

УДК 621.391

А.О. ВОРОПАЄВА (канд.техн.наук)

В.П. ТАРАСЮК (канд.техн.наук, доц.)

Г.В. СТУПАК (магістрант)

Донецький національний технічний університет, м. Красноармійськ

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ БЕЗПРОВОДОВИХ ЗАСОБІВ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ ДЛЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Розглянуто особливості безпроводової передачі сигналів у мережах спеціального призначення. Описано основні перешкоди впровадження безпроводових технологій в мережі спеціального призначення. Наведено математичний апарат передачі радіохвиль в підземних умовах, який аналізує основні залежності напруженостей електричного поля, коефіцієнта корисної дії приймального фідерного тракту від відстані передачі. Розроблено модель для дослідження напруженості поля, яка дає можливість проаналізувати реакцію вихідних характеристик при зміні потужності передатчика.

Ключові слова: мережі спеціального призначення, радіохвилі, напруженість електричного поля, коефіцієнт корисної дії.

Вступ. Відповідно до Правил безпеки у вугільних шахтах гірниче підприємство повинно бути оснащено засобами зв'язку. Підвищення вимог безпеки виробництва вимагає розширення функціональних можливостей апаратури зв'язку, забезпечення її мобільності, доповнення її пристроями, що забезпечують безпеку шахтарів. Традиційні проводові системи забезпечують обмін обмеженого обсягу інформації і не можуть реалізувати вимоги ПБ, що включають протияварійні режими [1]. Крім того, очевидно, що більш ефективно і зручно в підземних виробках шахт використовувати засоби безпроводового зв'язку. Аналіз розвитку техніки шахтного зв'язку та освоєння частотних діапазонів в умовах гірничих підприємств показує, що частотний діапазон систем розширюється.

Серйозною перешкодою для широкого впровадження безпроводового зв'язку є обмеження можливості поширення радіохвиль, що накладається параметрами і конфігурацією гірничих виробок [2]. Аналіз сучасних технологій безпроводового зв'язку для шахт показує основні тенденції розвитку: підвищення частоти радіоканалу і перехід на цифровий зв'язок. А

Аналіз результатів випробувань індуктивного та цифрового зв'язку показує, що для підземних гірничих виробок не можна однозначно сформулювати універсальний принцип по організації бездротового зв'язку на базі цих видів апаратури [3]. Рациональним рішенням проблеми може стати комбінований підхід. Створення ефективного комплексу бездротового зв'язку є складною науково-технічною задачею, пов'язаною з урахуванням впливу на радіосигнал геометрії гірничих виробок, їх насиченості обладнанням, електромагнітної обстановки, конфігурації силових кабельних мереж та розміщення електроустановок. На етапі проектування має бути забезпечене комплексне рішення задачі з урахуванням впливу на умови поширення радіохвиль численних факторів, що характеризують гірниче виробництво [4].

Математичний механізм передачі радіохвиль в шахті.

Передавач працює на частоті f і має потужність $P_{пер}$. Випромінена потужність $P_{випр}$ менше потужності передавача через наявність теплових втрат в фідерній лінії і неідеального узгодження передавальної антени:

$$P_{випр} = P_{пер} \cdot \eta_{пер}, \quad (1)$$

де $\eta_{пер}$ – коефіцієнт корисної дії тракту передавача.

Теплові втрати в фідерній лінії прийнято характеризувати погонним загасанням α , що виражається зазвичай в дБ/м [5]. Це загасання в лінії довжиною 1м. Для неідеально узгодженої антени розподіл напруги уздовж фідерної лінії утворюється накладенням двох хвиль: падаючої, що має амплітуду $U_{пад}$, і відображеною з амплітудою $U_{відобр}$. Ступінь узгодження антени з фідерною лінією прийнято характеризують двома параметрами - коефіцієнтом відображення

$$\Gamma = \frac{U_{\text{відобр}}}{U_{\text{пад}}},$$

та коефіцієнтом стоячої хвилі (КСХ):

$$КСХ = \frac{U_{\text{max}}}{U_{\text{min}}}.$$

З урахуванням вищевказаного можна отримати аналітичний вираз для постійної поширення Γ радіохвиль уздовж тунелю:

$$\Gamma = \gamma_0 \left[1 + \frac{1}{\gamma_c l} \ln \frac{2l}{c} \right]^{1/2},$$

