

УДК 681.3.

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/113/24>

ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В УСЛОВИЯХ МНОГОЛУЧЕВЫХ ЗАМИРАНИЙ В КАНАЛЕ

©*Абдыраева Н. Р.*, ORCID: 0000-0001-2345-6789, SPIN-код: 1576-7528, канд. техн. наук,
Ошский технологический университет, г. Ош, Кыргызстан, nabdyraeva80@mail.ru

©*Бакытбеков Д. Б.*, Ошский технологический университет,
г. Ош, Кыргызстан, dbakytbekov@megacom.kg

©*Поletaев А. Д.*, Ошский технологический университет,
г. Ош, Кыргызстан, sania99opa@gmail.com

ASSESSMENT OF NOISE IMMUNITY OF INFORMATION TRANSMISSION SYSTEM UNDER MULTIPATH FADING CONDITIONS IN THE CHANNEL

©*Abdyraeva N.*, ORCID: 0000-0001-2345-6789, SPIN code: 1576-7528, Ph.D.,
Osh Technological University, Osh, Kyrgyzstan, nabdyraeva80@mail.ru

©*Bakytbekov D.*, Osh Technological University, Osh, Kyrgyzstan, dbakytbekov@megacom.kg

©*Poletaev A.*, Osh Technological University, Osh, Kyrgyzstan, sania99opa@gmail.com

Аннотация. Рассмотрена помехоустойчивость системы передачи информации в условиях многолучевых замираний. Анализированы методы формирования и обработки сигналов, устойчивые к воздействию сосредоточенных по спектру помех. В результате выявлено, что величина отношения энергии прямого луча к энергии отраженного луча сигнала оказывает существенное влияние на вероятность ошибочного приема информации.

Abstract. Examines the noise immunity of an information transmission system under conditions of multipath fading. The methods of signal formation and processing that are resistant to the effects of interference concentrated in the spectrum are analyzed. As a result of modeling, it was found that, The value of the ratio of the energy of the direct beam to the energy of the reflected beam of the signal has a significant effect on the probability of erroneous reception of information.

Ключевые слова: помехоустойчивость, многолучевое замирание, обмен информации.

Keywords: noise immunity, multipath fading, information exchange.

В условиях плотной городской застройки процесс передачи данных между различными электронными устройствами осложняется значительными препятствиями, вызванными электромагнитного взаимодействия множества устройств. Ключевыми проблемами ухудшающие качество обмена информацией и повышающие вероятность ошибочного декодирования информации становятся:

1. Сосредоточение помех в определенных спектральных диапазонах из-за активности разнообразного оборудования – от промышленных генераторов и медицинских аппаратов до микроволновых передатчиков и т.д.

2. Увеличение вероятности ошибок при декодировании информации, обусловленное с многолучевым распространением сигналов, отраженных от различных объектов. Дополнительный негативный фактор представляет многолучевое распространение сигналов. Эти искажения происходят из-за множественных отражений и преломлений сигнала в городской среде с ее разнообразными архитектурными объектами, что существенно снижает

качество передачи данных.

Возрастающая потребность людей в быстром и качественном информационном обмене привела к активному развитию методов и технологий, которые обеспечивают передачу, хранение и обработку данных. Часто источник информации и её потребитель находятся на значительном расстоянии друг от друга. Важно отметить, что в процессе передачи информации на большие расстояния она может подвергаться как незначительным изменениям, так и серьезным искажениям, вызванным помехами как техногенного, так и природного происхождения.

Ухудшение надежности информационного обмена обусловлено различными помехами. Наиболее значительное влияние на передаваемую информацию оказывают узкополосные и флуктуационные помехи, а также многолучевые замирания в каналах связи. Также было установлено, что для повышения устойчивости информационных коммуникаций к воздействию спектрально сосредоточенных помех необходимо применять сигнально-кодовые конструкции с минимальной корреляцией с этими помехами, а именно сигналы, основанные на собственных векторах субполосной матрицы с малыми собственными значениями. Однако из-за недостатка исследований по устойчивости данного типа сигналов к многолучевым искажениям невозможно оценить целесообразность применения этого метода формирования сигналов в городской среде.

В связи с этим целью работы явилась оценка влияния многолучевых искажений на сигналы, основанные на собственных векторах субполосной матрицы с применением компьютерной модели.

Во время передачи данных через физические каналы, различные виды электромагнитных помех могут исказить передаваемую информацию.

