

# Алгоритм вибору завадостійких кодів для роботи систем радіозв'язку в короткохвильовому діапазоні

Дубина О. Ф.<sup>1</sup>, Нікітчук Т. М.<sup>2</sup>, Коцюба І. Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова

<sup>2</sup>Житомирський державний технологічний університет

E-mail: Fedorovich\_daf@ukr.net

На сучасному етапі розвитку суспільства інформаційні телекомунікаційні системи відіграють одну з найважливіших ролей в організації і забезпеченні більшості сфер діяльності людства. Одним із способів передачі даних на скільки завгодно великі відстані є застосування хвиль короткохвильового діапазону (3-30 МГц), що розповсюджуються навколо земної кулі за рахунок одноразового та багаторазового відбиття від іоносфери. Задача кодування повідомлень при передачі їх по каналу зв'язку з завадами значно ускладнюється. Тут необхідно враховувати не тільки статистику джерела повідомлень, але і шкідливий вплив завад. Якщо в каналах зв'язку без завад надмірність джерела повідомлень є шкідливою та її прагнуть усунути при ефективному кодуванні, то в каналах зв'язку з перешкодами спеціально вводять надмірність з метою підвищення вірогідності передачі. Різні методи завадостійкого кодування володіють своїми особливостями та дозволяють отримати надлишковість та імовірність помилки, необхідні для даної системи зв'язку. Для вибору необхідного коду постає задача оптимізації систем зв'язку за критеріями ефективності. Особливістю організації СДП при магістральному зв'язку є застосування різних шарів атмосфери. Параметри цих шарів міняються у значно великих межах у залежності від погодних умов, пори року, доби, і т.ін. Це у значному ступені впливає на якісні показники інформації, що приймається. Тому розробка алгоритму, який би надавав можливість вибору необхідного завадостійкого коду для забезпечення функціонування магістрального короткохвильового радіозв'язку у залежності від показників якості, що висуваються до нього, з урахуванням параметрів іоносфери та погодних умов є задачею актуальною. Проведено порівняльний аналіз сучасних кодів у залежності від їх довжини, інформаційного та перевірного елементу. Показано, що характеристики іоносфери у значній мірі впливають на параметри каналу зв'язку. Отримано алгоритм, який надає змогу вибору необхідного завадостійкого коду для забезпечення визначених якісних показників.

*Ключові слова:* завадостійкі коди; завадостійке кодування; короткохвильовий діапазон; радіозв'язок; відстань Хеммінга; інформаційний елемент; довжина коду; перевірочний елемент

DOI: [10.20535/RADAP.2019.77.47-52](https://doi.org/10.20535/RADAP.2019.77.47-52)

## Вступ

Одним із видів зв'язку, які існують і активно застосовуються на сьогоднішній день, є системи магістрального короткохвильового (КХ) радіозв'язку (РЗ). Їх застосування обумовлено особливими властивостями:

- можливістю глобального охоплення радіозв'язком територіально рознесених кореспондентів та важкодоступні райони (зони підвищеного зараження, тяжко прохідні водні та гірські райони);

- здійснювати інформаційний обмін в умовах дії природних та штучних факторів, які порушують інфраструктуру інших видів зв'язку, та просте відновлення зв'язку порушене за рахунок впливу випадкових і навмисних перешкод;

- організація радіозв'язку з мобільними об'єктами лише з використанням індивідуальних радіозасобів кореспондентів без допоміжних систем (порівняно з супутниковим і провідним зв'язком);

- висока оперативність розгортання та мобільність засобів короткохвильового радіозв'язку [5].

Особливістю функціонування магістрального короткохвильового радіозв'язку на дальні відстані є формування радіоканалу із застосуванням шарів іоносфери (шари D, E, F1, F2). Вплив параметрів атмосфери у значному ступені впливає на швидкість передачі інформації.

Крім того, на параметри радіоканалу суттєвий вплив мають: час доби, погодні умови (спека, дощ, сніг, мороз і т.ін.), пора року [5].

Достовірна передача повідомлень по каналу зв'язку з завадами можлива, згідно теореми Шеннона, із введенням надмірності [3, 6]. При цьому, задача кодування повідомлень значно ускладнюється [1, 3, 12]. Тут необхідно враховувати не тільки статистику джерела повідомлень, але і шкідливий вплив завад [7, 8], стан каналу зв'язку. Якщо в каналах зв'язку без завад надмірність джерела повідомлень є шкідливою та її прагнуть усунути при ефективному кодуванні, то в каналах зв'язку з завадами спеціально вводять надмірність з метою підвищення вірогідності передачі.