де $\gamma_0 = i\xi_0 \mu_0 \omega$ - постійна поширення радіохвиль у вільному просторі;

$\gamma_c = \sqrt{i\mu_0 \omega (\sigma_c + i\xi_{r3} \omega \xi_0)}$ – постійна поширення радіохвиль в матеріалі стінки тунелю,

та $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Гн/м;

ω – кругова частота;

σ_c , ξ_{r3} , ξ_0 – електрична провідність і діелектрична проникливість матеріалу стінки тунелю.

В напрямку максимуму випромінювання антени, що має коефіцієнт корисної дії $D_{\text{пер}}$ щільність потоку потужності на відстані R :

$$\Pi = \frac{P_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{пер}} \cdot D_{\text{пер}}}{4\pi R^2}.$$

З іншого боку, щільність потоку потужності виражається через діючі значення напруженостей електричного E_δ і магнітного H_δ полів, які, в свою чергу, пов'язані між собою характеристичним опором вільного простору $Z_0 = 120\pi$ Ом:

$$\Pi = E_\delta \cdot H_\delta = \frac{E_\delta^2}{Z_0}.$$

Це дозволяє визначити діюче значення напруженості електричного поля на відстані R :

$$E_\delta = \frac{\sqrt{30 P_{\text{пер}} \eta_{\text{пер}} D_{\text{пер}}}}{R},$$

Втрати узгодження приймальної антени визначаються її коефіцієнтом стоячої хвилі, втрати у фідері приймального тракту визначаються також, як і в передавальному [6]. Разом вони враховуються введенням коефіцієнта корисної дії приймального фідерного тракту $\eta_{\text{прм}}$. Тоді потужність на вході приймача:

$$P_{\text{прм}} = P_{\text{пер}} \eta_{\text{пер}} \eta_{\text{прм}} D_{\text{пер}} D_{\text{прм}} \left(\frac{\lambda F}{4\pi R} \right)^2,$$

де $D_{\text{пер}}$, $D_{\text{прм}}$ - відповідно коефіцієнти спрямованої дії передавальної і приймальної антен; F – множник послаблення, що дорівнює:

$$F = \frac{E}{E_\delta}.$$

Для забезпечення радіозв'язку в умовах обмеженого простору необхідне дотримання двох критеріїв:

1) викривлення сигналу у процесі поширення не повинні перевищувати допустимої норми,

2) має бути забезпечене певне перевищення потужності сигналу над потужністю різного роду перешкод на вході приймача, залежне від виду роботи, достовірності та надійності прийому.

Перша умова обмежує смугу частот невикрешленої передачі, тобто швидкість і кількість каналів. Нехай вид роботи задовольняє цій вимозі, тобто узгоджений з особливостями способу розповсюдження радіохвиль.

По ряду причин потужність перешкод, а в ряді випадків і потужність сигналу на вході приймача, відчувають безперервні безладні зміни у вигляді флуктуацій. Тому при формулюванні другої умови здійснення радіозв'язку доводиться оперувати середніми значеннями потужностей випроміненого сигналу і перешкод $P_{изл}$ та P_n та враховувати закони їх статистичного розподілу:

$$P_{випр} = k^2 P_n,$$

де k - коефіцієнт перевищення напруги, або коефіцієнт захисту, що залежить від виду роботи, достовірності та надійності прийому. Величина P_n характеризує мінімальну необхідну потужність сигналу на вході приймача, при якій забезпечується прийом з необхідної достовірності і надійності.

