

УДК 621.395

І.О. Молоковський

Донецький національний технічний університет, м. Донецьк
кафедра „Автоматика та телекомунікації”
E-mail: igor.molokovskiy@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ БЕЗДРОТОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕРЕЖАХ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Анотація

Молоковський І.О. Дослідження можливості передачі інформації за допомогою бездротових технологій у технологічних мережах промислових підприємств. У статті розглянуті питання використання бездротового зв'язку у підземних виробках вугільних шахт. У діапазоні частот від 200 МГц до 1 ГГц запропоновано використовувати більш високі частоти, що дозволяє реалізувати бездротовий зв'язок у технологічній мережі, з точки зору швидкісної передачі інформації та кількості одночасно підключених абонентів.

Ключові слова: електромагнітні хвилі, частота, втрати, модель розповсюдження.

Зростання механізації виробничих процесів в шахтах висувало на передній план проблему створення бездоганного зв'язку між різними групами працівників. При цьому вважалося бажаним, щоб всі працівники, що виконують функції нагляду та контролю, у будь-який час могли зв'язатися один з одним та з центральним диспетчерським пунктом. Тому в якості засобу зв'язку напрошувався перш за все бездротовий радіозв'язок, який не вимагає вживання додаткового обладнання при розширенні мережі підземних вироблень і яким може користуватися кожний працівник, незалежно від свого місцезнаходження. Ще одним важливим критерієм для використання бездротового зв'язку – структурна надійність. У шахтах часто виникає проблема з пошкодженням кабелю у наслідок його неохайного використання. Саме для вирішення таких проблем направлено використання бездротового зв'язку. Проте умови розповсюдження електромагнітних хвиль у шахтах в порівнянні з поверхнею менш сприятливі. Надійний радіозв'язок можливий в прямолінійних незавалених гірничих виробках звичайно лише в межах видимості. Загасання і віддзеркалення радіохвиль кам'яним вугіллям, бічними породами і кріпленням сильно обмежують дальність дії радіозв'язку. Перші дослідження підтвердили теоретичні міркування про обмеженість бездротового радіозв'язку. У зв'язку з цим, вже на перших етапах досліджень перейшли в основному до залучення дротового зв'язку. Були взяті до уваги також проблеми радіозв'язку з використанням хвилеводів.

При частотах в діапазоні 200-1000 МГц гірнична порода і вугілля виступають як діелектрики з відносно низькими втратами, при цьому діелектрики з мало змінними параметрами. За таких умов розумно припустити, що передача приймає форму хвилевідного поширення у виробленні, оскільки відрізки надзвичайно високих частот (НВЧ) менше розмірів виробки. Електромагнітна хвиля, що переміщається уздовж прямокутного вироблення в діелектричному середовищі, може поширюватися в будь-якому з декількох хвилевідних режимів. Всі ці режими – це режими «з втратами» внаслідок того, що будь-яка частина хвилі, яка ударяється об стіну вироблення, частково заломлюється в оточуючий діелектрик і частково заломлюється назад у хвилевід. Заломлена частина поширюється назад від хвилеводу і представляє втрату енергії. Слід відмітити, що швидкості загасання хвилевідних режимів, залежать практично повністю від втрати заломлення для домінуючого

режиму і високих режимів, які збуджуються при розсіянні, а не від омічної втрати.[1] Ефект омічної втрати внаслідок невеликої провідності навколишнього матеріалу вважається незначним при даному діапазоні частот.

Розглянемо той випадок, коли використовуються вироблення з прямокутним поперечним перетином і включають той випадок, коли діелектрична постійна матеріалу на бокових стінах вироблень відрізняється від тієї, яка існує на верхніх і нижніх стінах.

