

УДК 621.371.3

**Н.А. Шрамко, И.А. Молоковский (канд. техн. наук),
В.В. Турупалов (канд. техн. наук, проф.)**

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк
кафедра автоматики и телекоммуникаций
E-mail: shramko.nadezhda@mail.ru, igor.molokovskiy@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОМЕХ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ РАДИОВОЛН В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОГО ПРОСТРАНСТВА

В статье рассматривается влияние помех на радиоканал в условиях ограниченного пространства. Исходя из условий обеспечения радиосвязи, была определена зависимость значения множителя ослабления сигнала, который моделирует влияние ограниченного пространства на прохождение сигнала, от длины волны, излучающей антенны.

Ключевые слова: помеха, напряженность поля, мощность, радиоволна, ослабление, радиосвязь.

Актуальность проблемы

В наше время стало актуальным внедрение комплексов подземной радиосвязи на шахтах и рудниках, а значит, для обеспечения надежности и возможности осуществления радиосвязи необходимо исследовать влияние помех на распространение радиоволн в условиях ограниченного пространства шахт.

Постановка задачи

В зависимости от места возникновения посторонние электрические колебания можно разделить на внешние и внутренние помехи. Внутренние помехи возникают в узлах аппаратуры и трактах систем связи. Внешние помехи обусловлены действием источников помех, внешних по отношению к системе связи и не связанных с ее функционированием. Их также можно разделить на естественные и искусственные.

К внешним помехам естественного происхождения относятся [2]: атмосферные помехи в виде излучения электрических разрядов в атмосфере; космические помехи - радиоизлучение источников, находящихся за пределами атмосферы; тепловые помехи атмосферы и Земли.

К внешним помехам искусственного происхождения относятся промышленные помехи, создаваемые различной электроаппаратурой, и помехи от посторонних радиостанций. Помехи при приеме радиосигналов, возникающие на движущихся объектах (бортовые помехи), также можно отнести к промышленным помехам. В данной статье будут рассмотрены помехи именно этого типа и определено их влияние на передаваемый сигнал с разными параметрами.

Основная часть

Для обеспечения радиосвязи в условиях ограниченного пространства необходимо соблюдение двух критериев: 1) искажения сигнала в процессе распространения не должны превышать допустимой нормы; 2) должно быть обеспечено определенное превышение мощности сигнала над мощностью различного рода помех на входе приемника, зависящее от вида работы, достоверности и надежности приема.

Первое условие ограничивает полосу частот неискаженной передачи, т.е. скорость и число каналов. В дальнейшем полагаем, что вид работы удовлетворяет этому требованию, т.е. согласован с особенностями используемого способа распространения радиоволн.

По ряду причин мощность помех, а в ряде случаев и мощность сигнала на входе приемника, испытывают непрерывные беспорядочные изменения в виде флуктуаций. Поэтому при формулировке второго условия осуществления радиосвязи приходится оперировать средними значениями мощностей сигнала и помех P_c и P_n и учитывать законы их статистического распределения:

$$P_c = k^2 P_n, \quad (1)$$

где k - коэффициент превышения по напряжению, или коэффициент защиты, зависящий от вида работы, достоверности и надежности приема.

Величина P_n :

$$P_n = k^2 P_{\Pi}, \quad (2)$$

характеризует минимальную необходимую мощность сигнала на входе приемника, при которой обеспечивается прием с требуемой достоверностью и надежностью.

Обозначим через η величину КПД приемной антенно-фидерной системы. Тогда величина $(1-\eta)$ будет характеризовать долю мощности, расходуемой на потери и переизлучаемой в виде тепловых шумов антенно-фидерной системы, термодинамическую температуру которой можно считать равной T_0 .

Выражение для эффективной антенной температуры T_s и эффективного коэффициента шума F_s приемного устройства:

$$T_s = T_0 F_s = P_n / \eta k B = T_A + T_0 (1-\eta) / \eta + T_{\text{пр}} / \eta, \quad (3)$$

где T_A - абсолютная температура двухполосника; $T_0 = 288\text{K}$ - стандартная абсолютная температура; B - полоса частот, в которой определяется мощность шума; $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Вт/Гц}$; k - постоянная Больцмана.

