

Торайғыров университетінің хабаршысы  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
Вестник Торайғыров университета

---

# Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы  
1997 жылдан бастап шығады



## ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия  
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

---

№ 3 (2022)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**  
**Вестник Торайгыров университета**

**Энергетическая серия**  
выходит 4 раза в год

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

публикация материалов в области электроэнергетики,  
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и  
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

**Подписной индекс – 76136**

<https://doi.org/10.48081/AFHU6838>

---

**Бас редакторы – главный редактор**

Кислов А. П.  
*к.т.н., доцент*

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

**Редакция алкасы – Редакционная коллегия**

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*  
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*  
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*  
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*  
Новожилов Т. А., *д.т.н., профессор*  
Алиферов А.И., *д.т.н., профессор (Россия)*  
Кошеков К.Т., *д.т.н., профессор*  
Приходько Е.В., *к.т.н., профессор*  
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*  
Нефтисов А. В., *доктор PhD*  
Омарова А.Р., *технический редактор*

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/RUSP7260>**\*А. С. Звонцов<sup>1</sup>, А. П. Кислов<sup>2</sup>**<sup>1,2</sup>Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕШЕТЧАТОГО КОДИРОВАНИЯ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ**

*В статье рассмотрены вопросы решетчатого кодирования в сетях связи.*

*Показано, что при проектировании устройств передачи информации разработчикам приходится решать задачи выбора параметров этих устройств, позволяющих оптимальным образом выполнить техническое задание. При этом необходимо минимизировать ошибки при передаче одного бита информации. Эта возможность допускается за счет применения модуляции в системах связи – изменении одного или нескольких параметров несущего колебания в соответствии с передаваемым сообщением. Обеспечение высокой достоверности передаваемых данных невозможно без учета применения устройств кодирования в составе систем передачи информации.*

*Приведены примеры нахождения оценки эффективности кодирования с помощью Хеммингового расстояния – важнейшей характеристики помехоустойчивого кода, определяемое как минимальное расстояние в пространстве среди всех возможных расстояний между двумя любыми кодовыми комбинациями.*

*Показан алгоритм вычисления кодера через построение решетчатого множества сигналов, используемых для передачи кодированного сообщения, разбиение сформированного расширенного множества на подмножества групп кодированных значений.*

*Получены результаты кодирования для амплитудной и фазовой модуляций гармонического колебания.*

*Приведенные примеры расчета дают представление о расчетах геометрического множества сигналов в некодированной и кодированной системах.*

*Ключевые слова: цифровые системы связи, системы передачи информации, амплитудная модуляция, фазовая модуляция, помехоустойчивый код, эффективность решетчатого кодирования, метрика расстояний, Хеммингово расстояние.*

## Введение

Решетчатое кодирование – это объединение модуляции сигнала с кодированием, как для блочных, так и для сверточных кодов преобразования входных данных кодера, представляющих собой  $k$ –размерную последовательность преобразования в более длинную  $n$ –размерную последовательность кодового слова, что требует дополнительного расширения полосы пропускания системы.

Однако оказывается возможным объединить модуляцию и кодирование в единый процесс – это позволяет повысить достоверность информации, не расширяя при этом полосу частот сигнала, не жертвуя скоростью передачи данных, не увеличивая затрачиваемую на передачу данных мощность сигнала.

Решетчатое кодирование относится к классу методов кодирования параметров сигнала. При этом используются  $M$  – размерные сигналы для фазовой модуляции, амплитудной модуляции или квадратурно-амплитудной модуляции.

Например, сигнал 8–ФМн в кодированной системе со степенью  $2/3$  представляет сигнал 4–ФМн в некодированной системе:

$$8^{2/3} = \sqrt[3]{8^2} = 2^2 = 4$$

Сигнал 32–КАМн в кодированной системе со степенью  $4/5$  представляет сигнал 16–КАМн в некодированной системе:

$$32^{4/5} = \sqrt[5]{32^4} = 2^4 = 16$$

## Материалы и методы

Для построения решетки кодирования множество кодированных сигналов последовательно разбивается на подмножества. Сигналы каждого из подмножеств отображаются на сигнальной плоскости.