При передаче информации через физические каналы, различные виды помех могут исказить передаваемую информацию. Электромагнитная помеха (ЭП) – нежелательное воздействие электромагнитного, электрического и магнитного полей, а также тока и напряжения любого источника, которое может ухудшить качество функционирования системы, обеспечивающее информационный обмен за счет искажения информативных параметров полезного сигнала [1].



Рисунок 1. Классификация помех и их источников

Сигналы, передаваемые между передающей и приемной антеннами, подвержены флуктуациям мощности сигнала. Эти флуктуации сигнала визуализируется результате использования антенны, где будут суммироваться несколько лучей. Лучи попадают в

антенну по разным путям, и при этом испытывают отражения и дифракции из-за окружающих препятствий. Принятый сигнал будет испытывать случайные флуктуации, как по амплитуде, так и по фазе. Случайные флуктуации амплитуды можно наблюдать путем записи огибающей сигнала, по мере того, как антенна физически перемещается как функция расстояния. Эти записи, как было показано, демонстрируют распределение Рэллея [2]. При условии, что r обозначает огибающую принятого сигнала или амплитуду, случайное явление описывается следующим образом:

$$\rho(r) = \frac{r}{\sigma^2} \cdot e^{\frac{-r^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где σ^2 – средняя мощность сигнала.

Явление многолучевого замирания Райса. Здесь преобладают стационарные сигналы, или луч, которые усиливают мощность принимаемого сигнала, в частности как лучи, распространяющиеся в направлении прямой видимости. Распределение Райса выражается следующим уравнением:

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} \cdot e^{\frac{-(r^2+A^2)}{2\sigma^2}} \cdot I_0\left(\frac{rA}{\sigma^2}\right) \quad (0 \leq A), \quad (0 \leq r) \quad (2)$$

где $I_0(x)$ – модифицированная функция Бесселя первой категории и нулевого порядка $A^2/2$ пропорционально мощности доминирующего сигнала [3].

Возникает вопрос, насколько доминирующим или важным должен быть сигнальный луч. Ответ дает вычисление коэффициента K :

$$K = 10 * \log \left[\frac{A^2}{2\sigma^2} \right] \text{ (дБ)}. \quad (3)$$

Этот коэффициент представляет соотношение между мощностью преобладающего сигнала и мощностью многолучевого сигнала. Например, если доминирующего сигнала нет, в этом случае $A=0$; $K=\infty$, и данное распределение теперь принимает вид Рэллея. С другой стороны, примем, что многолучевой сигнал отсутствует, в этом случае $\sigma^2=0$ и $K=\infty$, здесь распределение приближается к виду импульса (или дельта-функции Дикара).

Подводя итог всего вышесказанного, следует отметить, что именно случайные помехи оказывают наибольшее влияние на передаваемые данные по информационным коммуникациям. Поэтому в техногенных условиях современных промышленных городов, особое внимание при случайных внешних воздействиях на информационные сигналы, следует уделять помехам сосредоточенных в полосах частот, наряду с флуктуационными помехами. Наибольшее влияние полосе частот в крупных городах имеют данный тип помех, которые служат для обеспечения информационного обмена между различными элементами информационных коммуникаций [6]. В связи с этим, для обеспечения заданного уровня качества передачи данных при информационном обмене в воздействии узкополосных помех, необходимо ограничить влияние помех на каналы передачи информации (экранирование каналов или компенсация помех), или закодировать передаваемую информацию таким образом, чтобы обеспечить максимальную устойчивость к данному виду помех.

Помимо различных видов помех, существенное влияние на помехоустойчивость систем передачи информации оказывает явление многолучевых замираний. Явление многолучевых замираний связано с многократными переотражениями принимаемых сигналов от различных объектов в городских условиях и последующей суперпозицией их на приемной антенне

передатчика.

Были моделированы сигналы для исследования помехоустойчивости системы связи при передаче сигналов по каналу Рэлея. В зависимости от частоты возникновения замираний и от отношения сигнал шума менялось вероятность ошибки. В процессе моделирование изменялись такие исходные параметры, как размер алфавита, используемого для модуляции, и ширина частотного интервала с минимальной энергией сигнала. Результаты моделирования представлены ниже в Таблицах.