В диапазоне коротких и более длинных волн внешние помехи часто характеризуют действующей (среднеквадратичной) напряженностью поля помех $E_n^{(1)}$, отнесенных к единичной полосе частот (обычно 1 кГц). Величину удельной напряженности $E_n^{(1)}$ находят через мощность помех $P_{\text{вн}}$ в антенне без потерь, в предположении, что помехи приходят равномерно со всех направлений. При этом эффективная площадь антенны не зависит от коэффициента направленности и для всех антенн без потерь равна $A_n = \lambda^2 / 4\pi$. Таким образом

$$P_{\text{вн}} = P_n A_n = \frac{E_n^2 \lambda^2}{120\eta 4\pi}. \quad (4)$$

Отсюда находим $E_n^{(1)}$:

$$E_n^{(1)} = \sqrt{\frac{480\pi^2 P_{\text{вн}}}{\lambda^2 B}} = \sqrt{\frac{480\pi^2 k T_A}{\lambda^2 B}} = \sqrt{\frac{480\pi^2 k T_A F_A}{\lambda^2}}. \quad (5)$$

С помощью соотношений (4) можно пересчитывать величины $P_{\text{вн}}$, T_A , F_A и $E_n^{(1)}$ от одной к другой величине, в зависимости от исходных данных по уровню помех. В частности, уровень $E_n^{(1)}$ в децибелах относительно 1 мкВ/м связан с коэффициентом помех F_A соотношением:

$$E_n^{(1)}, \text{дБ/мкВ} = F_A, \text{дБ} + 20 \lg f, \text{МГц} - 65,5. \quad (6)$$

С учетом соотношений (3) и (5) для минимальной необходимой мощности сигнала на входе приемника на основании выражения (2) можно записать:

$$P_n = k^2 k_B \eta \left[T_A + \frac{T_0}{\eta} (1 - \eta) + \frac{T_{np}}{\eta} \right] = k^2 \left(\frac{B E_n^{(1)2} \lambda^2}{480 \pi^2} - \frac{P_u}{\eta} \right). \quad (7)$$

Мощность сигнала на входе приемника:

$$P_2 = P_1 \eta_1 \eta_2 G_1 G_2 \left(\frac{\lambda F}{4 \pi r} \right)^2, \quad (8)$$

где P_1 – мощность передатчика; η_1 и η_2 – КПД фидеров передающей и приемной антенн; G_1 и G_2 – соответственно коэффициенты усиления передающей и приемной антенн; F – множитель ослабления, равный:

$$F = \frac{E}{E_{св}}. \quad (9)$$

Множитель ослабления характеризует ослабление поля радиоволны E при распространении в реальных условиях по сравнению с полем $E_{св}$ при распространении в свободном пространстве.

Приравняв мощность сигнала P_2 на входе приемника величине P_n , получаем основное уравнение для расчета радиолинии, связывающее вид и качество работы с условиями распространения и параметрами радиоаппаратуры:

$$\eta_1 P_1 G_1 D_2 \left(\frac{\lambda F}{4 \pi r} \right)^2 = k^2 k_B \left[T_A + \frac{T_0}{\eta} (1 - \eta) + \frac{T_{np}}{\eta} \right]. \quad (10)$$

где D – коэффициент направленности данной антенны.

Формула (10) может быть записана в следующем виде:

$$\left(\frac{\lambda F}{4 \pi r} \right)^2 P_1 \eta_1 G_1 D_2 = k^2 \left(\frac{B E_n^{(1)2} \lambda^2}{480 \pi^2} - \frac{P_u}{\eta} \right). \quad (11)$$

Если уровень внешних помех велик, а КПД приемного антенно-фидерного устройства не слишком мал (режим больших внешних помех), то можно пренебречь внутренними шумами. При этом уравнение радиолинии принимает вид:

$$30 P_1 G_1 \eta \left(\frac{F}{r} \right)^2 = k^2 E_n^{(1)2} \frac{B}{D_2}. \quad (12)$$