Приведем примеры разбиения множества кодированных сигналов на подмножества для случаев 8–ФМн и 4–ФМн.

Метрикой расстояния берется евклидова метрика. Согласно этой метрике расстояние  $d_0$  между двумя сигнальными векторами и определяется как Хеммингово расстояние  $d_{\min}$  – модуль вектора разности этих векторов

$$[d_0 = A_1 - A_2] \quad (1)$$

Данная метрика показана на рисунке 1.

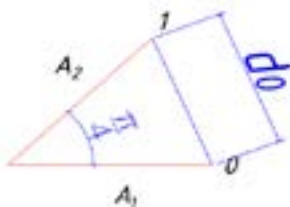


Рисунок 1 – Минимальное расстояние между сигналами при единичной амплитуде

Для набора сигналов 8-ФМн данное расстояние равно:

$$(d_0)^2 = A_1^2 + A_2^2 - 2 \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot \cos \frac{\pi}{4}$$

$$d_0(1,0) = 2 \sin\left(\frac{\pi}{8}\right) = 0,765.$$

Геометрическое расстояние показано на рисунке 2.

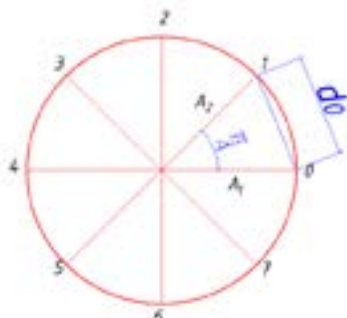


Рисунок 2 – Набор сигналов 8-ФМн

На рисунке 3 показан пример набора сигналов 4-ФМн

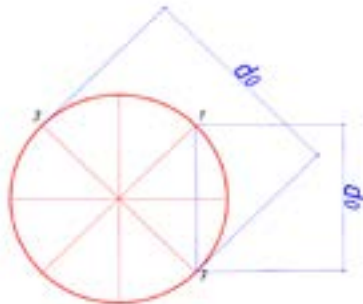


Рисунок 3 – Набор сигналов 4-ФМн

Для набора сигналов 4-ФМн расстояние при единичной амплитуде между сигналами 1 и 7 составляет

$$d_{\{1,7\}} = \sqrt{2}$$

Для набора сигналов 4-ФМн расстояние при единичной амплитуде между сигналами 3 и 7 составляет

$$d_{\{3,7\}} = 2$$

Анализ принятия решения решений по принципу максимального правдоподобия при единичной средней мощности сигнала в гауссовском шуме с дисперсией показывает, что нижний предел вероятности принятия ошибочного решения записывается как

$$(P_{\text{ош}})_{\text{min}} = F\left(\frac{d_j}{2G}\right) \quad (2)$$

где  $F(\cdot)$  – гауссовский интервал ошибок;  
 $d_j$  – просвет кодированной системы.

Оценка эффективности кодирования.

Под эффективностью кодирования при заданной вероятности ошибочного решения понимается уменьшение отношения  $\frac{E_s}{N_s}$ , которое достигается при использовании кодирования

$$G = \left( \frac{E_s}{N_s} \right)_n - \left( \frac{E_s}{N_s} \right)_c \quad (\Delta B) \quad (3)$$

где

$$\left( \frac{E_s}{N_s} \right)_n - \text{некодированное значение } \left( \frac{E_s}{N_s} \right);$$

$$\left( \frac{E_s}{N_s} \right)_c - \text{кодированное значение } \left( \frac{E_s}{N_s} \right).$$

$E_b$  – энергия сигнала, затрачиваемая на передачу одного бита информации.

