

# СИСТЕМЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И СЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

## TELECOMMUNICATION SYSTEMS AND NETWORK TECHNOLOGIES

Научная статья

УДК 621.391

<https://doi.org/10.24143/2072-9502-2022-4-48-53>

EDN LSPIRI

### Исследование эффективности помехозащищенности радиоканала авиационной радиосвязи

*Олег Николаевич Пищин<sup>✉</sup>, Ксения Павловна Воронина*

*Астраханский государственный технический университет,  
Астрахань, Россия, o.pishin@yandex.ru<sup>✉</sup>*

**Аннотация.** При выполнении полетов авиации важным фактором обеспечения безопасности экипажей является наличие качественной и надежной связи с диспетчерским пунктом. Целью настоящей работы является исследование качества авиационной радиосвязи при различных методах передачи информации для дальнейшей выработки технических решений по совершенствованию авиационных систем радиосвязи. Применяемое в настоящее время оборудование предназначено для ведения беспойсковой и бесподстроечной радиосвязи и обмена данными на фиксированных рабочих частотах наземных пунктов управления с радиосредствами летательных аппаратов в метровом и дециметровом диапазонах. Важнейшим требованием к системам авиационной радиосвязи является обеспечение высокого уровня помехозащищенности, включая защиту от активных помех. Рассматривается возможность наиболее успешного на первом этапе исследования варианта использования смены частот (или скачков по частотам) с целью выбора наименее подверженной помехам рабочей частоты. Проводится исследование использования псевдослучайной перестройки частоты радиосвязи между наземными пунктами управления и радиосредствами летательных аппаратов как одного из способов нивелирования помеховых воздействий. Для повышения устойчивости радиолинии необходимо использование цифровых методов передачи информации. Использование цифровых методов кодирования информации приводит к погрешностям низкого уровня в таких процессах, как дискретизация, модуляция, усиление, демодуляция и фильтрация. Ввиду этого нелинейное квантование позволяет обеспечить более высокий уровень отношения сигнала к помехе. При неизменном уровне мощности передатчика существует возможность осуществления устойчивой связи и при более высоких значениях отношения сигнала к помехе, что приводит в целом к увеличению дальности радиопередачи. Путем применения высокоустойчивых методов кодирования вероятность ошибки также может быть снижена. Исследуются и другие параметры, отражающие качество передачи информации по радиоканалу: разборчивость речи, вероятность ошибочного приема символов. Таким образом, цифровые методы передачи информации обладают более высокой помехозащищенностью по сравнению с аналоговыми, даже без применения специальных мер защиты. Применение специальных мер, таких как помехозащищенное кодирование и псевдослучайное переключение частоты, позволяет значительно повысить помехозащищенность системы радиосвязи.

**Ключевые слова:** радиосвязь, псевдослучайная перестройка частоты, помехозащищенность, соотношение сигнал/шум, цифровые методы передачи информации

**Для цитирования:** Пищин О. Н., Воронина К. П. Исследование эффективности помехозащищенности радиоканала авиационной радиосвязи // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2022. № 4. С. 48–53. <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2022-4-48-53>. EDN LSPIRI.

Original article

## Studying effectiveness of channel jamming protection in aeronautical radio communications

Oleg N. Pishchin<sup>✉</sup>, Kseniya P. Voronina

Astrakhan State Technical University,  
Astrakhan, Russia, o.pishchin@yandex.ru<sup>✉</sup>