У діапазоні коротких і більш довгих хвиль зовнішні перешкоди часто характеризують діючою (середньоквадратичною) напруженістю поля перешкод $E_n^{(1)}$, що відносяться до одиначної смуги частот (зазвичай 1 кГц). Величину питомої напруженості $E_n^{(1)}$ знаходять через потужність перешкод $P_{вн}$ в антені без втрат, в припущенні, що перешкоди приходять рівномірно з усіх напрямів. При цьому ефективна площа антени не залежить від коефіцієнта спрямованості і для всіх антен без втрат дорівнює $A_n = \lambda^2 / 4\pi$. Таким чином:

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

Звідси

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

З урахуванням співвідношення (2) для мінімальної необхідної потужності сигналу на вході приймача можна записати:

$$P_n = k^2 \left(\frac{B E_n^{(1)2} \lambda^2}{480\pi^2} - \frac{P_n}{\eta} \right).$$

Множник ослаблення характеризує ослаблення поля радіохвилі E при поширенні в реальних умовах порівняно з полем $E_{св}$ при поширенні у вільному просторі.

Прирівнюючи потужність сигналу $P_{нрм}$ на вході приймача величиною P_n , можна отримати основне рівняння для розрахунку радіолінії, що зв'язує вигляд і якість роботи з умовами розповсюдження і параметрами радіоапаратури:

$$\left(\frac{\lambda F}{4\pi R} \right)^2 P_{нрп} \eta_{нрп} D_{нрп} D_{нрп} = k^2 \left(\frac{B E_n^{(1)2} \lambda^2}{480\pi^2} - \frac{P_n}{\eta} \right).$$

Якщо рівень зовнішніх перешкод великий, а коефіцієнт корисної дії приймального антенно-фідерного пристрою не занадто малий (режим великих зовнішніх перешкод), то можна знехтувати внутрішніми шумами [7]. При цьому рівняння радіолінії приймає вигляд:

$$30 P_{нрп} D_{нрп} \eta_{нрп} \left(\frac{F}{R} \right)^2 = k^2 E_n^{(1)2} \frac{B}{D_{нрп}}. \quad (3)$$

Ліва частина виразу (3) визначає квадрат напруженості поля, що створюється передавальною антеною, а права частина - квадрат необхідної напруженості E_n поля в пункті прийому:

$$E = \frac{F}{R} \sqrt{30 P_{\text{пер}} G_{\text{пер}} \eta_{\text{пер}}} \quad (4)$$

$$E_n = k E_n^{(1)} \sqrt{\frac{B}{D_{\text{прм}}}}$$

Таким чином, в режимі великих перешкод умовою здійснення радіозв'язку є:

$$E \geq E_n.$$

Максимальна дальність зв'язку:

$$R_{\text{max}} = \frac{\lambda F}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{nhv}} \cdot D_{\text{пер}} \cdot D_{\text{прм}}}{P_{\text{прм}}^{\text{min}}}}$$

Наведені вище співвідношення дозволяють здійснити моделювання радіотрас в умовах обмеженого простору шахтної виробітки з урахуванням перешкод і розробити відповідну віртуальну імітаційну модель [8].

Наведена математична модель дозволяє проаналізувати характер поведінки розповсюдження радіохвиль в умовах шахтної виробітки. Для дослідження напруженості поля сигналу на основі співвідношення (4) розроблено аналітичну модель, схему якої наведено на рисунку 1.