Левая часть выражения (12) определяет квадрат напряженности поля E , создаваемого передающей антенной, а правая часть – квадрат необходимой напряженности E_n поля в пункте приема:

$$E_n = kE_n^{(1)} \sqrt{\frac{B}{D_2}}. \quad (13)$$

Таким образом, в режиме больших помех условием осуществления радиосвязи является:

$$E \geq E_n. \quad (14)$$

Исходя из формул (5), (8), (9) и (10) построим графики зависимости множителя ослабления от частотного диапазона и длины волны. При расчетах были использованы следующие данные: частотный диапазон: 2400-2483,5 МГц; $P_1=20$ Вт; $G_1=13$ дБи; $G_2=17$ дБи; $r=1000$ м; $\eta_1=0,87$; $\eta_2=0,72$.

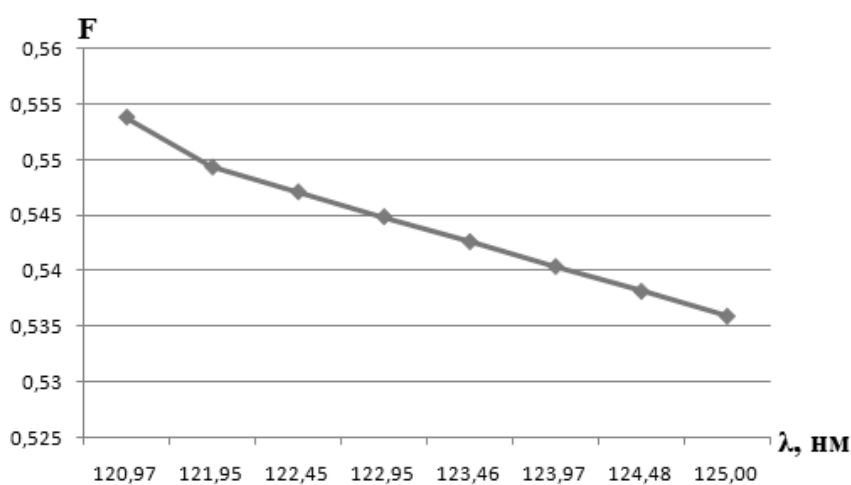


Рисунок 1 – График зависимости множителя ослабления от длины волны

На графике отчетливо видна обратно пропорциональная зависимость множителя ослабления от длины волны.

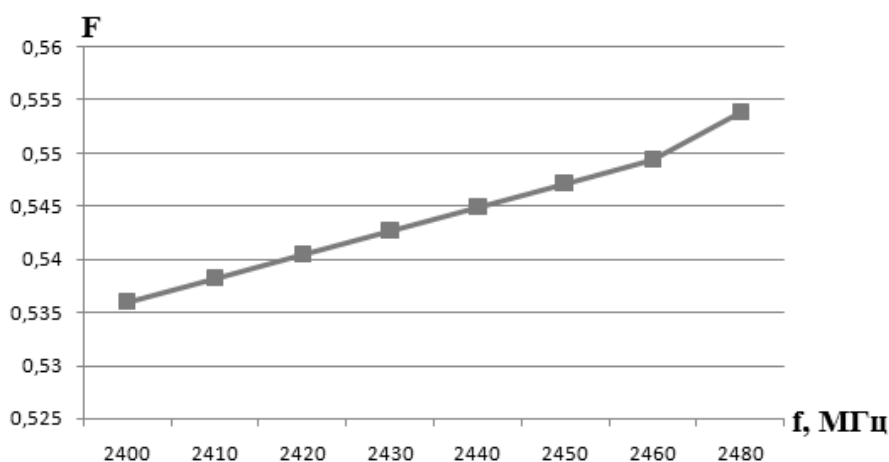


Рисунок 2 – График зависимости множителя ослабления от частотного диапазона

На данном графике прямо пропорциональная зависимость множителя ослабления от частоты работы передающей антенны.