Дія питомої провідності на втрати поширення. Для того, щоб прорахувати дію кінцевої провідності стін вироблення на втрати при розсіюванні, розглядаємо K_1 і K_2 як комплексні числа в приблизних вирішеннях для власних значень k_1 і k_2 , які для загального випадку режиму E_h , приймають форму [2]:

$$k_1 = n_1 \left(\frac{\pi}{d_1} + \frac{iK_1\lambda}{d_1^2(K_1-1)^{1/2}} \right); \quad (1)$$

$$k_2 = n_2 \left(\frac{\pi}{d_2} + \frac{i\lambda}{d_2^2(K_2-1)^{1/2}} \right). \quad (2)$$

Постійна поширення k_3 обчислюється за формулою:

$$k_3^2 = k_0^2 - k_1^2 - k_2^2. \quad (3)$$

Оскільки k_1 і k_2 імовірно малі в порівнянні з k_0 , можемо виразити коефіцієнт поглинання енергії α_h для режиму E_h з формули:

$$\alpha_h = -2I_m(k_3) \cong \frac{1}{k_0} I_m(k_1^2 + k_2^2) = \frac{\lambda}{2\pi} I_m(k_1^2 + k_2^2). \quad (4)$$

При заміні k_1 і k_2 з формули (1) і (2) в (3), ми одержуємо:

$$\alpha_h = \lambda^2 \operatorname{Re} \left(\frac{n_1^2 K_1}{d_1^3 (K_1 - 1)^{1/2}} + \frac{n_2^2}{d_2^3 (K_2 - 1)^{1/2}} \right) - \frac{\lambda^3}{2\pi} I_m \left(\frac{n_1^2 K_1^2}{d_1^4 (K_1 - 1)} + \frac{n_2^2}{d_2^4 (K_2 - 1)} \right). \quad (5)$$

Тепер пишемо K_1 і K_2 у вираз:

$$K_1 = K_1' - iK_1''; \quad (6)$$

$$K_2 = K_2' - iK_2'', \quad (7)$$

де K_1'' і K_2'' імовірно малі в порівнянні з K_1' і K_2' . За таких умов формула (5) становиться, до умов першого порядку K_1'' і K_2'' :

$$\alpha_h \cong \lambda^2 \left(\frac{n_1^2 K_1'}{d_1^3 (K_1' - 1)^{1/2}} + \frac{n_2^2}{d_2^3 (K_2' - 1)^{1/2}} \right) + \frac{\lambda^3}{2\pi} \left(\frac{n_1^2 K_1' (K_1' - 2) K_1''}{d_1^4 (K_1' - 1)^2} - \frac{n_2^2 K_2''}{d_2^4 (K_2' - 1)^2} \right). \quad (8)$$

Якщо σ_1 і σ_2 - питомі провідності вертикальних і горизонтальних стін вироблення, а f – частота радіовипромінювання, тоді

$$K_1'' = \frac{\sigma_1}{2\pi f \varepsilon_0}; \quad (9)$$

$$K_2'' = \frac{\sigma_2}{2\pi f \varepsilon_0}. \quad (10)$$

Припустимо, що $\sigma_1 = \sigma_2 = 10^{-2}$ См/м, $f = 1000$ МГц, $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м. Тоді $K_1'' = K_2'' = 0,18$. Для $K_1' = K_2' = 10$, $d_1 = 4,2$ метрів, $d_2 = 2,1$ метрів, $\lambda \approx 0,3$ м, $n_1 = n_2 = 1$, λ^2 и λ^3 умови у формулі (8) - тоді $0,657 \cdot 10^{-3}$ м⁻¹ і $1,767 \cdot 10^{-7}$, м⁻¹, відповідно. Таким чином, дія питомої провідності цілком не враховується в частотному діапазоні, що цікавить. Необхідно відмітити, що для цього випадку вибраний тангенс $\delta = 0,018$.

Дуже маленький внесок питомої провідності у втрати при поширенні для маленьких величин тангенса кута втрат діелектрика узгоджується з результатами, одержаними Глейзером [1] для полого циліндрового каналу в діелектрику з втратами.

Теоретично, підземну виробку можна представити у вигляді хвилеводу, отже у ній будуть присутні основні хвилевідні режими. Режими поширення з найменшими темпами затухання в прямокутному виробленні в діелектричному середовищі представлені двома (1,1) режимами, електричне поле E яких поляризовано переважно в горизонтальному і вертикальному напрямках, відповідно. Ми посилаємося на ці два режими як E_h і E_v .

Основні компоненти поля режиму E_h у виробленні представлені таким чином:

$$E_x = E_0 \cos k_1 x \cos k_2 y \exp(-ik_3 z); \quad (11)$$

$$H_y = \frac{k_3}{\omega \mu_0} E_0 \cos k_1 x \cos k_2 y \exp(-ik_3 z), \quad (12)$$

де символи мають звичне значення.