Різні методи завадостійкого кодування володіють своїми особливостями та дозволяють отримати надмірність та імовірність помилки, необхідні для даної системи зв'язку. В той же час основною задачею на шляху широкого використання кодів, які виправляють помилки великої кратності, є труднощі реалізації відповідних декодувальних пристроїв [2].

Існує велика кількість завадостійких кодів, які застосовуються, в тому числі, в системах РЗ [2, 6]. Для забезпечення необхідного режиму функціонування системи РЗ необхідне забезпечення виконання висунутих вимог до неї.

Для забезпечення необхідної достовірності передачі інформації необхідно застосовувати завадостійкі коди, які характеризуються різними показниками довжини коду, надмірності, інформаційності і т. ін. Збільшення надмірності коду покращує показники достовірності, але зменшує швидкість передачі інформації [9, 11]. В залежності від задачі, що вирішується, постає питання вирішення оптимізаційної задачі вибору необхідного завадостійкого коду.

Тому розробка алгоритму, який би надавав можливість вибору необхідного завадостійкого коду для забезпечення РЗ в КХ діапазоні в умовах дії завад у залежності від задачі, що вирішується, з урахуванням параметрів іоносфери та погодних умов є задачею актуальною.

## 1 Теоретичний аналіз якісних показників прийманої інформації

Для аналізу можливостей передачі інформації через певний канал потрібно знати такі характеристики каналу зв'язку, як швидкість передачі, пропускна здатність каналу та продуктивність джерела.

Для забезпечення своєчасної передачі потоків повідомлень система РЗ повинна мати певний рівень пропускної здатності [11].

Пропускна здатність — можливість системи РЗ передавати задані потоки повідомлень за одиниці часу.

При виборі коду для передачі даних керуються вимогами до достовірності інформації, що передається, та швидкості передачі даних, які визначаю-

ться характеристиками кодів.

$$K_H = \frac{r}{n} = \frac{r}{k+r}. \quad (1)$$

$K_H$  — надмірність кодів;  $k$  — кількість інформаційних елементів;  $n$  — довжина коду;  $r$  — кількість перевірючих елементів

$$K_H = 1 - ((\log_2 N_0)/(\log_2 N)), \quad (2)$$

де потужність коду  $N_0$  — кількість дозволених кодів комбінацій, які використовуються для передачі повідомлень; повна кількість кодів комбінацій  $N$  — кількість всіх можливих комбінацій для даного коду.

У випадку застосування завадостійких кодів швидкість коду залежить від надмірності (1-2), реальна швидкість передачі інформації по каналу визначається як

$$C_{kr} = C_k V_k = C_k (1 - K_H), \quad (3)$$

$C_k$  — пропускна здатність каналу;  $V_k$  — ємність каналу;  $K_H$  — надмірність кодів.

Вона показує верхню межу швидкості передачі інформації по каналу при застосуванні завадостійкого кодування і визначає загальну вимогу до завадостійких кодів: для досягнення максимально можливої швидкості передачі інформації, що визначається особливостями каналу, необхідним і достатнім є зменшення надмірності коду.

У реальних умовах вихідні повідомлення каналу мають надмірність та передаються на фоні завад, за рахунок чого сигнали спотворюються і відбувається часткова втрата інформації і пропускна здатність каналу зв'язку визначається за формулою [4]:

$$C_k = F_c \log_2 \left( 1 + \frac{U_c^2}{P_z} \right). \quad (4)$$

Оскільки

$$V_k = 1 - \frac{r}{k+r}, \quad (5)$$

то вираз для визначення швидкості передачі інформації по каналу буде мати вигляд:

$$C_{kr} = F_c \log_2 \left( 1 + \frac{U_c^2}{P_z} \right) \left( 1 - \frac{r}{k+r} \right), \quad (6)$$

де  $\frac{U_c^2}{P_z}$  — співвідношення сигнал/завада на вході приймача.

В каналі без завад після приймання символу невизначеність про відповідний стан джерела знімається. В каналі з завадами після прийняття такого ж символу залишається певне значення невизначеності про стан джерела.

Для каналів РЗ при розробці перспективних засобів необхідно досягати максимальної пропускної спроможності для цієї апаратури каналу зв'язку. При цьому виникає потреба у застосуванні алгоритмів вибору оптимальних методів кодування, які забезпечать необхідні показники передачі інформації.

