

УДК 621.391

И.А. Молоковский (канд. техн. наук)

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк

кафедра автоматики и телекоммуникаций

E-mail: igor.molokovskiy@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН В ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В статье рассмотрена и проанализирована математическая модель распространения радиоволн в условиях ограниченного пространства, что характерно для подземной части угледобывающего предприятия. Данная математическая модель основана на использовании параметров боковых стен, потолка и пола угольной выработки, что позволяет учесть три вида потерь: потери преломления, потери из-за рассеивания и потери из-за разного угла наклона стен. На основе разработанной математической модели, было произведено моделирование распространения радиосигнала.

Ключевые слова: модель, радиоволна, потери, преломление.

Актуальность проблемы

В подземной части угледобывающего предприятия, как и на многих других промышленных предприятиях, используются различные технологические системы связи [1]. Соответствующие системы в пределах подземных выработок, на поверхности угледобывающего предприятия, а также между подземными рабочими станциями являются жизненно важной частью правильного функционирования любого подземного средства связи. Отлаженная работа технологических систем [3,4,11], которая зависит от качества переданного сигнала и от скорости его доставки, вносит важный фактор в концепцию безопасности отрасли в целом. Именно для оптимизации этих параметров необходимо детально изучить вопросы распространения радиоволн в подземной части угледобывающего предприятия.

Постановка задачи

Данная статья должна представлять математическую модель распространения радиоволны в больших поперечных выработках подземной части угледобывающего предприятия, а так же описывать анализ распространения не большого объема данных в таких условиях. Предлагаемая модель основана на теории распространение мод волны в волноводе, разработанной ранее для передачи СВЧ волн в выработках подземной части угледобывающего предприятия, с учетом потерь из-за преломления волны об стенки туннеля, а так же рассеивания на неровностях стены и случайного наклона [2,7,9].

Основная часть

Рассматривается два типа тоннелей в шахте. Один из них является тоннелем с ленточным конвейером, размер такого тоннеля 6х3 метра. Соседний тоннель больших размеров 13х10 метров. В наших расчетах мы будем учитывать три вида потерь [5]:

- потери преломления;
- потери рассеивания из-за неровностей стены;
- потери из-за разного наклона стен относительно которых распространяются волны.

При расчете этих потерь используем волновую теорию и теорию излучения. Первая составляющая – потери на преломлении. Каждая мода в туннели может быть описана, как пучок параллельных лучей отражающихся от всех четырех стены туннеля. Угол скольжения волны рассчитывается по формулам (1) и (2) [10]:

$$\phi_1 = \frac{n_1 \lambda}{2d_1}, \quad (1)$$

$$\phi_2 = \frac{n_2 \lambda}{2d_2}, \quad (2)$$

где индекс 1 относится к боковым стенкам;

индекс 2 относится к потолку и полу;

n_1 и n_2 – горизонтальные и вертикальные моды соответственно;

d_1 и d_2 являются размерами горизонтального и вертикального тоннеля соответственно;

λ – длина волны в свободном пространстве.

Выражения (1) и (2) являются условиями для фазовой когерентности из-за многократного отражения лучей друг с другом.

Потери мощности на расстояние g рассчитываются через g_1 и g_2 :

$$g = g_1 \cdot g_2, \quad (3)$$

где g_1 – коэффициент потери мощности на отражении для боковых стенок;

g_2 – коэффициент потери мощности на отражении для крыши и пола.

$$g_1 = (FR_1)^{N_1}, \quad (4)$$

$$g_2 = R_2^{N_2}, \quad (5)$$

где F – эффективная поверхность отражения на боковых стенках обозначается;

N_1, N_2 – количество отражений лучей на расстоянии z .

Значение N_1, N_2 определяется из зависимости:

$$N_1 = (\phi_1 \cdot z) / d_1, \quad (6)$$

$$N_2 = (\phi_2 \cdot z) / d_2. \quad (7)$$

Мощность отражения R_1 и R_2 рассчитываются через формулы Френеля:

$$R_{1,h} = \left\{ \frac{\sqrt{K\phi_1 - (\phi_1^2 + K - 1)}}{\sqrt{K\phi_1 + (\phi_1^2 + K - 1)}} \right\}^2, \quad (8)$$

$$R_{2,h} = \left\{ \frac{\sqrt{\phi_2 - (\phi_2^2 + K - 1)}}{\sqrt{\phi_2 + (\phi_2^2 + K - 1)}} \right\}^2, \quad (9)$$

$$R_{1,v} = \left\{ \frac{\sqrt{\phi_1 - (\phi_1^2 + K - 1)}}{\sqrt{\phi_1 + (\phi_1^2 + K - 1)}} \right\}^2, \quad (10)$$

$$R_{2,v} = \left\{ \frac{\sqrt{K\phi_2 - (\phi_2^2 + K - 1)}}{\sqrt{K\phi_2 + (\phi_2^2 + K - 1)}} \right\}^2. \quad (11)$$

где K – диэлектрическая константа для материала, из которого сделаны стены;

h и v – вертикальная и горизонтальная поляризация соответственно.