Исследование эффективности решетчатого кодирования показывает, что эффективность кодирования выражается как

$$G = 20 \lg \left( \frac{d_c}{d_n} \right) \quad (4)$$

или

$$G = 10 \lg \left( \frac{d_c}{d_n} \right)^2 \quad (5)$$

где –  $d_c$  просвет кодированной системы, ед;

$d_n$  – просвет некодированной системы, ед;

### Результаты и обсуждение

Рассмотрим примеры оценки эффективности кодирования при наборе выходных сигналов 8-ФМн с решеткой из 4-х узлов.

Решетка и просвет некодированного сообщения в такой системе показан на рисунке 4.

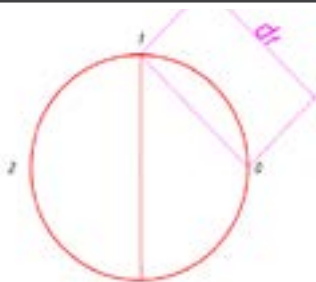
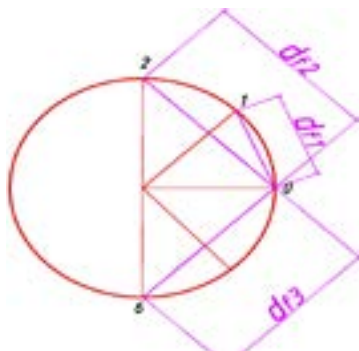


Рисунок 4 – Решетка 8-ФМн из 4-х узлов

Просвет этой решетки равен расстоянию между сигналами 0 и 1 и составляет при единичной амплитуде

$$d_f = \sqrt{R^2 + R^2} = R\sqrt{2}$$

Рассмотрим путь  $G=\{2.1.6\}$  в решетке 8-ФМн

Рисунок 5 – Просвет кодированной системы для  $G=\{2.1.6\}$ 

Найдем  $d_f$  - сумму квадратов отдельных расстояний через центр (через 0), т.е. сумму квадратов отдельных расстояний между сигналами 2 и 0, 1 и 0, 6 и 0:

$$d_f = \sqrt{d_{11}^2 + d_{12}^2 + d_{13}^2}, \quad (6)$$



где:

$$d_{r_1} = 2 \sin\left(\frac{\pi}{8}\right)$$

$$d_{r_2} = \sqrt{2}$$

$$d_{r_3} = \sqrt{2}$$

Подставив данные в формулу (6) получим:

$$d_s = \sqrt{\left(2 \sin\left(\frac{\pi}{8}\right)\right)^2 + (\sqrt{2})^2 + (\sqrt{2})^2} = 2,14$$

Найдем  $d_n$  – просвет некодированной системы – среднее арифметическое расстояние между  $d_{n1}, d_{n2}$  и  $d_{n3}$ :

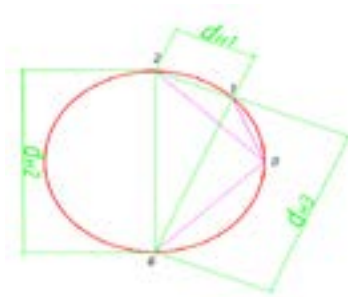


Рисунок 6 – Просвет некодированной системы для  $G=\{2.1.6\}$

В общем виде формула

$$d_s = \frac{d_{n1} + d_{n2} + d_{n3}}{3} \quad (7)$$

$$d_{r_1} = d_{n1} = 2 \sin\left(\frac{\pi}{8}\right)$$

$$d_{r_2} = 2$$

Найдем  $d_n3$

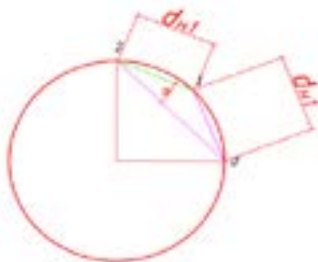


Рисунок 7 – Нахождение отрезка  $d_n3$

Из треугольника 2-1-0:

$$4\sin^2\left(\frac{\pi}{8}\right) = 4\sin^2\left(\frac{\pi}{8}\right) + (\sqrt{2})^2 - 2 \cdot 2\sin\left(\frac{\pi}{8}\right) \cdot \sqrt{2} \cdot \cos(\angle 12,20)$$