На теперішній час існує велика кількість завадостійких кодів, основними із них є: з перевіркою на парність, з постійною вагою, з подвоєнням елементів, інверсні коди, коди Хеммінга, циклічні коди, Коди Боуза-Чоухури-Хоквінгема, коди Ріда-Соломона, коди Файра [2, 6, 10].

При передачі інформації шляхом введення величезної надмірності, збільшенням довжини кодового слова або нескінченним повторенням сигналів може бути досягнута як завгодно мала помилка навіть при наявності завад. Але швидкість передачі інформації при цьому буде прямувати до нуля.

З іншого боку швидкий розвиток мікроелектронної техніки дозволяє створити прийняті за габаритами та вартістю кодувальні та декодувальні пристрої для завадостійких кодів з вправленням групових помилок великої тривалості.

Для оцінки завадостійкості каналу зв'язку використовують різні критерії. Математичним виразом критерія частіше всього є умова — ймовірність достовірної передачі повідомлень більше або рівно допустимої.

Найбільш поширеним є критерій, відповідно до якого завадостійкість оцінюється забезпеченням необхідної ймовірності правильного прийому сигналу  $P_{pp}$  та ймовірності виявлення помилки  $P_{vp}$  в кодовому сигналі. Ці параметри залежать від стану каналу радіозв'язку, а саме, ймовірності викривлення одного символу в двійковому каналі  $P_0$ , мінімальної довжини Хеммінга  $d_{min}$ , довжини коду  $n$ , кількості перевірочних елементів  $r$  для застосування завадостійкого коду і можуть бути визначені за формулами [4]:

$$P_{pp} = \sum_{i=0}^t (C_n^i p_o^i (1 - p_o)^{n-i}), \quad (7)$$

$$P_{vp} = \sum_{i=t+1}^r (C_n^i p_o^i (1 - p_o)^{n-i}). \quad (8)$$

В даному випадку  $t$  і  $r$  кількісно характеризують коригувальну здатність і здатність щодо виявлення вихідного  $(n, k)$  коду і задаються відповідними відносинами

$$t = \left\lfloor \frac{d_{min} - 1}{2} \right\rfloor, \quad r = d_{min} - 1, \quad (9)$$

де  $d_{min}$  визначає мінімальну відстань по Хеммінгу між всіма можливими кодовими комбінаціями початково-заданого  $(n, k)$  коду;  $\lfloor \cdot \rfloor$  — оператор, який виділяє цілу частину.

Оцінка для довільного  $(n, k)$  коду, згідно [4], визначається межами Плоткіна і Хеммінга:

$$\left\{ \begin{array}{l} d \leq \frac{n2^{k-1}}{2^k - 1} \\ n - k \leq \log_2 \sum_{i=0}^{\frac{d-1}{2}} C_n^i \end{array} \right\}. \quad (10)$$

По суті рішення (10) зводиться до знаходження екстремуму цільової функції  $f(d) = d \rightarrow \max$  з урахуванням обмежень, що визначають зазначені раніше межі:

$$2^{\frac{n2^{k-1}-1}{2}} \geq \sum_{i=0}^{\frac{d-1}{2}} C_n^i. \quad (11)$$

## 2 Алгоритм вибору завадостійких кодів

У якості критерія роботи алгоритму вибрано співвідношення середнього значення кількості інформації  $k/n$  на одну кодову комбінацію і контроль цього параметра дозволяє адаптивно змінювати як алгоритм кодування, так і довжину кодової комбінації.

У свою чергу, збільшення  $d_{min}$ , яке проводиться за рахунок вибору необхідного завадостійкого коду і, як наслідок, зміни значень довжини коду  $n$ , кількості перевірочних елементів  $r$  та кількості інформативних елементів  $k$  приводить до зменшення швидкості передачі інформації по каналу зв'язку  $C_{kr}$  (6).

Оскільки вказаний параметр  $k/n$  знаходиться у чітко визначених межах

$$\left( \frac{k}{n} \right)_{(.min)} < \left( \frac{k}{n} \right)_i < \left( \frac{k}{n} \right)_{(.max)}, \quad (12)$$

то зміну можна здійснювати в обидва боки за рахунок вибору методу кодування, який відповідає вибраній мінімальній кодовій відстані  $d_{min}$  і необхідній швидкості передачі інформації по каналу зв'язку.

Виходячи з вищесказаного, тестування каналу зв'язку є необхідним для визначення середньої ймовірності спотворення елементарного інформаційного сигналу  $p_0$  і для визначення статистичних характеристик співвідношення сигнал/завада.

