N_0=6$  дБ. Графікам 1,4,7 відповідає величина  $\Delta\varphi=2\pi/106$ , графікам 2,5,8 відповідає величина  $\Delta\varphi=2\pi/105$ , графікам 3,6,9 відповідає величина  $\Delta\varphi=2\pi/3$ . На рисунку 35-б показані ті ж залежності, що уже для перфорованого згорткового коду (7,5) зі швидкістю  $R=2/3$ . Із графіків випливає важливий висновок, що при збільшенні різниці між центральною частотою корисного сигналу і завади ефективність згорткового коду збільшується, тобто більше віддалення від центральної частоти сигналу завади погіршують завадостійкість. Чим менше шумова складова в сигналі, тим більша різниця в завадостійкості від впливу завад різних частот. У випадку роботи модифікованого алгоритму Вітербі, при збільшенні швидкості коду його завадостійкість зменшується.

На рисунку 6 показані графіки залежності ймовірності помилки декодування від співвідношення «сигнал/завада» при таких самих співвідношеннях «сигнал/шум», але уже для коду (171,133) (код NASA) з швидкостями 1/2 і 2/3 відповідно. Код NASA має більшу завадостійкість при дії вузькосмугових завадах. Для порівняння різниця в завадостійкості між двома кодами складає 5 дБ при відношенні  $E_b/N_0$  6 дБ для швидкості коду 1/2 і 7 дБ для швидкості 2/3.

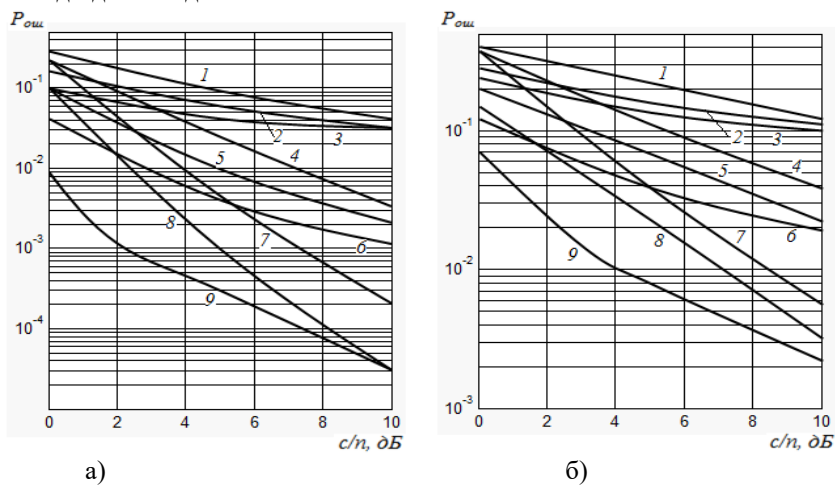


Рис. 5. Залежність ймовірності помилки декодування від співвідношення «сигнал/завада» при заданому співвідношенні «сигнал/шум» для коду (7,5)

На наступних рисунках показані графіки залежності ймовірності помилки декодування від частоти вузькосмугової завади при різних співвідношеннях «сигнал/шум» і «сигнал/завада». Частота завади нормується відносно тривалості сигналу  $T_c$ . Рисунку 7-а відповідає код (7,5) з швидкістю  $R=1/2$ , рисунку 7-б – перфорований код зі швидкістю  $R=2/3$ . Графіки 1 – 3 відповідають співвідношенню  $c/\pi=3$  дБ, графіки 4 – 6 відповідають співвідношенню 6 дБ. Графікам 1,4 відповідає співвідношення  $c/\pi=0$  дБ, графікам 2, 5 відповідає співвідношення  $c/\pi=3$  дБ, графікам 3, 6 відповідає співвідношення  $c/\pi=6$  дБ.