Таблица 1

ВЕРОЯТНОСТЬ ОШИБКИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ СИГНАЛОВ
 ПО КАНАЛУ РЭЛЕЯ с $M=2$ и $df=2E+6$

Длина профиля	-10	0	10	20	30	40
256	0.499516	0.499591	0.500356	0.499272	0.499939	0.499521
512	0.479905	0.385988	0.286587	0.263431	0.265197	0.260522
1024	0.476007	0.381732	0.283774	0.247684	0.246205	0.245487
2048	0.475814	0.35113	0.240809	0.212672	0.206593	0.219441

Таблица 2

ВЕРОЯТНОСТЬ ОШИБКИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ СИГНАЛОВ
 ПО КАНАЛУ РЭЛЕЯ с $M=4$ и $df=4E+6$

Длина профиля	-10	0	10	20	30	40
256	0.499952	0.500202	0.500179	0.500521	0.499861	0.500926
512	0.493353	0.45668	0.419583	0.406559	0.406135	0.413015
1024	0.490659	0.451354	0.395403	0.376818	0.374753	0.375816
2048	0.490937	0.437091	0.367366	0.339226	0.342368	0.338765

По результатом полученных данных построен график (Рисунок 1).

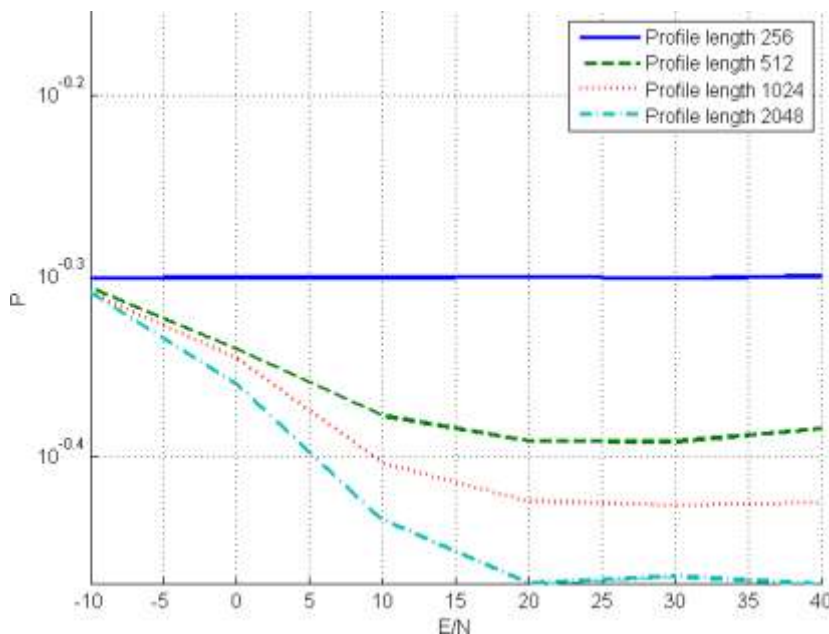


Рисунок 1. Вероятность ошибки системы связи при передаче сигналов по Рэлеевским каналам с $M=4$ и $df=8E+6$

Как видно из приведенных экспериментальных результатов отношение энергии сигнала к односторонней спектральной плотности белого шума влияет на вероятность ошибки в меньшей степени чем длительность многолучевых замираний. Следует отметить, что

увеличение длительности замираний (этот параметр напрямую влияет на частоту замираний) уменьшает вероятность ошибки.

Были проведены эксперименты по исследованию помехоустойчивости системы связи при передаче сигналов по каналу Райса. Вероятность ошибки изменялась в зависимости от значений отношений прямого и отраженного электромагнитных лучей и от отношения сигнал/шум [4, 5].

В процессе моделирования изменялись исходные параметры, как размер алфавита, используемого для модуляции, и ширина частотного интервала в которой энергия сигнала минимальна. Результаты моделирования представлены в Таблице 3. Для результатов иллюстрации результатов построен график вероятностей ошибок системы связи при передаче по каналу Райса.