Існує багато методів тестування радіоканалу, одним із найбільш сучасних є метод прогнозування короткохвильового радіоканалу з використанням штучних нейронних мереж (ШНМ), які передбачають встановлення зв'язку між параметрами радіоканалу і геліогеофізичною обстановкою, обумовленою станом і параметрами погоди. Метод представляється ефективним, але вимагає збору і поточного відновлення великого обсягу інформації про параметри сонячного вітру, міжпланетного магнітного поля і ряду інших параметрів, що не завжди доступні.

Таким чином, алгоритм вибору завадостійких кодів для роботи систем радіозв'язку в короткохвильовому діапазоні полягає у наступному.

*Перший етап.* Введення необхідних значень ймовірності правильного прийому сигналу  $P_{pp}$  та

ймовірності виявлення помилки  $P_{вр}$  в кодовому сигналі, а також значення швидкості передачі інформації по каналу  $C_{кр}$ .

*Другий етап.* Визначення параметрів і характеристик каналу зв'язку (в тому числі тестування параметрів іоносфери), а саме середньої імовірності спотворення елементарного інформаційного сигналу  $0$  та визначення статистичних характеристик співвідношення сигнал/завада.

*Третій етап.* Визначення мінімального значення  $(k/n)_{(min)}$  для визначення мінімальної відстані по Хеммінгу  $d_{min}$ . Дана задача, як правило, вирішується за допомогою чисельних методів рішення рівнянь (наприклад, ітераційним методом).

*Четвертий етап.* Визначення максимального значення  $(k/n)_{(max)}$  для визначення швидкості передачі інформації  $C_{кр}$  по каналу згідно виразу (6).

*П'ятий етап.* Вибір завадостійкого коду із тих, що ще не перевірялися для даних початкових умов.

*Шостий етап.* Перевірка параметрів даного коду щодо відповідності поставленим вимогам згідно виразу (12).

*Сьомий етап.* Прийняття рішення щодо застосування даного завадостійкого коду (у разі відповідності відношення  $k/n$  розрахованим вимогам) для передачі інформації, або переходу до перевірки іншого завадостійкого коду.

## Висновки

В наведеній статті проаналізовано основні існуючі завадостійкі коди, їх особливості, розроблено алгоритм вибору завадостійких кодів для роботи систем радіозв'язку в короткохвильовому діапазоні, які забезпечують задані швидкість передачі інформації в каналі зв'язку і ймовірність виявлення помилки. У якості критерію роботи алгоритму вибрано співвідношення середнього значення кількості інформації на одну кодову комбінацію і контроль цього параметра дозволяє адаптивно змінювати як алгоритм кодування (вибір необхідного коду), так і довжину кодової комбінації.

Особливістю використання даного алгоритму є те, що він функціонує в умовах дії завад і його можливо застосовувати в інших системах передачі інформації, додаючи інші існуючі чи нові завадостійкі коди. При цьому тестування каналу зв'язку може проводитися будь-яким існуючим способом.

## Перелік посилань

1. Sudarshan V. Error detection and correction in semiconductor memories using 3D parity check codewith hamming code / Shivani Tambatkar ; Siddharth Narayana Menon ; V. Sudarshan ; M. Vinodhini ; N. S. Murty // International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP). — 2017. — pp. 0974 — 0978