Выводы

Помехи радиоприему, создаваемые естественными радишумами, зависят как от средней интенсивности, так и от статистической структуры их поля. Таким образом, для более полного учета их мешающего воздействия на системы радиосвязи необходимо иметь сведения о тонкой структуре и мощности этих шумов. Подобные сведения позволяют выбрать помехоустойчивые коды и рассчитать необходимые параметры излучаемых сигналов для обеспечения требуемой достоверности и надежности при передаче информации по радиоканалам.

В настоящее время можно выделить несколько основных способов борьбы с помехами:

- увеличение энергетического потенциала радиолинии (мощности передатчика, коэффициента усиления антенны);
- снижение уровня собственных шумов приемника;
- снижение уровня внешних помех на входе приемника за счет их компенсации;
- применение совместной обработки помехи и сигнала, основанной на определении различий между полезным сигналом и помехой;
- повышение отношения сигнал/помеха за счет использования помехозащитных методов модуляции и кодирования.

Развитие технических решений, обеспечивающих защиту от помех, идет в направлении комплексного применения указанных выше и других методов, однако реализация таких решений требует определенного усложнения аппаратуры, а значит – увеличения ее стоимости. Поэтому на практике не стремятся создавать устройства с предельно достижимой (потенциальной) помехоустойчивостью. Чаще всего конечный продукт представляет собой компромиссный вариант, оптимизированный по критерию «стоимость – эффективность». Сопоставление реальной и потенциальной помехоустойчивости позволяет судить об эффективности того или иного метода доступа, а также целесообразности его дальнейшего совершенствования.

Список использованной литературы

1. Благовещенский Д.В. Радиосвязь и электромагнитные помехи: Учеб.пособие/ СПбГУАП. СПб., 2002. – 70 с.
2. Молоковський І.О. Дослідження можливості передачі інформації за допомогою бездротових технологій у технологічних мережах промислових підприємств / І.О. Молоковський// Сборник научных трудов Донецкого национального технического университета, серия: «Вычислительная техника и автоматизация». Донецк: ДонНТУ, 2010 р. – Выпуск 19 (171). – С. 77-82.
3. Молоковський І.О. Використання радіозв'язку у складних умовах розповсюдження / І.О. Молоковський, В.В. Турупалов // Науково-методична конференція "Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій-2011". - Львів, 27-30 жовтня, 2011 р. - С.21-23.
4. Молоковський І.О.Аналіз систем промислового зв'язку / І.О.Молоковський // Наукові праці інституту проблем модулювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова «Моделювання та інформаційні технології». – Київ, 2009 р. - Випуск 52. – С.157-160.
5. Молоковський І.О. Бездротові технології у технологічних мережах промислових підприємств / І.О. Молоковський, В.В. Турупалов // Матеріали VI Міжнародного науково-технічного симпозиуму «Нові технології в телекомунікаціях» ДУІКТ-Карпати, - Вишків, 2011 р. - С. 54-56.
6. Молоковський І.О. Аналіз технологій бездротового зв'язку у технологічних мережах промислових підприємств / І.О. Молоковський, В.В. Турупалов, Л.О. Шибанова // Наукові праці Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. – Донецьк, 2011. – Випуск 28. – С. 88-93.