Скорость затухания α_{ref} вычисляется исходя из выражения:

$$\alpha_{ref} = -100 \left(\frac{10 \log_{10} g}{z} \right). \quad (12)$$

$$\alpha_{ref} = -1000 \left[\frac{n_1 \lambda}{2d_1^2} \log_{10}(FR_1) + \frac{n_2 \lambda}{2d_2^2} \log_{10}(R_2) \right]. \quad (13)$$

Потери рассеивания из-за неровностей стены. Предполагаем, что стенки туннели неровные. С помощью гауссовского распределения описываем амплитуду неровности стены, через среднеквадратическое отклонение из h . Мощность потерь на отражении получается из формулы (14) и (15):

$$g_1 = e^{-2 \left(\frac{2\pi h \cdot \sin \phi_1}{\lambda} \right)^2}, \quad (14)$$

$$g_2 = e^{-2 \left(\frac{2\pi h \cdot \sin \phi_2}{\lambda} \right)^2}. \quad (15)$$

Рассмотрим ϕ_1 и ϕ_2 как небольшие значения угла, мы находим из (1), (2), (3), (6) и (7) скорость затухания α_{ref} равна:

$$\alpha_{roug} = 434,3\pi^2 h^2 \lambda \left(\frac{n_1^3}{n_1^4} + \frac{n_2^3}{d_2^4} \right). \quad (16)$$

Угловые потери. Вместо расчета угловых потерь для фиксированного угла θ_0 , мы рассмотрим для большого диапазона значений наклона используя Гауссовское распределением со среднеквадратическим отклонением θ_0 . Для конкретного отражения от боковых стенок, где угол наклона равен θ , отражающий луч наклонен под углом $\phi_1 + 2\theta$ относительно стены. Электрическое поле рассчитывается следующих образом:

$$E' = E_o e^{-ik_0 [z \cos(\phi_1 + 2\theta) + x \sin(\phi_1 + 2\theta)]} \quad (17)$$

в то время как значение электрического поля для мод составляет:

$$E = E_o e^{-ik_0 [Z \cos \phi_1 + x \sin \phi_1]} \quad (18)$$

где $k_0 = 2\pi / \lambda$.

Коэффициент мощности связь E' обратно через моде E задается через нормированный интеграл перекрытия:

$$g_1(\theta) = \frac{|\iint EE' dx dy|^2}{(\iint |E|^2 dx dy)(\iint |E'|^2 dx dy)}, \quad (19)$$

где интегрирование происходит по поперечному сечению тоннеля.

Для маленьких величин θ и ϕ_1 (17) получаем:

$$g_1(\theta) = \left(\frac{\sin k_0 \theta d_1}{k_0 \theta d_1} \right)^2, \quad (20)$$

аналогично:

$$g_2(\theta) = \left(\frac{\sin k_0 \theta d_2}{k_0 \theta d_2} \right)^2. \quad (21)$$

Теперь введем статистику с помощью Гауссова весового коэффициента:

$$p(\theta) = \frac{1}{\theta_0 \sqrt{2\pi}} e^{-\theta^2/2\theta_0^2}. \quad (22)$$

Затем

$$g_1 = \int_{-\infty}^{\infty} g_1(\theta) p(\theta) d(\theta), \quad (23)$$

$$g_2 = \int_{-\infty}^{\infty} g_2(\theta) p(\theta) d(\theta). \quad (24)$$

Чтобы избежать численного интегрирования, воспользуемся аппроксимацией:

$$\left(\frac{\sin x}{x} \right)^2 \approx e^{-x^2/3}, \quad (25)$$

получим для (21) и (22) приблизительные значения:

$$g_1 \cong \frac{1}{\left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{2\pi\theta_0 d_1}{\lambda} \right)^2 \right]^{1/2}}, \quad (26)$$

$$g_2 \cong \frac{1}{\left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{2\pi\theta_0 d_2}{\lambda} \right)^2 \right]^{1/2}}. \quad (27)$$

Угловые потери рассчитываем затем через (1), (2) и (3):

$$\alpha_{sum} = -\frac{500n_1\lambda}{d_1^2} \log_{10} g_1 - \frac{500n_2\lambda}{d_2^2} \log_{10} g_2, \quad (28)$$

где все расстояния в метрах, а α_{sum} в db/30 метров.