2. Захарченко М.В. Системи передавання даних. — Т.1: Ефективність блокового кодування / [Захарченко М.В., Кільдішев В.Й., Мартинова О.М., Ільїн Д.Ю., Трінтіна Н.А.]: навч. посіб.- Одеса: ОНАЗ ім.. О.С. Попова, 2014. — 440 с
3. Шавенько Н.К. Основы теории информации и кодирования / Н.К. Шавенько // Учебное пособие. — М.: Изд-во МИИГАиК, 2012. — 125 с.
4. Шкердин А.Н. Методика оценки вероятности ошибочного приема кодового слова с учетом разбиения на блоки и локализации участков / А.Н. Шкердин., И.С. Полянский // Современные проблемы науки и образования. — 2013. — №.4
5. Шолудько В.Г. Організація військового зв'язку / В.Г. Шолудько, М.Ю. Єсаулов, О.В. Вакуленко, Т.Г. Гурський, М.М. Фомін // Навчальний посібник. — К.: ВІТІ, 2017 р. — 282 с.
6. Кожевников В.Л. Теорія інформації та кодування : навч. посібник / В.Л. Кожевников, А.В. Кожевников. — Д.: Національний гірничий університет, 2013. — 144 с.
7. Yan Ma. Reradiation interference of high voltage transmission line to shortwave radio direction finding station / Yan Ma, Jirigele, Guoliang Hua // IEEE 6th International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation, and EMC Technologies (MAPE). — 2015. — pp. 462 — 466.
8. Siva Teja T. Joint Crosstalk Avoidance with Multiple Bit Error Correction Coding Technique for NoC Interconnect / T Siva Teja, T Sai Kiran, T.V.V Satya Narayana, M. Vinodhini, N. S. Murty // International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI). — 2018. — pp. 726 — 731
9. Seetha Ramanjaneyulu B. Femtocell channel allocations that reduce interferences and optimize bandwidths / B Seetha Ramanjaneyulu ; K Annapurna // International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT). — 2016. — pp. 482 — 485
10. Sundar Rajan B. On the capacity of index coding problems with symmetric neighboring interference / Mahesh Babu Vaddi, B. Sundar Rajan // IEEE Information Theory Workshop (ITW). — 2017. — pp. 294 — 298.
11. Germán Bassi. Capacity Bounds for a Class of Interference Relay Channels / Germán Bassi ; Pablo Piantanida ; Sheng Yang // IEEE Transactions on Information Theory. — 2015. — Volume: 61, Issue: 7, pp. 3698 — 3721.
12. Mehdi Ashraphijuo. A Receiver-centric Approach to Interference Management: Fairness and Outage Optimization / Mehdi Ashraphijuo ; Ali Tajer ; Chen Gong ; Xiaodong Wang // IEEE Transactions on Information Theory. — 2016. — Volume: 62, Issue: 10, pp. 5619 — 5642.

## References

- [1] Tambatkar S., Menon S.N., Sudarshan V., Vinodhini M. and Murty N.S. (2017) Error detection and correction in semiconductor memories using 3D parity check code with hamming code. *2017 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, . DOI: 10.1109/iccsp.2017.8286516

- [2] Zakharchenko M.V., Kildishev V.I., Martynova O.M., Ilin D.Yu. and Trintina N.A. (2014) *Systemy peredavannia danykh. Vol. 1: Efektyvnist blokovoho koduvannia* [Data transfer systems. Vol. 1: Block Coding Effectiveness], Odesa, ONAZ im. O.S. Popova, 440 p.
- [3] Shaven'ko N.K. (2012) *Osnovy teorii informatsii i kodirovaniya*, Moskow, MIIGAKiK, 125 p.
- [4] Shkerdin A. N., Polyanskiy I. S. (2013) Methods of assessing the probability of erroneous reception of the codeword considering the block division and localization sites, *Modern problems of science and education*, No. 4, 8 p.
- [5] Sholudko V.H., Yesaulov M.Yu., Vakulenko O.V., Hurskyi T.H. and Fomin M.M. (2017) *Orhanizatsiia viiskovoho zv'язku*, Kyiv, VITI, 282 p.
- [6] Kozhevnykov V.L. and Kozhevnykov A.V. (2013) *Teoriia informatsii ta koduvannia*. Dnipro : Natsionalnyi hirnychy universytet, 144 p.
- [7] Ma Y., and Hua G. (2015) Reradiation interference of high voltage transmission line to shortwave radio direction finding station. *2015 IEEE 6th International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation, and EMC Technologies (MAPE)*. DOI: 10.1109/mape.2015.7510358
- [8] Teja T.S., Kiran T.S., Narayana T.S., Vinodhini M. and Murty N.S. (2018) Joint Crosstalk Avoidance with Multiple Bit Error Correction Coding Technique for NoC Interconnect. *2018 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*. DOI: 10.1109/icacci.2018.8554417
- [9] Ramanjaneyulu B.S. and Annapurna K. (2016) Femtocell channel allocations that reduce interferences and optimize bandwidths. *2016 International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT)*. DOI: 10.1109/iccict.2016.7987998
- [10] Vaddi M.B. and Rajan B.S. (2017) On the capacity of index coding problems with symmetric neighboring interference. *2017 IEEE Information Theory Workshop (ITW)*. DOI: 10.1109/itw.2017.8277946
- [11] Bassi G., Piantanida P. and Yang S. (2015) Capacity Bounds for a Class of Interference Relay Channels. *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. 61, Iss. 7, pp. 3698-3721. DOI: 10.1109/tit.2015.2428249
- [12] Ashraphijuo M., Tajer A., Gong C. and Wang X. (2016) A Receiver-centric Approach to Interference Management: Fairness and Outage Optimization. *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. 62, Iss. 10, pp. 5619-5642. DOI: 10.1109/tit.2016.2594219

## Алгоритм выбора помехоустойчивых кодов для работы систем радиосвязи в коротковолновом диапазоне

Дубина А. Ф., Никитчук Т. Н., Коцюба И. Г.