Система координат центрована у виробленні, при цьому x – горизонтально, y – вертикально і z – уздовж вироблення, як показано на рис.1. Додатково до поперечних компонентів поля є невеликі подовжні компоненти E_z і H_z , і невеликий поперечний компонент H_x . Для нашого діапазону частот k_1 і k_2 - невеликі в порівнянні з k_3 , що означає, що поширення хвиль відбувається переважно у напрямі z . З погляду геометричної оптики, промінь виконує невеликий кут ковзання по стінах вироблення.

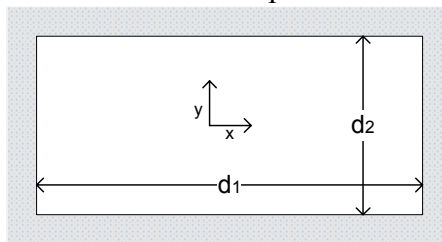


Рисунок 1 – Геометрія хвилевіду

У діелектрику, що оточує вироблення, розчинення хвилі має форму прогресивних хвиль в поперечному, а також подовжньому напрямках. Постійна поширення k_3 для режиму (1,1) – це власне значення, визначене граничними умовами безперервності тангенціальних компонентів E і H на стінках вироблення. Завдяки простій формі хвилі, вказаної в (11) і (12) ці умови можуть бути дотримані лише приблизно. Проте можна набутися непогане наближене значення k_3 . Уявна частина k_3 , яка виникає завдяки нещільному характеру режиму, дає швидкість затухання хвилі. Втрата L_{Eh} в дБ для режиму (1,1) E_h розраховується по формулі [2]:

$$L_{Eh} = 4,3 \lambda^2 z \left(\frac{k_1}{d_1^3 \sqrt{k_1 - 1}} + \frac{1}{d_2^3 \sqrt{k_2 - 1}} \right). \quad (13)$$

Відповідний результат для режиму (1,1) E_h наступний:

$$L_{Ev} = 4,3 \cdot \lambda^2 \cdot z \left(\frac{1}{d_1^3 \sqrt{k_1 - 1}} + \frac{k_2}{d_2^3 \sqrt{k_2 - 1}} \right), \quad (14)$$

де λ – довжина хвилі, м; z – відстань, м; L_v, L_h – погонне послаблення для вертикальної та горизонтальної поляризації; d_1 – висота виробки, м; d_2 – ширина виробки, м; k_1, k_2 – відносна діелектрична проникність верхньої (нижньої) та бокових стінок тунелю.

На рис. 2 показані темпи втрати в дБ/30м як функція частоти, розрахованої по формулах (13) і (14) для режимів (1,1) E_h і E_v у виробці шириною 4,2 метри і заввишки 2,1 метра, що характерне для відкатувальної виробки в з'єднанні могутнього пласта вугілля, і для

$K_1=K_2=10$, що відповідає вугіллю на всіх стінах вироблення. Видно, що швидкість втрати набагато більше для режиму E_v .

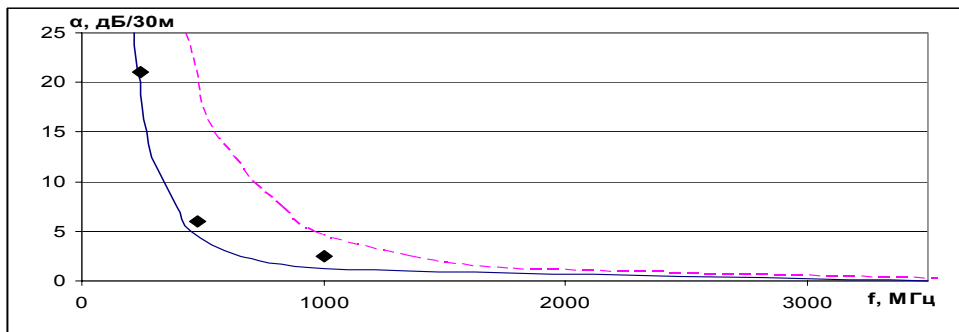


Рисунок 2 - Втрати на заломлення для режимів E_h (—), E_v (---) в потужному пласті вугілля