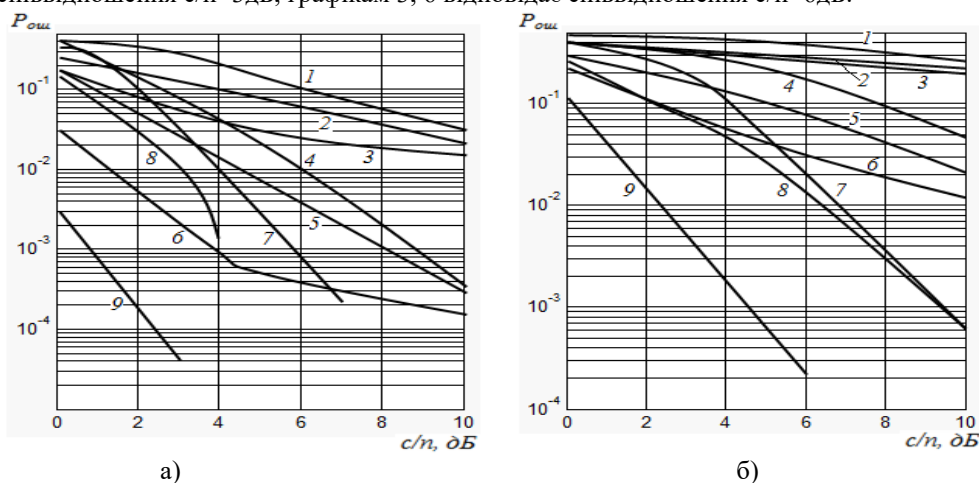


Рис. 6. Залежність ймовірності помилки декодування від співвідношення «сигнал/завада» при заданому співвідношенні «сигнал/шум» для коду (171,133)

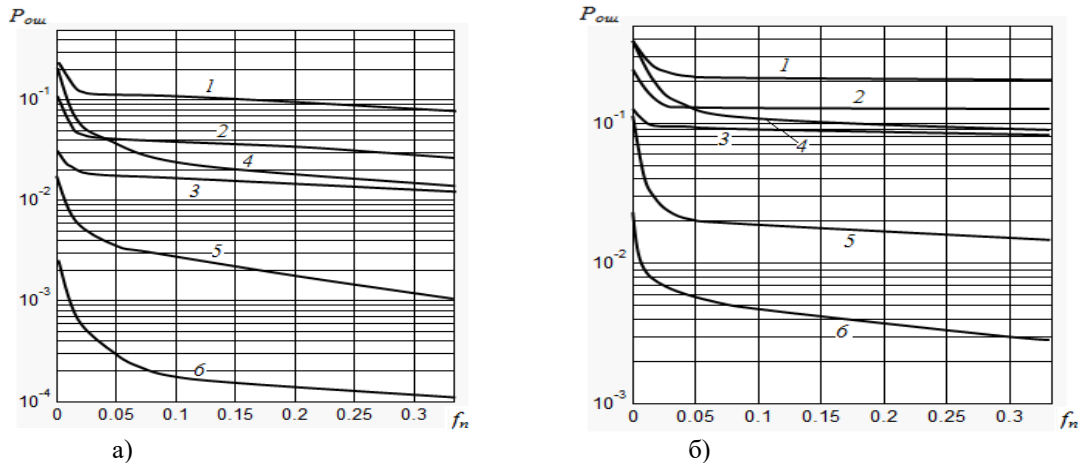


Рис. 7. Залежність ймовірності помилки декодування від частоти вузькосмугової завади при різних співвідношеннях «сигнал/шум» і «сигнал/завада» для коду (7,5)

На рисунку 8 представлені графіки такої самої залежності, але вже для коду NASA. Рисунку 8-а відповідає код зі швидкістю  $R=1/2$ , а рисунку 8-б перфорований код зі швидкістю  $R=2/3$ . Позначення для графіків ті ж, що і в попередньому випадку. Із даних графіків видно, що погіршення завадостійкості значно збільшується при зближенні центральної частоти корисного сигналу і вузькосмугової завади. Це може бути пояснюється сильною корельованістю відліку сигналу, пошкодженого такою завадою. Оскільки згортковий код має пам'ять шляхів, то помилка в декодуванні одного символу веде у подальшому нарощуванню числа помилково декодованих підряд символів.

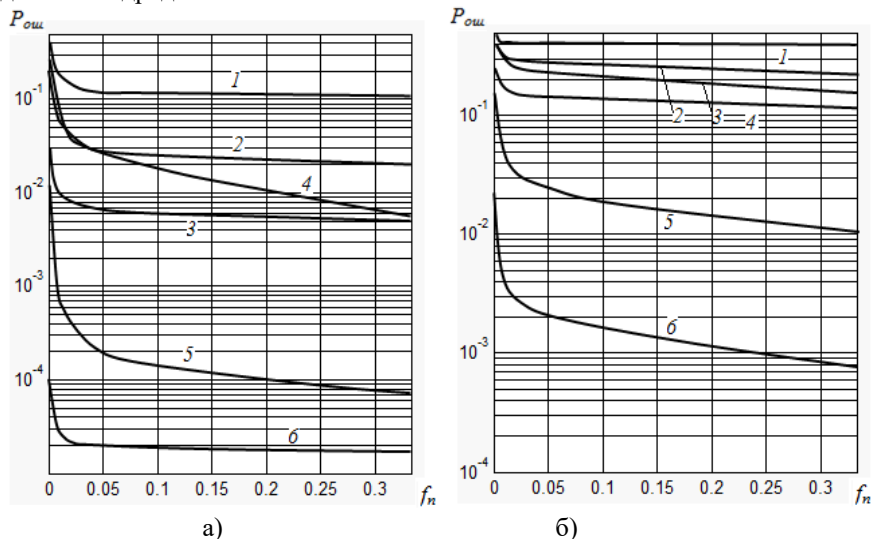


Рис. 8. Залежність ймовірності помилки декодування від частоти вузькосмугової завади при різних співвідношеннях «сигнал/шум» і «сигнал/завада» для коду (171,133)