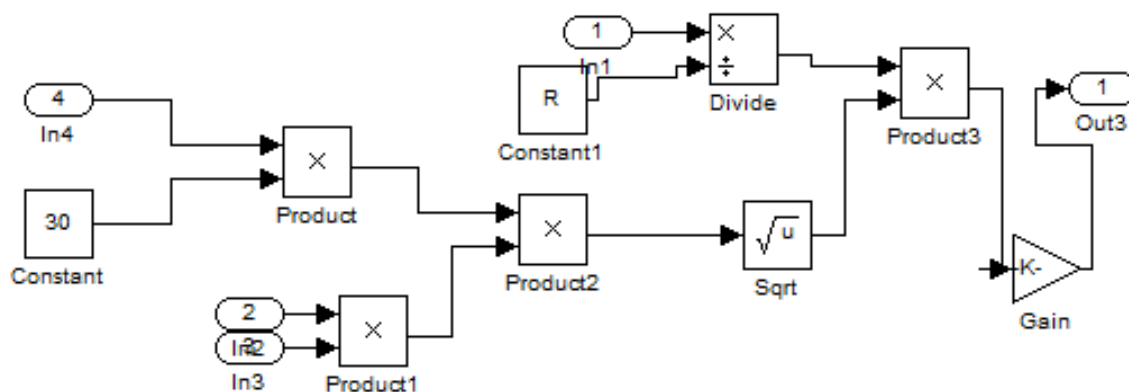


Рис. 1. Модель для дослідження напруженості поля

На порт 1 надходить величина множника послаблення, на порт 2 – коефіцієнт спрямованої дії передавальної антени, на порт 3 – коефіцієнт корисної дії передавальної антени, на порт 4 – потужність передатчика P1.

Для моделювання були обрані наступні дані:

Таблиця 1. Дані моделювання.

Параметр	f, МГц	F _A	D _{пер} , дБ	D _{прм} , дБ	α _{пер} , дБ/м	α _{прм} , дБ/м	l _{пер} , м	l _{прм} , м	Γ _{пер}	Γ _{прм}	P _{пер} , Вт	R, м	B, МГц
Значення	200	50	10	4	0,03	0,06	5	10	0,9982	0,9988	500	50	20

При зміні частоти та потужності передавача було отримано наступні результати:

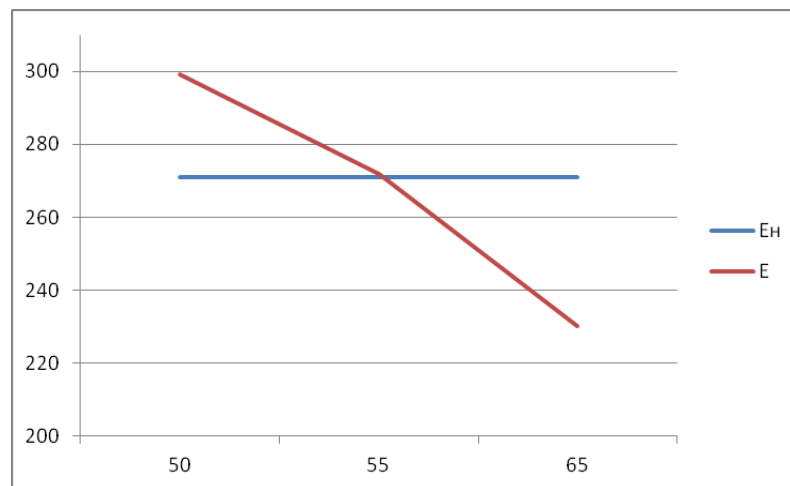


Рис. 2. Графік залежності необхідної напруженості поля та напруженості поля сигналу від відстані.

Як видно із графіку умова здійснення радіозв'язку з необхідними параметрами якості та надійності: $E \geq E_n$ виконується до відстані 55 метрів включно для параметрів $f=200$ МГц, $P_{\text{пер}}=500$ Вт. А при вихідних параметрах $f=200$ МГц, $P_{\text{пер}}=800$ Вт до 68 метрів включно, для значень частоти $f=400$ МГц максимальна відстань становить 65 метрів включно для потужності передавача $P_{\text{пер}}=800$ Вт та 56 метрів включно при $P_{\text{пер}}=500$ Вт. Для частоти $f=2400$ МГц при $P_{\text{пер}}=500$ Вт максимальна відстань менша за 50 метрів, при $P_{\text{пер}}=800$ Вт до 57 метрів включно.