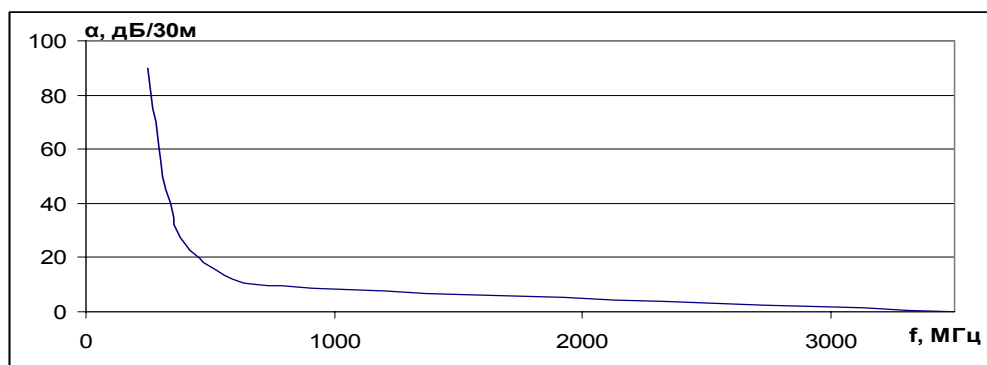


Рисунок 3 - Втрати на заломлення для режиму E_h в тонкому пласті вугілля

Отже, більш висока швидкість втрати у виробці з тонким пластом вугілля виникає внаслідок ефекту d_2^3 , що зазначено на рис. 3, де наведена розрахована швидкість втрати E_h для вироблення з половинною висотою.

Вимірювання посилення у вугільній виробці, а також по кутах в діагональних штреках були проведені при частотах 200, 415 і 1000 МГц для різних напрямів передаючих і приймальних симетричних антен. Результат полягає в тому, що для 415 і 1000 МГц швидкість затухання інтенсивності сигналу в прямих виробках (в дБ/30м) аналогічна, в межах погрішності експерименту, для всіх напрямків двох антен, тобто горизонтально-горизонтально (ГГ), вертикально-горизонтально (ВГ) і вертикально-вертикально (ВВ). При 200 МГц існують відомості лише про ВГ та ВВ вимірах для декількох відділів антени, а темпи затухання дещо відмінні.

Порівняння чітко показує, що поширення у виробленні відбувається в режимі (1,1) E_h . Проте дещо високі значення експериментального посилення при частоті 415 і 1000 МГц передбачає, що при більш високих частотах встановлюється додатковий механізм втрати. Даний механізм також повинен дозволяти розраховувати незалежність темпу втрати на напрям антени, оскільки теорія аж до цієї точки припускає відсутність передачі для установки антени ВГ.

Для того, щоб виявити частоту на якій передача сигналу є оптимальною, необхідно розглянути модель розповсюдження. Найбільша швидкість втрати при високих частотах щодо розрахованих значень режиму E_h , і незалежність швидкості втрати, що спостерігається, від напрямку антени можна розрахувати, якщо забезпечити розсіяння енергії переважаючого режиму E_h за допомогою шорсткості і нахилу стін вироблення. Розсіяна енергія переходить в багато більш високі режими, і може вважатися «дифузним» випромінюючим компонентом,

який супроводжує режим E_h . Такий дифузний випромінюючий компонент перебуває в динамічній рівновазі з режимом E_h в тому значенні, що швидкість його генерації шляхом розсіяння режиму E_h збалансована швидкістю його втрати шляхом заломлення в оточуючий діелектрик. Тому що дифузний компонент складається частково з режиму (1,1) E_v і багатьох хвилевідних режимів більш високого порядку, всі з яких мають набагато більш високі швидкості втрати на заломлення, ніж основний режим E_h . Точка динамічної рівноваги така, що рівень дифузного компоненту перебуває набагато нижче в дБ, ніж в режимі E_h в будь-якій точці вироблення.



Рисунок 4 - Приклад вугільних горизонтальних вироблень і поперечних розрізів.

Ця модель розповсюдження, в порівнянні з режимом (1,1) E_h плюс урівноважений дифузний компонент, може пояснити розходження між теоретичними та експериментальними значеннями, що можуть виникати.

Втрата унаслідок розповсюдження режиму E_h більше при 1000 МГц, ніж при 415 МГц внаслідок більшої дії нахилу стіни при більш високій частоті. Модель розраховує незалежність швидкості втрати від напрямку антени, тому що темп втрати завжди такий, як і в режимі E_h , за винятком початкових і кінцевих зон переміщення, незалежно від напрямків, в яких можуть розташовуватися дві антени. Перехідні зони викликають різні втрати, що вносяться, для різних напрямків антени.