7. Турупалов В.В. Надежность промышленных телекоммуникационных сетей / В.В. Турупалов // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. - 2012. - №2(22). - С.47-51.
8. Турупалов В.В. Основные требования к промышленным телекоммуникационным системам крупных технологических предприятий / В.В. Турупалов // Науковий вісник Чернівецького університету «Комп'ютерні системи та компоненти. Збірник наукових праць. Том 3. Випуск 1 – Чернівці, 2012. – С. 87-90.
9. Леонид Невдяев. CDMA: борьба с помехами. - «Сети/networkworld», № 10, 2000. – URL:<http://www.osp.ru/nets/2000/10/141420/> (Дата обращения: 25.03.2014)
10. Семенов М.А. Организация современной подземной связи на шахтах и рудниках // Онлайн Электрик: Электроэнергетика. Новые технологии, 2012.–URL: <http://www.online-electric.ru/articles.php?id=20> (Дата обращения: 28.03.2014).
11. Молоковский И.А. Влияние окружающей среды на передачу радиосигналов в промышленных телекоммуникационных системах / Молоковский И.А. // Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології». Лівадія: ДУІКТ, 2012 р. – С. 147-149.
12. Турупалов В.В. Информационная система обеспечения безопасности промышленных предприятий / Турупалов В.В. // Науковий вісник Чернівецького університету «Комп'ютерні системи та компоненти. Збірник наукових праць. Том 3. Випуск 2 – Чернівці, 2012. – С. 65-68.
13. Турупалов В.В. Роль телекомунікаційних технологій у системах автоматизації підприємств гірничого-добувного комплексу / Турупалов В.В. // Научно-теоретический журнал «Искусственный интеллект».- Донецк-2012. - №4. - С. 516 - 521.
14. Турупалов В.В. Специализована телекомунікаційна мережа в системі управління вугільною шахтою / В.В. Турупалов, Р.В. Федюн, В.О. Попов // Автоматика-2004: 11-я международная конференция по автоматическому управлению, 27–30 сентября 2004 г.: тезидокл. – К, 2004. - Т. 4. - С. 113.
15. Молоковский И.А. Исследование процесса распространения радиоволн в телекоммуникационных сетях специального назначения [Текст] / Молоковский И.А., Турупалов В.В., Абрамов Р.Ш. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – Донецьк, 2013. – Випуск 2(25). – С. 144-151.

References

1. Blagoveshhenskij, D.V. *Radio and electromagnetic interference: tutorial*, SPbGUAP, St. Petersburg, Russia.
2. Molokovskiy, I.O.(2010), “Investigation of the possibility of information transmission using the wireless technologies in industrial networks”, *Collection of scientific works of Donetsk National Technical University*, vol. 19(171), pp. 77–82.
3. Molokovskiy, I.O. and Turupalov, V.V. (2011), “ The use of wireless communication in difficult conditions distribution ”, *Scientific and practical conference, Modern problems of telecommunications and training in the field of telecommunications-2011*, Lviv, Ukraine, 27-30 October, pp. 21-23.
4. Molokovskiy, I.O. (2009), “Analysis of systems of industrial communication”, *National Academy of Sciences of Ukraine, Simulation and informational technologies. Collection of scientific works*, vol. 52, pp. 157–160.
5. Molokovskiy, I.O. and Turupalov, V.V. (2011), “Wireless technologies in industrial networking industry”, *VI International Scientific and Technical Symposium, New technologies in telecommunications DUIKT-Carpathians*, Vyshkiv, Ukraine, pp.54-56.
6. Molokovskiy, I.O., Turupalov, V.V. and Shebanova, L.O. (2011), “Analysis of wireless

- technology in industrial networks”, *Proceedings of Donetsk Institute of Railway Transport of Ukrainian State Academy of Railway Transport*, no. 28, pp. 88-93.
7. Turupalov, V.V. (2012), “Reliability industrial telecommunication networks”, *Scientific Notes of the Ukrainian Research Institute of Communications*, no. 2(22), pp. 47-51.
 8. Turupalov, V.V. (2012), “Basic requirements for industrial telecommunications systems, large technology companies”, *Scientific Bulletin of Chernivtsi University, Computer systems and components, Collected papers*, vol. 3, no.1, pp. 87-90.
 9. Networkworld (2000), “CDMA: striving interference”, available at: <http://www.osp.ru/nets/2000/10/141420/> (Accessed 25 March 2014).
 10. Online Electrician: Electric Utilities. New technologies (2012), “Organization of modern underground communication at mines and pits”, available at: <http://www.online-electric.ru/articles.php?id=20> (Accessed 28 March 2014).
 11. Molokovskiy, I.O. (2012), “Influence of the environment on a radio transmission in telecommunication systems of industrial”, *VIII International Scientific and Technical Conference, Modern Information and Communication Technologies*, Livadia, Ukraine, pp. 147-149.
 12. Turupalov, V.V. (2012), “Information system of ensure the safety of industrial enterprises”, *Scientific Bulletin of Chernivtsi University, Computer systems and components, Collected papers*, vol. 3, no. 2, pp. 65-68.
 13. Turupalov, V.V. (2012), “The role of communication technologies in systems automation mining complex”, *Scientific theory journal "Artificial Intelligence"*, no. 4, pp. 516-521.
 14. Turupalov, V.V., Fedjun, R.V. and Popov, V.O. (2004) “Special telecommunication network management system of coal mine”, *Automatics-2004: 11th International Conference on Automatic Control*, Kiev, Ukraine, 27-30 September, vol. 4, pp. 113.
 15. Molokovskiy, I.O., Turupalov, V.V. and Abramov, R.Sh. (2013), “Research propagation process of radio waves in the special purpose telecommunication networks”, *Collection of scientific works of DONNTU*, vol. 2(25), pp. 144–151.