**Висновки.** Встановлено, що внутрішня структура алгоритму згорткового декодування Вітербі дозволяє здійснювати його внутрішню адаптацію за різних внутрішніх умов, однак використання переміщення символів для боротьби зі завмираннями сигналів в системах передачі інформації, використовуючи алгоритм згорткового декодування Вітербі, призводить до суттєвого погіршення якісних характеристик системи передачі інформації.

В умовах впливу зосереджених по спектру завад великого рівня здійснюється різке погіршення коректуючої здатності згорткових кодів. Проведений аналіз характеру впливу вузькосмугової завади на характеристики завадостійкості згорткового коду вказує на те, що дія зосередженої по спектру завади вище визначеного порогового значення сильно погіршує завадостійкість коду. Встановлено, що чим менше відхилення центральної частоти корисного сигналу від частоти вузькосмугової завади, тим коректуюча здатність згорткового декодера стає меншою.

### Література

1. Кларк Дж. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи / Дж. Кларк, мл., Дж. Кейн ; пер. с англ. ; под редакцией Б.С. Цыбакова. – М. : Радио и связь, 1987. – 392 с.

2. Кловский Д.Д. Передача дискретных сообщений по радиоканалам / Д.Д. Кловский. – М. : Радио и связь, 1982. – 304 с.
3. Полушин П.А. Влияние узкополосной помехи на характеристики цифровых сигналов с кодированием / П.А. Полушин, Д.В. Синицин, Д.А. Мартышевская // Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии (ФРЭМЭ 2014) : материалы XI МНК. – Владимир, 2014. – книга 2. – С. 121–123.
4. Полушин П.А. Воздействие сосредоточенных помех на системы передачи сигналов со сверточным кодированием / П.А. Полушин, Д.В. Сицин, И.Джулани, Ж.Л. Гомес // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2014. – № 3(15). – С. 69–73.
5. Синицин Д.В. Влияние сосредоточенных помех на системы передачи информации со сверточным кодированием / Д.В. Синицин // Материалы XX Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых. – Ижевск, 2014. – С. 462–463.
6. Справочник по теории вероятности и математической статистике / В.С. Королюк, Н.И. Портенко, А.В. Скороход, А.Ф. Турбин. – М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 640 с.

### **References**

1. Klark, Dzh. Kodirovanie s ispravleniem oshibok v sistemah cifrovoj svyazi: per. s angl.; pod. redakciej B.S. Cybakova / Dzh. Klark, ml., Dzh. Kejn. – М.: Radio i svyaz, 1987. – 392 s.
2. Klovskij, D.D. Peredacha diskretnyh soobshenij po radiokanalam. / D.D. Klovskij. – М.: Radio i svyaz, 1982. – 304 s.
3. Polushin, P.A. Vliyanie uzkoplosnoj pomехi na harakteristiki cifrovyh signalov s kodirovanіem / P.A. Polushin, D.V. Sinicin, D.A. Martyshevskaya // Fizika i radioelektronika v medicine i ekologii (FREME 2014): materialy XI MNK. - Vladimir, 2014. – kniga 2. - S. 121–123.
4. Polushin, P.A. Vozdejstvie sosredotochennyh pomех na sistemy peredachi signalov so svertochnym kodirovanіem / P.A. Polushin, D.V. Siicin, I.Dzhulani, Zh.L. Gomes // Radiotekhnicheskie i telekommunikacionnye sistemy. – 2014. - № 3(15). – S. 69–73.
5. Sinicin, D.V. Vliyanie sosredotochennyh pomех na sistemy peredachi informacii so svertochnym kodirovanіem / D.V. Sinicin // Materialy XX Vserossijskoj nauchnoj konferencii studentov – fizikov i molodyh uchenyh. - Izhevsk, 2014. - S. 462–463.
6. Spravochnik po teorii veroyatnosti i matematicheskoy statistike / V.S. Korolyuk, N.I. Portenko, A.V. Skorohod, A.F. Turbin. М.: Nauka. Glavnaya redakciya fiziko-matematicheskoy literatury, 1985. - 640 s.

Рецензія/Peer review : 05.11.2018      Надрукована/Printed : 07.02.2019

Рецензент: д. т. н., проф. Мартинюк В. В.