Откуда

$$\cos(\angle 12,20) = 0,923$$

Соответственно,  $\angle 12,20 = 21^\circ$

Из треугольника 1-2-6:

$$d_n3^2 = d_n2^2 + d_n1^2 - 2 \cdot d_n1 \cdot d_n2 \cdot \cos(21^\circ + 45^\circ)$$

Откуда

$$d_n3 = 1,83$$

Тогда

$$d_n = \frac{1,83 + 2 + 0,765}{3} = 1,531$$

Тогда эффективность кодирования составит

$$G = 10 \lg \left( \frac{2,14}{1,531} \right)^2$$

Откуда  $G=2,91$  дБ

2. Рассмотрим путь  $G=\{2.7.6\}$  решетке 8-ФМн

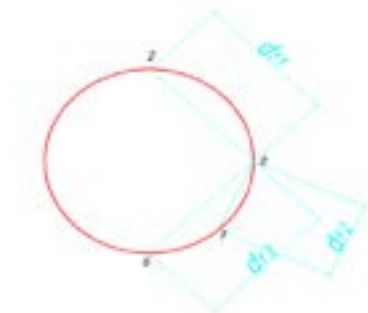


Рисунок 8 – Просвет кодированной системы для  $G=\{2.7.6\}$

Найдем  $d_f$  - сумму квадратов отдельных расстояний через центр (через 0), т.е. сумму квадратов отдельных расстояний между сигналами 2 и 0, 7 и 0, 6 и 0:

$$d_f = \sqrt{d_{f1}^2 + d_{f2}^2 + d_{f3}^2}$$

$$d_{f1} = d_{f2} = \sqrt{2}$$

$$d_{f3} = 2 \sin\left(\frac{\pi}{8}\right)$$

Подставив данные в формулу (6), получим

$$d_7 = 2,14$$

Найдем  $d_n$  – просвет некодированной системы – среднее арифметическое расстояние между  $d_{n1}, d_{n2}$  и  $d_{n3}$ :

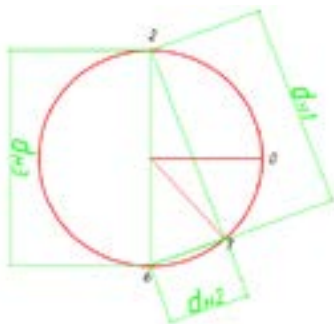


Рисунок 9 – Просвет некодированной системы для  $G=\{2.7.6\}$

Согласно формуле (7) необходимо найти отрезки  $d_{n1}, d_{n2}$  и  $d_{n3}$

$$d_{n3} = 2$$

$$d_{n2} = 2\sin\left(\frac{\pi}{8}\right)$$

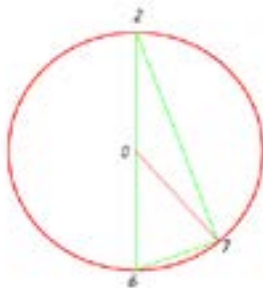


Рисунок 10 – Нахождение отрезка  $d_{n1}$

Из треугольника 2–7–6

$$d_{н1}^2 = d_{н3}^2 + d_{н2}^2 - 2 \cdot d_{н3} \cdot d_{н2} \cdot \cos(\angle 06,76)$$

Откуда

$$d_{н1} = 1,85$$

Согласно формуле (7)

$$d_* = \frac{1,85 + 2 + 0,765}{3} = 1,54$$

Тогда эффективность кодирования составит

$$G = 10 \lg \left( \frac{2,14}{1,54} \right)^2$$

Откуда  $G = 2,86$  дБ

### Выводы

При использовании в системах связи реального времени кодов коррекции ошибок достоверность передачи улучшается за счет расширения полосы частот. Как для блочных, так и для сверточных кодов преобразование каждого потока входных данных в более длинный поток кодового слова требует дополнительного расширения полосы пропускания. Вследствие этого кодирование не было особенно популярно в узкополосных каналах (таких, как телефонные), в которых расширять полосу частот сигнала было нецелесообразно.