Таблица 3

ВЕРОЯТНОСТЬ ОШИБКИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ СИГНАЛОВ ПО КАНАЛУ РАЙСА с $M=2$ и $df=2E+6$

Параметр Райса K	-10	0	10	20	30	40
0	0.47594	0.35062	0.238424	0.21909	0.21917	0.21790
10	0.45191	0.21926	0.021065	0.00635	0.00547	0.00527
20	0.44950	0.19320	0.002158	0	0	0
30	0.44773	0.19217	0.001488	0	0	0
40	0.44597	0.19182	0.001400	0	0	0

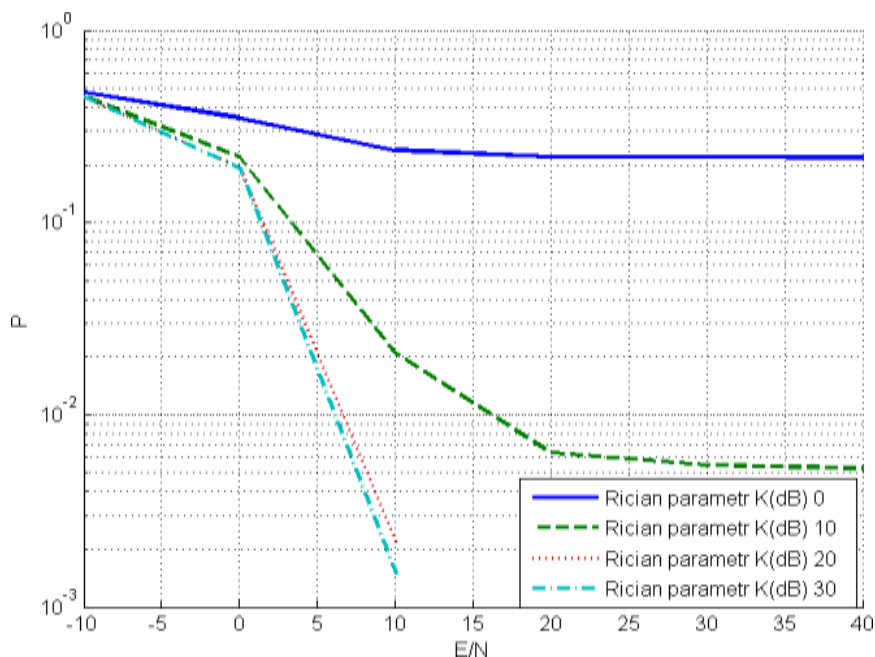


Рисунок 2. Вероятность ошибки системы связи при передаче сигналов по каналу Рэлея с $M=2$ и $df=2E+6$

Таблица 4

ВЕРОЯТНОСТЬ ОШИБКИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ СИГНАЛОВ ПО КАНАЛУ РАЙСА с $M=4$ и $df=8E+6$

Параметр Райса K	-10	0	10	20	30	40
0	0.48976	0.43379	0.35946	0.335924	0.33803	0.34260
10	0.48236	0.36144	0.16558	0.111151	0.10662	0.10454

Параметр Райса K	-10	0	10	20	30	40
20	0.47835	0.33804	0.07147	0.003845	0.00186	0.00152
30	0.47715	0.33597	0.06125	0.000017	0	0
40	0.46629	0.30985	0.05994	0	0	0

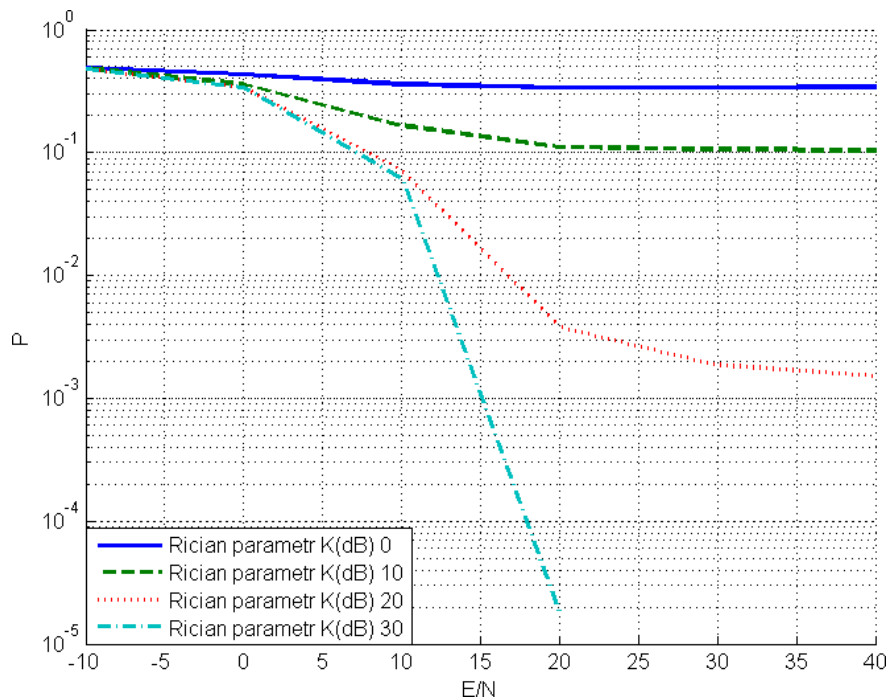


Рисунок 3. Вероятность ошибки системы связи при передаче сигналов по каналу Рэлея с $M=4$ и $df=8E+6$.