**Abstract.** When performing aviation flights the high-quality and reliable communication with the control room becomes important for ensuring the crew safety. The purpose of the study is to investigate the quality of aviation radio communication in different methods of information transmission for developing the technical solutions of radio communication perfection. The equipment used today is designed for instant selection of preset channels and data exchange at fixed operating frequencies of ground control points with aircraft radio equipment in the meter and decimeter ranges. The most important requirement for the aviation radio communication systems is to ensure a high level of noise immunity including protection against active interference. There is considered the process of frequency changing, or frequency hops, as the most successful at the first stage of the study in order to find the least interference-prone operating frequency. The use of pseudorandom frequency changing of radio communication between the ground control points and aircraft radio equipment is studied as one of the ways of leveling interference effects. To increase the stability of the radio line, it is necessary to use digital methods of information transmission. The use of digital methods of encoding information leads to low-level errors in the processes of discretization, modulation, amplification, demodulation and filtering. Due to this, nonlinear quantization allows for a higher level of signal-to-noise ratio. With a constant power level of the transmitter it is possible to carry out stable communication even at higher values of the signal-to-interference ratio, which generally leads to the increasing radio transmission range. Using highly robust coding methods, the probability of error can also be reduced. There are studied different parameters reflecting the quality of information transmission over the radio channel: speech intelligibility, probability of erroneous reception of symbols. Thus, the digital methods of information transmission have higher noise immunity compared to the analog ones, even without special protection measures. Using special measures (noise-proof coding, pseudorandom frequency changing) can significantly increase the jamming protection of the radio communication system.

**Keywords:** radio communication, pseudorandom frequency changing, jamming protection, signal/noise ratio, digital methods of information transmission

**For citation:** Pishchin O. N., Voronina K. P. Studying effectiveness of channel jamming protection in aeronautical radio communications. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics. 2022;4:48-53.* (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-4-48-53>. EDN LSPIRI.

### Введение

Выполнение полетов авиации связано с важными факторами обеспечения их безопасности. Основной безопасностью, как правило, является обеспечение надежного управления полетами и диспетчерского контроля передвижения воздушных судов. В настоящее время ситуация с ведением авиационной радиосвязи не отвечает высоким требованиям оперативности при принятии решений в экстремальной ситуации. Одной из систем авиационной радиосвязи, применяемой в настоящее время, является радиостанция, предназначенная для ведения беспойсковой и бесподстроечной радиосвязи и обмена данными на фиксированных рабочих частотах наземных пунктов управления с радиосредствами летательных аппаратов в метровом и дециметровом диапазонах. Важнейшим требованием к системам авиационной радиосвязи является обеспечение высокого уровня помехозащищенности.

В настоящее время сообщения передаются в цифровом виде, а речевая информация – в аналоговом режиме с использованием амплитудной модуляции. Важнейшим требованием к системам авиационной радиосвязи является обеспечение высокого уровня помехозащищенности.

Помехозащищенность – способность радиосистемы обеспечивать передачу информации с требуемым качеством при возможном воздействии организованных помех.

Помехозащищенность подразумевает наличие двух свойств: скрытность – способность радиосистемы излучать сигнал в течение заданного времени и заданной вероятностью не обнаружения факта работы радиосистемы противником; помехоустойчивость – способность радиосистемы противостоять мешающему воздействию помех, т. е. осуществлять передачу сигнала с заданным показателем качества. Одним из вариантов реализации высокой защищенности канала связи может быть использование псевдослучайной перестройки частоты, положительно влияющей на помехозащищенность передачи информации.

### Сравнительная оценка помехозащищенности аналоговых и цифровых систем связи

Для исследования помехоустойчивости следует задаться необходимым соотношением сигнал/шум на выходе приемного тракта.

Каналы связи для передачи телефонного сигнала должны обеспечивать сохранение разборчиво-

сти речи из натуральности речи и натуральности ее звучания. Разборчивость речи характеризуется разборчивостью звуков  $D$  или слов  $W$ . Существующие классы качества речи приведены в таблице.

Классы качества речи  
 Speech quality classes

Класс качества	Характеристика класса качества	Нормы разборчивости, %	
		звуков $D$	слов $W$
I	Понимание передаваемой речи без малейшего напряжения внимания	91 и более	98 и более
II	Понимание передаваемой речи без затруднений	85–90	94–97
III	Понимание передаваемой речи с напряжением внимания без переспросов и повторений	78–84	89–93
IV	Понимание передаваемой речи с большим напряжением внимания, переспросами и повторениями	61–77	70–88
V	Полная неразборчивость связного текста, срыв связи	60 и менее	69 и менее

Для безаварийного производства полетов необходимо обеспечение полной разборчивости слов, т. е. следует обеспечить класс качества I.