На основе вышеприведенной математической модели произведено моделирование распространения радиоволн в условиях ограниченного пространства в подземной части угледобывающего предприятия.

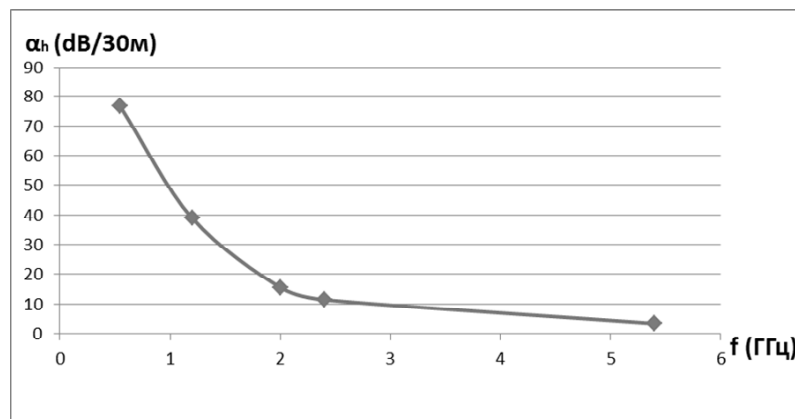


Рисунок 1 – Залежність загального затухання для горизонтальної поляризації від частоти сигналу

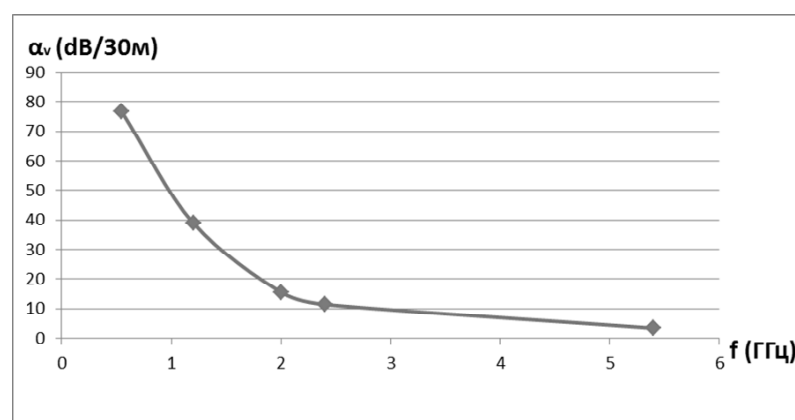


Рисунок 2 – Залежність загального затухання для вертикальної поляризації від частоти сигналу

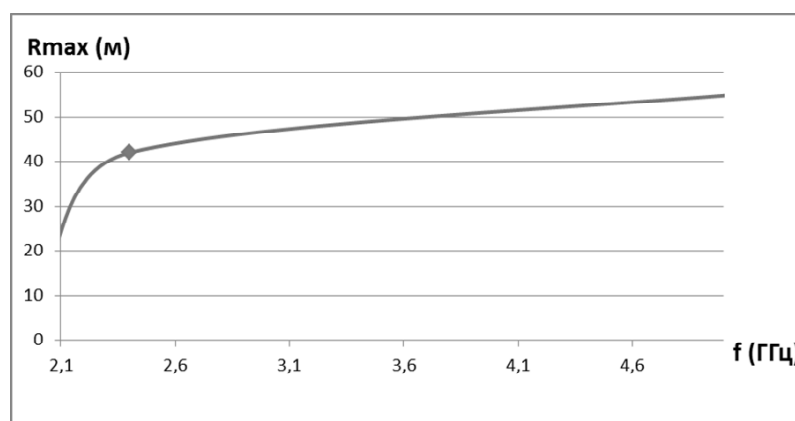


Рисунок 3 – Залежність дальності поширення сигналу від частоти

Выводы

В статье рассмотрена и проанализирована математическая модель распространения радиоволн в условиях ограниченного пространства, что характерно для подземной части угледобывающего предприятия. Данная математическая модель основана на использовании параметров боковых стен, потолка и пола угольной выработки, что позволяет учесть три

вида потерь: потери преломления, потери из-за рассеивания и потери из-за разного угла наклона стен. Важным критерием является учет горизонтальных и вертикальных мод, а также учет влияния размеров горизонтальной и вертикальной выработки. Математическая модель позволяет также рассчитать общее затухание. На основе общего затухания и производится расчет максимальной дальности распространения радиосигнала в зависимости от длины волны радиосигнала, который распространяется в свободном пространстве.