Однако в схемах, где модуляция объединяется с решетчатым кодированием возможно повысить достоверность передачи, не расширяя при этом полосу частот сигнала. Такие схемы используют избыточную модуляцию.

К информационным и сигнальным параметрам системы передачи информации относятся скорость передачи информации, достоверность передачи информации, вид и параметры модуляции сигнала, полоса частот системы.

Особое место среди этих параметров занимает энергетика и полоса частот системы. Соответственно при приеме и передаче в таких системах

возникает вероятность принятия ошибочного бита информации, что приводит к возникновению помех в сетях связи.

Для уменьшения помех существует алгоритм нахождения эффективности кодирования, подразумевающий уменьшение отношения сигнал/шум – отношение энергии сигнала на 1 бит к плотности шумов на 1 Гц.

Данный алгоритм, основанный на нахождении метрики расстояний между сигналами для амплитудной и фазовой модуляций, использует логарифмическое отношение кодированной и некодированной систем и является важнейшей характеристикой корректирующего кода в канале связи.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Акулиничев, Ю. П.** Теория электрической связи [Текст: электронный] учебное пособие / Ю. П. Акулиничев, А. С. Бернгардт. – Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2015. ц–ш193р. ш–з URL: <https://www.iprbookshop.ru/72193.html>

2 **Данилов, В. А., Жабинский, Ю. В., Львов, В. Л.** Теория электрической связи. Методическое пособие для проведения практических занятий [Текст: электронный] / – Ростов-на-Дону : Северо-Кавказский филиал Московского технического университета связи и информатики, 2012. – 38с. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/6180.html>

3 **Гоноровский, И. С.** Радиотехнические цепи и сигналы. [Текст]. Учебное пособие М. : Радио и связь, 2016

4 **Григорьев, В. А.** Теория электрической связи [Текст: электронный]: Сборник задач / В. А. Григорьев. – Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2012. – 78 с. URL: <https://www.iprbookshop.ru/68710.html>

5 **Иванов, М. Т., Сергиенко, А. Б., Ушаков, В. Н.** Теоретические основы радиотехники [Текст] Учебное пособие.– М.: Высшая школа, 2002

6 **Каганов, В. И., Битюков, В. К.** Основы радиоэлектроники и связи [Текст]: Учебное пособие для вузов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 542 с.

7 **Кон, Е. Л.** Теория электрической связи. Помехоустойчивая передача данных в информационно-управляющих и телекоммуникационных системах: модели, алгоритмы, структуры [Текст: электронный] Учебное пособие / Е. Л. Кон, В. И. Фрейман. – Пермь : Пермский государственный технический университет, 2007. – 318 с. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/105635.html>

8 **Лузин, В. И.** Основы формирования, передачи и приема цифровой информации [Текст: электронный] Учебное пособие/ В.И. Лузин, Н.П. Никитин, В.И. Гадзиковский. – М. : СОЛОН-Пр., 2014. – 316 с. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/493066>

9 **Вадутов, О. С.** Математические основы обработки сигналов. Практикум : учебное пособие/ О. С. Вадутов. – Томск : Томский политехнический университет, 2014. – 102 с. – [Текст: электронный] // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/34676.html>

10 **Малинкин, В. Б.** Основы адаптивной цифровой обработки сигналов : учебное пособие / В. Б. Малинкин. – Новосибирск : Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2011. – 266 с. – [Текст: электронный] // Электронно – библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/55487.html>

## REFERENCES

1 **Akulichev, Yu. P.** Teoriya elektricheskoy svyazi [Electrical communication theory] [Tekst: elektronnyy] uchebnoye posobiye / **Yu. P. Akulichev., Berngardt, A. S.** – Tomsk : Tomskiy gosudarstvennyy universitet sistem upravleniya ishchradioelektroniki.o2015.shch-sh193rc.sh-zURL: <https://www.iprbookshop.ru/72193.html>