Современные системы передачи информации, как правило, применяют цифровые методы, что позволяет значительно увеличить среднюю мощность передатчиков, повысить отношение сигнал-помеха в точке приема и помехоустойчивость систем коротковолновой радиосвязи. Однако во многих реальных каналах связи простым выбором сигналов не удается обеспечить предельные значения пропускной способности и минимальную

вероятность ошибки, полученные Шенноном и Котельниковым. Достигнутая в лучших дискретных системах связи скорость передачи информации значительно ниже теоретического предела. Это несоответствие объясняется, в первую очередь, наличием в каналах связи помех нефлуктуационного характера, которые не компенсируются. Повышение достоверности в этих каналах достигается, в первую очередь, за счет использования помехоустойчивых кодов. В статье исследовано влияние параметров помех в канале магистральной связи на качественные показатели полученной информации. Показано, что, в соответствии с теоремой Шеннона, для обеспечения необходимых качественных показателей применяется помехоустойчивое кодирование. При введении избыточности информации может быть достигнута сколь угодно малая ошибка даже при наличии помех, но скорость передачи информации при этом будет стремиться к нулю. Проведен сравнительный анализ современных кодов в зависимости от их длины, информационного и проверочного элемента. Показано, что характеристики ионосферы в значительной степени влияют на параметры канала связи. Получен алгоритм, который дает возможность выбора необходимого помехоустойчивого кода для обеспечения заданных качественных показателей.

*Ключевые слова:* помехоустойчивые коды; помехоустойчивое кодирование; коротковолновый диапазон; радиосвязь; расстояние Хемминга; информационный элемент; длина кода; проверочный элемент

## Algorithm for the selection of error-correcting codes for the operation of radio communication systems in the shortwave range

Dubyna O. F., Nikitchuk T. N., Kotsiuba I. H.

**Introduction.** One of the types of communication that exists and is actively being used at the present time are the systems of trunk-wire short-wave radio communication. To ensure the necessary reliability of the transmission of information, it is necessary to apply noise-proof codes that are characterized by different indicators of code length, redundancy, etc. Increasing the redundancy of the code improves the reliability, but reduces the speed of the transfer of information. Depending on the task being solved, the question arises of solving the optimization problem of choosing the required jamming code. Therefore, the development of an algorithm that would provide the possibility of choosing the required noise immunity code to provide radio communication in the short-wave range under conditions of interference, depending on the solved problem, taking into account the parameters of the ionosphere and weather conditions, is an issue of relevance.

**Theoretical analysis.** To ensure the timely transmission of message flows, the radio communication system must have a certain level of bandwidth. When choosing a code for data transmission, the requirements for the reliability of the transmitted information and the speed of data transmission, which depend on the redundancy of the codes, the number of information elements, the length of the code, the number of verification elements, are monitored. The most common criterion for assessing the system's efficiency

is to provide the necessary probability of correct signal reception and the probability of error detection in the code signal. These parameters depend on the condition of the radio channel, namely, the probability of distortion of one character in the binary channel, the minimum length of Hamming, the parameters of the code.

**Algorithm.** As a criterion for the algorithm, the ratio of the average value of the information quantity  $k/n$  to one code combination is selected. Control of this parameter allows adaptively to modify both the coding algorithm and the length of the code combination. This parameter affects both the maximum rate of transmission of information, and the probability of correct reception of the signal and the probability of error detection in the code signal and is within clearly defined limits. The principle of the algorithm is to solve an optimization problem, namely, to locate such

a noise immunity code, whose value  $k/n$  will be within these limits.

**Conclusions.** In the given article the algorithm of choice of interference-free codes for work of systems of radio communication in a short-wavelength range is developed, which provide the greatest bandwidth of a channel at the given error probability and the minimum speed of information transmission. This algorithm operates under conditions of interference and it can be used in other information transmission systems by adding other existing or new jamming codes.

*Key words:* error-correcting codes; error-correcting coding; short-wavelength range; radio communication; Hamming distance; information element; code length; test element