На основе разработанной математической модели, было произведено моделирование распространения радиосигнала. На рисунках 1 и 2 представлены зависимости затухания от различных частот для вертикальной и горизонтальной поляризаций. Как и предполагалось – вертикальная поляризация более подвержена влиянию затухания. На рисунке 3 представлена зависимость дальности распространения сигнала от частоты, так как, при большей частоте затухания меньше, то дальность распространения при этом получаем больше. Предложенная модель может быть внедрена в аппаратно-программный комплекс, который был описан в [8].

Список использованной литературы

1. Молоковський, І.О. Аналіз систем промислового зв'язку [Текст]/ Молоковський І.О. // Національна Академія наук України. Інститут проблем моделювання в енергетиці. Збірник наукових праць "Моделювання та інформаційні технології". Київ, 2009 р. – Випуск 52. – С. 157-160.
2. Молоковський, І.А. Влияние окружающей среды на передачу радиосигналов в промышленных телекоммуникационных системах [Текст]/ Молоковський І.А. // Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології». Лівадія: ДУІКТ, 2012 р. – С. 147-149.
3. Турупалов, В.В. Информационная система обеспечения безопасности промышленных предприятий [Текст]/ Турупалов В.В. // Науковий вісник Чернівецького університету «Комп'ютерні системи та компоненти. Збірник наукових праць. Том 3. Випуск 2 – Чернівці, 2012. – С. 65-68.
4. Турупалов, В.В. Роль телекомунікаційних технологій у системах автоматизації підприємств гірничого-добувного комплексу [Текст]/ Турупалов В.В. // Научно-теоретический журнал «Искусственный интеллект».- Донецк-2012. - №4. - С. 516 - 521.
5. Турупалов, В.В. Повышение надежности технологических сетей связи [Текст]/ В.В. Турупалов, І.А. Молоковський // Сучасні інформаційно-комунікаційні технології: VII Міжнародна науково-технічна конференція: збірник тез. - К., 2011. - С. 152–154.
6. Турупалов, В.В. Спеціалізована телекомунікаційна мережа в системі управління вугільною шахтою [Текст]/ В.В. Турупалов, Р.В. Федюн, В.О. Попов // Автоматика-2004: 11-я международная конференция по автоматическому управлению, 27–30 сентября 2004 г.: тези докл. – К, 2004. - Т. 4. - С. 113.
7. Молоковський, І.А. Исследование возможности передачи информации с помощью беспроводных технологий в телекоммуникационных сетях промышленных предприятий [Текст]/ Молоковський І.А. // Сборник научных трудов Донецкого национального технического университета, серия: «Вычислительная техника и автоматизация-2010». Донецк, 2010 р. – Випуск 19 (171). – С. 77-82.
8. Молоковський, І.А. Программный комплекс определения местоположения мобильных объектов [Текст]/ І.А. Молоковський // Науковий вісник Чернівецького національного університету ім. Юрія Федьковича. Серія: Комп'ютерні системи та компоненти. – Чернівці: ЧНУ, 2013. – Том 4, Випуск 3. – С. 113-118.
9. Молоковський, І.А. Исследование особенностей проектирования систем связи с использованием излучающего кабеля [Текст]/ І.А. Молоковський // Наукові праці

Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. – Донецьк, 2013. – Випуск 36. – С. 90-96.

10. Савкин, М.М. Распространение радиоволн в горных выработках [Текст] / М.М. Савкин // Радиосвязь и высокочастотная телемеханика в горной промышленности: сб. науч. тр. / СО АН СССР. – Новосибирск, 1964. – С. 7–38.
11. Вовна А.В. Разработка математической модели измерительного контроля концентрации пыли в газах теплоэлектростанции [Текст] / А.В. Вовна, А.А. Дробот // Збірник наукових праць XIII Міжнародної науково-технічної конференції аспірантів і студентів «Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих». – Донецьк, 2013. – С. 393 – 397.