При белом шуме зависимость разборчивости звуков от отношения мощностей сигнал/шум в полосе телефонного сигнала 300–3 400 Гц показана на рис. 1 [1].

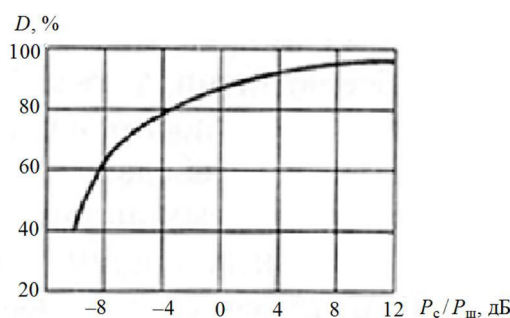


Рис. 1. Зависимость разборчивости речи от отношения мощностей сигнал/шум

Fig. 1. Dependence of speech intelligibility on signal-to-noiseratio

Таким образом, для обеспечения понимания передаваемой речи без малейшего напряжения внимания  $D = 98 \%$  необходимо отношение мощностей сигнал/шум  $P_c/P_{ш} = 12$  дБ, что соответствует соотношению сигнал/шум в абсолютных единицах

$$\delta^2 = P_c/P_{ш} = 10^{\frac{L}{10}} = 10^{1,2} = 15,8.$$

На входе приемника соотношение сигнал/шум должно быть не менее данной величины (15,8) [2].

Соотношение сигнал/шум может быть вычислено по формуле

$$\delta^2 = \frac{P_c}{N_0 \Delta F}, \quad (1)$$

где  $P_c$  – мощность сигнала на входе приемника, Вт;  $N_0$  – спектральная плотность шума на входе приемника, Вт/Гц;  $\Delta F$  – ширина спектра сигнала, Гц.

Мощность сигнала определяется соотношением

$$P_c = \frac{P_{\text{прд}} G_{\text{прд}} G_{\text{прм}} \lambda^2}{(4\pi R)^2 L_0},$$

где  $P_{\text{прд}} = 40$  Вт – мощность передатчика;  $G_{\text{прд}} = G_{\text{прм}} = 1$  – коэффициенты направленного действия передающей и приемной антенн;  $\lambda = 3$  м – длина волны несущего колебания;  $R = 100$  км – дальность радиосвязи;  $L_0 = 3$  – коэффициент дополнительного ослабления.

При заданных исходных данных

$$P_c = \frac{40 \cdot 9}{16 \cdot 9,86 \cdot 10^{10} \cdot 3} = 0,76 \cdot 10^{-10} \text{ Вт.}$$

Спектральная плотность шума на входе приемника определяется выражением

$$N_0 = kT_{ш},$$

где  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Вт/Гц – постоянная Больцмана;  $T_{ш} = 1\ 000$  К – шумовая температура, складывающаяся из эквивалентных шумовых температур антенны, атмосферы, космических источников, Земли и др.

Полоса речевого сигнала составляет 300–3 400 Гц, таким образом,  $\Delta F = 3\ 100$  Гц. Для передачи сигнала необходимо обеспечить полосу радиоканала не менее 6 200 Гц.

С учетом выражения (1) при отсутствии организованных помех соотношение сигнал/шум на входе приемника составит

$$\delta^2 = \frac{0,76 \cdot 10^{-10}}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 1\ 000 \cdot 6\ 200} = 0,9 \cdot 10^6 = 59,6 \text{ дБ,}$$

что говорит о достаточно высоком качестве приема сигнала. Запас по помехам составляет

$$\Delta = 59,6 - 12 = 47,6 \text{ дБ.}$$

Однако при наличии организованных помех ситуация меняется коренным образом. Для полного заглушения связи необходимо обеспечить соотношение сигнал/шум на выходе  $\delta^2 = 0,25$  (абс. ед.), или

$$\delta_n^2 = 10 \lg(0,25) = -6 \text{ дБ.}$$

$$P_n = \frac{P_c (4\pi D)^2 \cdot L_0}{\delta_n^2 G_{\text{прд}} \cdot \lambda^2} = \frac{0,76 \cdot 10^{-10} \cdot 16 \cdot 9,86 \cdot 10^{10} \cdot 3}{0,25 \cdot 10 \cdot 9} = 0,25 \text{ Вт.}$$

Таким образом, наличие активных помех делает радиосвязь уязвимой. Для повышения помехозащищенности применяются специальные меры, например, псевдослучайная перестройка частоты. Повышения помехоустойчивости можно добиться путем использования цифровой передачи речи с применением фазовой манипуляции сигнала.