2 **Danilov, V. A., ZHabinский, YU. V., L'vov, V. L.** Teoriya elektricheskoy svyazi. Metodicheskoe posobie dlya provedeniya prakticheskikh zanyatij [Electrical communication theory. Methodological guide for practical training] [Tekst: elektronnyj]/ – Rostov-na-Donu : Severo-Kavkazskiy filial Moskovskogo tekhnicheskogo universiteta svyazininformatiki,2012.-38rs. URL:<https://www.iprbookshop.ru/6180.html>

3 **Gonorovskij, I. S.** Radiotekhnicheskie cepi i signaly. [Radio circuits and signals] [Tekst] Uchebnoe posobie M.:Radio i svyaz', 2016

4 **Grigor'ev, V. A.** Teoriya elektricheskoy svyazi [Electrical communication theory] [Tekst: elektronnyj]: Sbornik zadach / V. A. Grigor'ev. - Sankt-Peterburg : Universitet ITMO, 2012. - 78 с. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/68710.html>

5 **Ivanov, M. T., Sergienko, A. B., Ushakov, V. N.** [Theoretical foundations of radio engineering] Teoreticheskie osnovy radiotekhniki [Tekst]: Uchebnoe posobie.– M.:Vysshaya shkola, 2002

6 **Kaganov, V. I., Bitjukov, V. K.** Osnovy radioelektroniki i svyazi [Fundamentals of radio electronics and communications] [Tekst] Uchebnoe posobie dlya vuzov. –M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2007. – 542 s.

7 **Kon, E. L.** Teoriya elektricheskoy svyazi. Pomekhoustoichivaya predacha dannyh v informacionno-upravlyayushchih i telekommunikacionnyh sistemah: modeli, algoritmy, struktury [Electrical communication theory. Interference-resistant data transmission in information management and telecommunication systems: models, algorithms, structures] [Tekst: elektronnyj] Uchebnoe posobie

/ E. L. Kon, V. I. Frejman. - Perm' : Permskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2007. - 318 c. URL: <https://www.iprbookshop.ru/105635.html>

8 **Luzin, V. I.** Osnovy formirovaniya. peredachi i priyema tsifrovoy informatsii [Fundamentals of the formation, transmission and reception of digital information] [Tekst: elektronnyj] Uchebnoye posobiye/ V.I. Luzin. N.P. Nikitin. V.I. Gadzikovskiy. - Moskva : SOLON-Pr.. 2014. - 316 p. URL: <https://znanium.com/catalog/product/493066>

9 **Vadutov, O. S.** Matematicheskie osnovy obrabotki signalov. Praktikum : uchebnoe posobie / O. S. Vadutov. – Tomsk : Tomskij politekhnicheskij universitet, 2014. – 102 c. – [Mathematical foundations of signal processing. Workshop: a tutorial] [Tekst: elektronnyj] // Elektronno-bibliotchnaya sistema IPR BOOKS : [sajt]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/34676.html>

10 **Malinkin, V. B.** Osnovy adaptivnoj cifrovoj obrabotki signalov : uchebnoe posobie / V. B. Malinkin. – Novosibirsk : Sibirskij gosudarstvennyj universitet telekommunikacij i informatiki, 2011. – 266 c. – [Fundamentals of adaptive digital signal processing: a tutorial] [Tekst: elektronnyj] // Elektronno-bibliotchnaya sistema IPR BOOKS: [sajt]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/55487.html>

Материал поступил в редакцию 15.09.22.

\*А. С. Звонцов<sup>1</sup>, А. П. Кислов<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.  
Материал баспаға 15.09.22 түсті.