Висновки. Основним завданням розвитку безпроводових систем зв'язку і передачі інформації в умовах підземних виробок шахт є вдосконалення антенно-фідерних пристроїв, які дозволяють збільшити зону покриття і дальність зв'язку, сформувати канал, в тому числі в умовах криволінійних ділянок і поворотів виробки. При дослідженнях розроблено математичну модель розповсюдження радіохвиль в умовах обмеженого простору з урахуванням впливу перешкод. Для математичної моделі визначена умова здійснення радіозв'язку з необхідними параметрами якості та надійності: $E \geq E_n$. Що дозволяє здійснити моделювання радіотрас в умовах обмеженого простору шахтної виробітки з урахуванням перешкод. На основі математичної моделі розроблено субмодель для дослідження напруженості поля. В ході моделювання визначено, що умова здійснення радіозв'язку з необхідними параметрами якості та надійності: $E \geq E_n$ виконується до відстані 55 метрів включно для параметрів $f=200$ МГц, $P_{\text{пер}}=500$ Вт.

Бібліографічний список

1. Давыдов В.В. Анализ информационных требований к общешахтной аппаратуре диспетчерской связи, сигнализации и аварийного оповещения. «Безопасность труда в промышленности», 2008, № 2. – с. 46-50.
2. Давыдов В.В., Листвинский В.М. Шахтная искробезопасная беспроводная связь. Сб. науч. тр. ин-та «Гипроуглеавтоматизация» «Автоматизация управления производственными процессами и безопасностью в угольной промышленности». М., 2001, – с. 112-120.
3. Шрамко Н.А., Анализ недостатков комплексов передачи данных в инфокоммуникационных сетях специального назначения // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики, часть I. - Ростов-на-Дону.: ПЦ «Университет» СКФ МТУСИ, 2014., с. 395-398.
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. Шрамко Н.А., Молоковський І.А., Турупалов В.В. Исследование влияния помех при распространении радиоволн в условиях ограниченного пространства // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. Випуск 2(27). - Донецьк: ДонНТУ, 2014. - С. 156-163.
6. Шрамко Н.А. Дослідження впливу перешкод при радіозв'язку в умовах обмеженого простору // Всеукраїнська науково-практична конференція "Современные проблемы телекоммуникаций и подготовка специалистов в области телекоммуникаций" (СПТЕЛ-2014).
7. Молоковський І.А. Исследование процесса распространения радиоволн в телекоммуникационных сетях специального назначения / И.А. Молоковський, В.В. Турупалов, Р.Ш. Абрамов // Наукові праці Донецького націона-

льного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – Донецьк, 2013. – Випуск 2(25). – С. 144-151.

8. Шрамко Н.А. Моделирование влияния перешкод при розповсюдженні радіохвиль в умовах обмеженого простору / Н.А. Шрамко, І.О. Молоковський, Л.О. Шебанова // Наукові праці Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. – Донецьк, 2014. – Випуск 38. – С. 19-26.

Надійшла до редакції 10.05.2015

А.А. Воропаева, В.П. Тарасюк, Г.В. Ступак

Донецкий национальный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ БЕСПРОВОДНЫХ СРЕДСТВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ.

Рассмотрены особенности беспроводной передачи сигналов в сетях специального назначения. Описаны основные препятствия внедрения беспроводных технологий в сети специального назначения. Приведен математический аппарат передачи радиоволн в подземных условиях, который анализирует основные зависимости напряженностей электрического поля, коэффициента полезного действия приёмного фидерного тракта от расстояния передачи. Разработана модель для исследования напряженности поля, которая дает возможность проанализировать реакцию выходных характеристик при изменении мощности передатчика.

Ключевые слова: сети специального назначения, радиоволны, напряженность электрического поля, коэффициент полезного действия.

A. Voropaeva, V. Tarasyuk, G. Stupak

Donetsk National Technical University

WIRELESS DATA TRANSMISSION FOR SPECIAL PURPOSES TELECOMMUNICATION NETWORKS.

The features of the wireless signal transmission in networks for special purposes. Describes the main obstacles to the adoption of wireless technologies in the special-purpose networks. The mathematical apparatus of the transmission of radio waves in the underground environment, which analyzes the main dependence of the electric field, the efficiency of the receiving feeder system of the distance. A model for the study of the field intensity, which allows the reaction to analyze the change in the output characteristics of the power transmitter.

Keywords: special-purpose networks, radio frequency electric field efficiency.