В системах цифровой передачи информации большинство операций сводится к процедурам, в основе которых лежат простейшие логические операции типа «да-нет», «и», «или», поэтому такие важнейшие этапы преобразований сообщений и сигналов, как дискретизация, кодирование, модуляция, усиление, демодуляция и фильтрация, могут быть осуществлены с очень малыми погрешностями.

Аналого-цифровое преобразование сигнала заключается в дискретизации сигнала по времени

$$\delta_0^2 = P_c / P_{\text{ш}} = \frac{2P_c \cdot \tau}{N_0} = \frac{2P_c}{k \cdot T_{\text{ш}} \cdot \Delta F} = \frac{2 \cdot 0,76 \cdot 10^{-10}}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 1000 \cdot 64 \cdot 10^3} = 1,7 \cdot 10^5 = 52,3 \text{ дБ,}$$

где  $\tau$  – длительность тактового интервала, с.

При расчетной мощности передатчика (40 Вт) соотношение сигнал/шум уменьшилось, однако для цифрового сигнала требования к качеству приема другие.

Оценка помехоустойчивости цифровой системы передачи заключается в расчете вероятности ошибочного приема символов [4]. Данную вероятность можно вычислить по формуле

$$P_0 = 0,5 \left[ 1 - \Phi \left( \sqrt{2\delta_0^2} \right) \right],$$

где  $\Phi(x)$  – интеграл вероятностей.

Зависимость вероятности ошибочного приема от соотношения сигнал/шум представлена на рис. 2, где  $p$  – вероятность ошибочного приема символа,  $E_6$  – энергия символа на входе приемника, Вт/Гц.

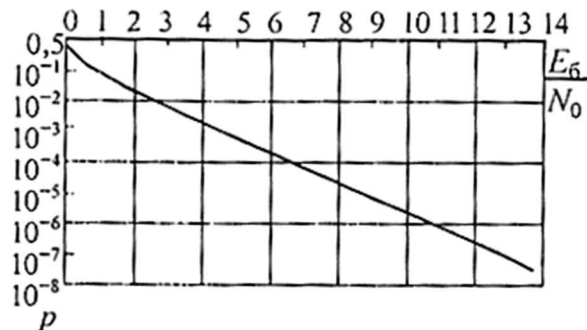


Рис. 2. Зависимость вероятности ошибочного приема символа от соотношения сигнал-шум для фазовой манипуляции [5]

Fig. 2. Dependence of false symbol reception on signal-to-noise ratio for phase modulation [5]

Считается, что для бесперебойной работы канала необходимо обеспечить вероятность ошибочного приема  $p_{\text{ош}} = 10^{-6}$ , что соответствует соотношению сигнал/шум  $\delta^2 = 11$ . При отсутствии организованных помех данное соотношение выполняется. При использовании помехоустойчивого кодирования

вероятность  $p_{\text{ош}}$  может быть снижена до  $10^{-4}$ , что соответствует соотношению сигнал/шум  $\delta^2 = 7$ .

Мощность передатчика для подавления радиоканала при рассмотренном ранее сценарии определяется соотношением

$$P_{\text{п}} = \frac{P_{\text{с}} (4\pi D)^2 L_0}{\delta_{\text{п}}^2 G_{\text{прд}} \lambda^2} = \frac{0,76 \cdot 10^{-10} \cdot 16 \cdot 9,86 \cdot 10^{10} \cdot 3}{7 \cdot 10 \cdot 9} = 0,57 \text{ Вт.}$$

Таким образом, для подавления цифрового канала связи при равных условиях требуется большая мощность передатчика помех, чем для подавления аналогового канала. Это подтверждает факт высокой помехоустойчивости цифровых каналов связи и для рассматриваемых систем в том числе.