Подальша значна підтримка цієї теоретичної моделі виникла з відкриття Годдарда, згідно якому велика втрата в інтенсивності сигналу виникає, коли приймальна антена переміщується навколо кута у похилому штреку; і інтенсивність сигналу навколо кута не залежить від напрямку приймальної антени. Треба тлумачити ці дослідження таким чином. Режим (1,1) E_h в основному виробленні складається з пучка випромінювання унаслідок невеликого співвідношення між довжиною хвилі і розмірами виробки. Такий промінь діє у великій мірі в геометричній оптиці, і практично не підпадає під вплив отворів в похилому штреку.

Отже, режим (1,1) дуже слабо з'єднується з режимами похилого штреку. В цьому відношенні дана ситуація дуже відрізняється від випадку з перетнутими однорежимними металевими хвилеводами. Якщо режим E_h не з'єднувався достатньо з похилим штреком, шляхом симетрії випромінювання у похилому штреку повинне бути також горизонтальне поляризовано, що суперечить експериментальним результатам.

Проаналізувавши всі наведені дослідження, можна зробити висновок, що у діапазоні від 200 до 3000 МГц найбільш вигідними є частоти, близькі до 1 ГГц. На цих частотах послаблення сигналу значно більше ніж на нижчих, але це можна вирішити за рахунок встановлення додаткового обладнання – повторювачів.

У той же час ці частоти дають можливість використання швидкісної передачі інформації. Також можливо використовувати більш велику ширину спектру, що дуже потрібно при використанні великої кількості абонентів та при використанні в умовах складної обстановки з багатьма перешкодами. Результатами даної статті є можливість технічної реалізації систем промислового зв'язку на базі бездротових технологій.

Література

1. J.I.Glaser, "Attenuation and guidance of model in hollow dielectric waveguides". IEEE Trans. Microwave Theory Tech. (Corresp.), vol. MTT-17, pp.173-174, Mar. 1969; and M.I.T., Cambridge, Mass., Ph.D. thesis, Dep. Elec. Eng., "Low-loss waves in hollow dielectric tubes." Feb.1967.
2. Долуханов М.П. Распространение радиоволн – М: Связь, 1972. – 336с.
3. В.В. Турупалов, Р.В. Федюн, В.О. Попов „Спеціалізована телекомунікаційна мережа в системі управління вугільною шахтою” (тези)/ 11-я международная конференция по автоматическому управлению «Автоматика-2004», г. Киев, Национальный университет пищевых технологий, 27-30 сентября 2004г.с.113, т.4
4. В.И. Бессараб, Р.В. Федюн, Г.В. Курно сов „Применение современных телекоммуникационных технологий в системах комплексной автоматизации угольных шахт» /Наукові праці ДонНТУ. Серія:Обчислювальна техніка та автоматизація, Випуск 74. Донецьк, 2004. 427с.
5. Шахтный подъем: Научно-производственное издание / БежокВ.Р., Дворников В.И., Манец И.Г., Пристром В.А.; общ. ред. Б.А. Грядущий, В.А. Корсун. – Донецк: ООО «Юго-Восток, ЛТД», 2007. – 624с. – ISBN 978-966-374-221-2.

Аннотация

Молоковский И. А. Исследование возможности передачи информации с помощью беспроводных технологий в технологических сетях промышленных предприятий. В статье рассмотрены вопросы использования беспроводной связи в подземных выработках угольных шахтах. В диапазоне частот от 200 МГц до 1 ГГц предложено использовать более высокие частоты, что дает возможность реализовать беспроводную связь в технологических сетях, с точки зрения скоростной передачи информации и одновременно подключенных абонентов.

Ключевые слова: электромагнитные волны, частота, потери, модель распространения.

Abstract

Molokovskiy I. A. Investigation of information transmission using wireless technology in industrial networks. In the article the author considers the problem of wireless communications. In the frequency range 200 MHz - 1 GHz is proposed to use higher frequencies. In the article a detailed description of each process functions.

Keywords: Electromagnetic waves, frequency, loss, propagation model.

Здано в редакцію:
17.03.2010р.

Рекомендовано до друку:
д.т.н, проф. Чичикало Н.І.