## ЦИФРЛЫҚ БАЙЛАНЫС ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ ТОРЛАРДЫ КОДТАУДЫҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

*Мақалада байланыс желілеріндегі торды кодтау мәселелері қарастырылады.*

*Ақпаратты жіберуге арналған құрылғыларды жобалау кезінде әзірлеушілерге техникалық тапсырманы оңтайлы түрде орындауға мүмкіндік беретін осы құрылғылардың параметрлерін таңдау мәселесін шешуге тура келетіні көрсетілген. Бұл жағдайда бір бит ақпаратты берудегі қателерді азайту қажет. Бұл мүмкіндік байланыс жүйелерінде модуляцияны қолдану есебінен рұқсат етіледі – жіберілетін хабарламаға сәйкес тасымалдаушы толқынның бір немесе бірнеше параметрлерін өзгерту. Ақпаратты тасымалдау жүйелерінің бөлігі ретінде кодтау құрылғыларын пайдалануды есепке алмай, жіберілетін деректердің жоғары сенімділігін қамтамасыз ету мүмкін емес.*



*Кез келген екі код комбинациясы арасындағы барлық мүмкін қашықтықтардың арасындағы кеңістіктегі ең аз қашықтық ретінде анықталған қатені түзететін кодтың ең маңызды сипаттамасы – Хемминг қашықтығы арқылы кодтау тиімділігінің бағасын табу мысалдары келтірілген.*

*Шығарылған кеңейтілген жиынды кодталған мәндер топтарының ішкі жиындарына бөле отырып, кодталған хабарламаны беру үшін пайдаланылатын сигналдардың торлы жинағын құру арқылы кодтаушыны есептеу алгоритмі көрсетілген.*

*Гармоникалық тербелістердің амплитудалық және фазалық модуляцияларын кодтау нәтижелері алынған.*

*Берілген есептеу мысалдары кодталмаған және кодталған жүйелердегі сигналдардың геометриялық жиынын есептеу туралы түсінік береді.*

*Кілтті сөздер: сандық байланыс жүйелері, ақпарат беру жүйелері, амплитудалық модуляция, фазалық модуляция, шуыла қарсы код, торды кодтаудың тиімділігі, қашықтық метрикасы, Хемминг қашықтығы.*

\*A. S. Zvontsov<sup>1</sup>, A. P. Kislov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Material received on 15.09.22.

## **EVALUATION OF TRELIS-CODED MODULATION EFFICIENCY IN DIGITAL COMMUNICATION SYSTEMS**

*The article deals with the issues of trellis-coded modulation in communication networks.*

*It is shown that when designing devices for transmitting information, developers have to solve the problem of choosing the parameters of these devices that allow them to perform the technical task in an optimal way. At the same time, it is necessary to minimize errors in the transmission of one bit of information. This possibility is achieved due to the use of modulation in communication systems - changing one or more parameters of the carrier wave in accordance with the transmitted message.*

*Ensuring high reliability of the transmitted data is impossible without taking into account the use of coding devices within information transmission systems.*

*The article gives examples of estimating the coding efficiency using the Hamming distance - the key characteristic of an error-correcting code*

*defined as the minimum distance in space among all possible distances between any two code combinations.*

*An algorithm is shown for encoder calculation through the construction of a trellis set of signals used to transmit a coded message, dividing the generated extended set into subsets of groups of coded values.*

*The results of coding for amplitude and phase modulations of harmonic oscillations are obtained.*

*The given calculation examples give an idea of calculating the geometric set of signals in uncoded and coded systems.*

*Keywords: digital communication systems, information transmission systems, amplitude modulation, phase modulation, noise-resistant code, efficiency of lattice coding, distance metric, Hamming distance.*

Теруге 15.09.2022 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2022 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

3 Mb RAM

Шартты баспа табағы 19,8. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3989

Сдано в набор 15.09.2022 г. Подписано в печать 30.09.2022 г.

Электронное издание

3 Mb RAM

Усл. печ. л. 19,8. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3989

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: [kereku@tou.edu.kz](mailto:kereku@tou.edu.kz)

[www.vestnik-energy.tou.edu.kz](http://www.vestnik-energy.tou.edu.kz)