References

1. Molokovskiy, I.O. (2009), “Analysis of systems of industrial networks”, *National Academy of Sciences of Ukraine. Simulation and informational technologies. Collection of scientific works*, vol. 52, pp. 157–160.
2. Molokovskiy, I.A. (2011), “Effect of the environment on a radio propagation in industrial network”, *8 th International Conference for New Generation Networks and Telecommunication Problems*, State University for IT and Telecommunication DUKIT, Livadia, Ukraine, pp. 147–149.
3. Turupalov, V.V. (2012), “Telecommunications system to ensure safety in mines”, *Scientific Bulletin of Chernivtsi University. Coll. sciences. Ave Series: Computer Systems and Components*, vol. 3, no. 2, pp. 65–68.
4. Turupalov, V.V. (2012), “The role of communication technologies in systems of automation of mining complex”, *Scientific-theoretical magazine "Artificial intelligence"*, vol. 4, pp. 516–521.
5. Turupalov, V.V. and Molokovskiy, I.A. (2011), “Improving the reliability of technological networks”, *5 th International Conference for New Generation Networks and Telecommunication Problems*, State University for IT and Telecommunication DUKIT, Livadia, Ukraine, pp. 152–154.
6. Turupalov, V.V., Fedjun, R.V. and Popov, V.O. (2004) “Special telecommunication network management system of coal mine” *AUTOMATICS-2004: 11- International Conference on Automatic Control, 4-5 October 1999*, Kiev, pp. 113.
7. 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.
8. Molokovskiy, I.O. (2013), “The software product of mobile object localization in industrial networks”, *Scientific Bulletin of Chernivtsi University. Coll. sciences. Ave Series: Computer Systems and Components*, vol. 4, no. 3, pp. 113–118.
9. Molokovskiy, I.O. (2013), “Research communication system with coaxial cable”, *Collection of scientific works of Donetsk Railway Transport Institute*, vol. 36, pp. 90–96.
10. Savkin, M.M. (1964), “Radio propagation in mines”, *Radiosvjaz' i vysokochastotnaja telemechanika v gornoj promyshlennosti: sb. nach. tr. / SO AN SSSR*, pp. 7-38.
11. Vovna, A.V. and Drobot, A.A. (2013), “Develop a mathematical model of the measuring control dust concentration in gases power plants”, *Zbirnik naukovih prac' XIII Mizhnarodnoї naukovo-tehnicnoї konferencії aspirantiv i studentiv «Avtomatizacija tehnologichnih ob'ektiv ta procesiv. Poshuk molodih*, pp.393-397.

Надійшла до редакції
25.04.2014 р.

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

І.О. Молоковський

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Моделювання процесу поширення радіохвиль в підземній частині вугледобувних підприємств. У статті розглянута і проаналізована математична модель розповсюдження радіохвиль в умовах обмеженого простору, що характерно для підземної частини вугледобувного підприємства. Дана математична модель заснована на використанні параметрів стін, стелі та підлоги вугільної виробки, що дозволяє врахувати три види втрат: втрати на заломлення, втрати через розсіювання і втрати через різні кути нахилу стін. На основі розробленої математичної моделі, було зроблено моделювання поширення радіосигналу.

Ключові слова: модель, радіохвиля, втрати, заломлення.

I. Molokovskiy

Donetsk National Technical University

The propagation of radio waves in the underground part of the mine. This paper has presented and analyzed the mathematical model of radio-wave propagation in the conditions of a limited space that is typical for a coal producer substructure. This mathematical model is based on use of the parameters of side walls, ceiling and floor of coal openings that brings to taking into account three types of losses: refraction losses, losses due to dispersion and losses due to different tilt angle of walls.

Refraction losses can be calculated as capacity losses of separate bundles of parallel rays reflecting from all four walls of a tunnel. Do this requires detection of a grazing angle of a wave which depends upon the array of factors. Though, an upper-range value will be introduced by the effective reflecting surface on side walls and number of rays reverberation at a certain distance.

For definition of dispersion losses due to walls unevenness the assumptions that walls are uneven should be made. By dint of Gaussian distribution we describe amplitude of walls unevenness through a mean-square deviation.

The losses for greater range of tilt values using Gaussian distribution with a mean-square deviation have been considered instead of calculation of angular losses for a fixed angle. An important criterion is consideration of horizontal and vertical modes as well as consideration of a size effect of horizontal and vertical openings. A mathematical model also enables to calculate overall attenuation. On the grounds of this overall attenuation the calculation of a maximum radio signal propagation depending on wave-length of a radio signals propagated in a free space is made.

On the grounds of the developed mathematical model there was made modelling of a radio signal propagation. Figures 1 and 2 show attenuation dependences upon various frequencies for vertical and horizontal polarization. As expected – a vertical polarization is more susceptible to the effect of attenuation. The fig. 3 represents frequency dependence of a signal propagation distance as at greater frequency attenuations are decreased and attenuation propagation distance is increased.

Keywords: model, radio wave, loss, refraction.



Молоковський Ігорь Алексеевич, Україна, закончил Донецкий национальный технический университет, канд. тех. наук, доцент кафедры автоматизации 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