### Заключение

Из проведенных расчетов можно сделать вывод, что цифровые методы передачи информации обладают более высокой помехозащищенностью по сравнению с аналоговыми даже без применения специальных мер защиты. Применением спе-

циальных мер, таких как помехозащищенное кодирование и псевдослучайное переключение частоты, можно значительно повысить помехозащищенность системы радиосвязи. Отсюда следует вывод о целесообразности передачи речевой информации в цифровом виде. Данное предложение может быть реализовано в существующих системах радиосвязи путем их несложной модернизации с учетом того, что авиационные радиостанции имеют каналы передачи телекодированной информации, которые могут быть доработаны для передачи речи.

### Список источников

1. Тепляков И. М., Фомин А. И., Рощин Б. В., Вейцель В. А. Радиосистемы передачи информации. М: Радио и связь, 1982. 264 с.
2. Крухмалев В. В., Гордиенко В. Н. и др. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей. М.: Горячая линия – Телеком, 2004. 510 с.
3. Вейцель В. А. Радиосистемы управления. М.: Дрофа, 2005. 416 с.

4. Лебедько Е. Г. Теоретические основы передачи информации. СПб.: Лань, 2011. 349 с.
5. Васин В. А., Калмыков Ю. Н. Радиосистемы передачи информации. М.: Горячая линия – Телеком, 2005. 471 с.
6. Пищин О. Н., Каламбацкая О. В. Особенности распространения радиоволн УВЧ диапазона в приземном и приповерхностном тропосферном волноводе // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. № 4. С. 115–121.

### References

1. Tepliakov I. M., Fomin A. I., Roshchin B. V., Veitsel' V. A. *Radiosistemy peredachi informatsii* [Radio systems of information transmission]. Moscow, Radio i sviaz' Publ., 1982. 264 p.
2. Krukhmaliev V. V., Gordienko V. N. i dr. *Osnovy postroeniia telekommunikatsionnykh sistem i setei* [Principles of constructing telecommunication systems and networks]. Moscow, Goriachaia liniia – Telekom Publ., 2004. 510 p.
3. Veitsel' V. A. *Radiosistemy upravleniia* [Radio control systems]. Moscow, Drofa Publ., 2005. 416 p.
4. Lebed'ko E. G. *Teoreticheskie osnovy peredachi informatsii* [Theoretical foundations of information transmission]. Saint-Petersburg, Lan' Publ., 2011. 349 p.

5. Vasin V. A., Kalmykov Iu. N. *Radiosistemy peredachi informatsii* [Radio systems for information transmission]. Moscow, Goriachaia liniia – Telekom Publ., 2005. 471 p.
6. Pishchin O. N., Kalambatskaia O. V. *Osobennosti rasprostraneniia radiovoln UVCh diapazona v prizemnom i privodnom troposfernom volnovode* [Characteristics of UHF radio waves propagation in ground and water surface tropospheric waveguides]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naiate khnika i informatika*, 2019, no. 4, pp. 115-121.

Статья поступила в редакцию 16.09.2022; одобрена после рецензирования 30.09.2022; принята к публикации 19.10.2022  
The article is submitted 16.09.2022; approved after reviewing 30.09.2022; accepted for publication 19.10.2022

**Информация об авторах / Information about the authors**

**Олег Николаевич Пищин** – кандидат технических наук, доцент; заведующий кафедрой связи; Астраханский государственный технический университет; o.pishin@yandex.ru

**Oleg N. Pishchin** – Candidate of Sciences in Technology, Assistant Professor; Head of the Department of Radio Communication; Astrakhan State Technical University; o.pishin@yandex.ru

**Ксения Павловна Воронина** – студент направления «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»; Астраханский государственный технический университет; voronk930@gmail.com

**Kseniya P. Voronina** – Student of the direction “Infocommunication Technologies and Communication Systems”; Astrakhan State Technical University; voronk930@gmail.com