Заключение

Исследование показало возможность эффективной работы информационных сигналов за счет повышения помехоустойчивости канала связи.

Анализ результатов эксперимента показал следующее. Величина отношения энергии прямого луча к энергии отраженного луча сигнала оказывает существенное влияние на вероятность ошибочного приема информации.

Следует отметить то, что когда при малых параметрах отношения, а именно меньших 0 дБ кривая вероятности ошибки для сигналов претерпевших искажения в канале Райса практически полностью совпадает с кривой, полученной для канала Рэлея. В свою очередь большие отношения энергии прямого луча к энергии боковых, а именно больших 30 дБ приводит к совпадению кривой помехоустойчивости, полученной для канала Райса с кривой, полученной для сигналов, не претерпевших каких-либо искажений, за исключением добавления аддитивного белого шума.

Кроме того, следует отметить, что изменения ширины частотного интервала с минимальной энергией сигнала не оказывает существенного влияния на вероятность ошибки при декодировании информационных сигналов, даже при наличии искажений в каналах с многолучевыми замираниями.

Список литературы:

1. Бабин А. И. Радиочастотный спектр: эффективность использования и предложения по регулированию // Электросвязь. 2009. №7
2. Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельников Г. М. Численные методы. М., 2003. 632 с.

3. Крамер Г. Математические методы статистики, М.: Мир, 1975. 648 с.
4. Вишневский В. М., Семенова О. В. Системы поллинга: теория и применение в широкополосных беспроводных сетях. М.: Техносфера, 2007. 320 с.
5. Жилияков Е. Г., Белов С. П., Маматов Е. М., Ушаков Д. И., Старовоит И. А. О Возможности повышения эффективности использования выделенного частотного ресурса в системах с OFDM1 // Информационные системы и технологии. 2011. Т. 63. №1. С. 39.
6. Ташполотов Ы. Т., Абдыраева Н. Р. Фрактальная размерность и информационный обмен в сотовых сетях связи // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. №7. С. 198-202.

References:

1. Babin, A. I. (2009). Radiochastotnyi spektr: effektivnost' ispol'zovaniya i predlozheniya po regulirovaniyu. *Elektrosvyaz'*, (7), 13-15. (in Russian).
2. Bakhvalov, N. S., Zhidkov, N. P., & Kobel'nikov, G. M. (2003). *Chislennye metody*. Moscow. (in Russian).
3. Kramer, G. (1975). *Matematicheskie metody statistiki*, Moscow. (in Russian).
4. Vishnevskii, V. M., & Semenova, O. V. (2007). *Sistemy pollinga: teoriya i primenenie v shirokopolosnykh besprovodnykh setyakh*. Moscow. (in Russian).
5. Zhilyakov, E. G., Belov, S. P., Mamatov, E. M., Ushakov, D. I., & Starovoit, I. A. (2011). O vozmozhnosti povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya vydelennogo chastotnogo resursa v sistemakh s OFDM1. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii*, 63(1), 39. (in Russian).
6. Tashpolotov, Y., & Abdyraeva, N. (2018). Fractal dimension and information exchange in the cellular network. *Bulletin of Science and Practice*, 4(7), 198-202. (in Russian).

*Работа поступила
в редакцию 12.02.2025 г.*

*Принята к публикации
19.02.2025 г.*

Ссылка для цитирования:

Абдыраева Н. Р., Бакытбеков Д. Б., Полетаев А. Д. Оценка помехоустойчивости системы передачи информации в условиях многолучевых замираний в канале // Бюллетень науки и практики. 2025. Т. 11. №4. С. 160-166. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/113/24>

Cite as (APA):

Abdyraeva, N., Bakytbekov, D., & Poletaev, A. (2025). Assessment of Noise Immunity of Information Transmission System under Multipath Fading Conditions in the Channel. *Bulletin of Science and Practice*, 11(4), 160-166. (in Russian). [tps://doi.org/10.33619/2414-2948/113/24](https://doi.org/10.33619/2414-2948/113/24)