Надійшла до редакції
25.04.2014 р.

Рецензент:
докт. техн. наук, проф. Скобцов Ю.О.

Н.А. Шрамко Н.А., І.О. Молоковський, В.В. Турупалов
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Дослідження впливу завад при поширенні радіохвиль в умовах обмеженого простору. У статті розглядається вплив завад на радіоканал в умовах обмеженого простору. Виходячи з умов забезпечення радіозв'язку була визначена залежність значення множника ослаблення сигналу, який моделює вплив обмеженого простору на проходження сигналу, від довжини хвилі випромінюючої антени.

Ключові слова:завада, напруженість поля, потужність, радіохвиля, ослаблення, радіозв'язок.

N.A. Shramko, I.O. Molokovskiy, V.V. Tyrupalov
Donetsk National Technical University

Research of influence interference for distribution of radio waves in confined spaces. Nowadays it became topical introduction of underground radio communication systems for mines and hence to ensure the reliability and feasibility of radio communication is necessary to investigate the effects of interference on the propagation of radio waves in the confined spaces of mines. The article consider the influence of interference on radio channel in confined spaces. Based on the terms provide radio communication was determined dependence of values of signal attenuation coefficient, which models the effects of confined space for the passage of the signal of the

wavelength, the radiating antenna. Interference to radio created by natural radio noise, depend both on the average intensity as well as the statistical structure of their field. Thus for better accommodate impact of the interfering radio systems need to have information on the fine structure of this noise and power. Such information can help you choose the noise-resistant codes and calculate the required parameters of the signals emitted to provide the required accuracy and reliability of the transmission of information by radio channels. The development of technical solutions to protect against harmful interference, going in the direction of complex application mentioned above and other methods, but the implementation of such solutions require a certain complication of equipment, so - increase its value. Therefore, in practice, do not aspire to create devices with the maximum achievable (potential) interference immunity. Most often, the final product is a compromise that is optimized by the criterion: "cost - effectiveness". Comparison of real and potential interference immunity allows to judge the effectiveness of a particular method of access, and the expediency of its further improvement.

Keywords: interference, field intensity, power, radio wave, attenuation, radio communication.



Шрамко Надежда Андреевна, Украина, магистр кафедры «Автоматика и телекоммуникации» Донецкого национального технического университета, ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (ул. Артема, 58, г. Донецк, 83001, Украина). Основное направление научной деятельности – исследование промышленных телекоммуникационных систем.



Молоковский Игорь Алексеевич, Украина, закончил Донецкий национальный технический университет, канд.тех.наук, доцент кафедры автоматике и телекоммуникаций ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (ул. Артема, 58, г. Донецк, 83001, Украина). Основное направление научной деятельности – исследование промышленных телекоммуникационных систем, надежность в ТКС, исследование современных технологий беспроводного доступа.



Турупалов Виктор Владимирович, Украина, закончил Донецкий национальный технический университет, канд. тех. наук, профессор, заведующий кафедрой автоматике и телекоммуникаций ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (ул. Артема, 58, г. Донецк, 83001, Украина). Основное направление научной деятельности – надежность в телекоммуникационных сетях, современные технологии беспроводного доступа.