

4. *Напалков А.В., Целкова Н.В.* Информационные процессы в живых организмах.-М.: Высш.шк.-1987.-319с.

5. *Сліпчишин Л.В.* Психолого-педагогічні основи впровадження сучасних підходів до навчання у ПТНЗ. –Л: СПОЛОМ, 2008. -148 с.

Поступила 10.10.2011р.

УДК 681.51

І.О.Молоковський, В.В.Турупалов, Л.О.Шебанова
Донецький національний технічний університет, м. Донецьк
кафедра „Автоматика та телекомунікації”,
e-mail: igor.molokovskiy@gmail.com

ВИКОРИСТАННЯ НВЧ РАДІО ХВИЛЬ ДЛЯ ЗВ'ЯЗКУ У ТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕРЕЖАХ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Анотація. У статті розглянуті питання розповсюдження радіохвиль у складних підземних умовах вугільних шахт, тунелів метро. Розглянуто пример виконання комплексу технологічного зв'язку, визначені його переваги та недоліки.

Ключові слова: Частота – Випромінюючий кабель – Зв'язок.

Abstract. The problem of wireless communications was analyzed. The complex technological communication was considered and defined its advantages and disadvantages.

Keywords: Frequency – Radiating Cable - Connection

Актуальність питання. Велика кількість аварій на шахтах України призводить до високого рівню травматизму, у тому числі пов'язаного із смертю людей, великих економічних збитків (більше 1 млрд. грн на рік) за рахунок ліквідації наслідків аварій і не доданого вугілля (20 млн. т. на рік). Оснащення шахт комплексами технологічного зв'язку з режимом аварійного сповіщення на основі випромінюючого кабелю зможе зменшити ці збитки.

Постановка завдання. Технологічні мережі зв'язку повинні бути призначені для побудови систем гірничо-підземного радіозв'язку та автоматизації на шахтах і рудниках, а також для модернізації застарілих систем зв'язку на існуючих підприємствах. Технологічна мережа повинна забезпечувати надійний голосовий радіозв'язок на поверхні і в підземній частині шахт і копалень з можливістю виходу абонента у виробничо-технологічну мережу зв'язку підприємства, передачу даних від систем автоматизованого управління. Крім підприємств гірничодобувної галузі, технологічні мережі можуть бути використані на об'єктах, де поширення

радіохвиль ускладнено: у тунелях метрополітену, залізничних тунелях, підземних бункерах та тощо.

Основна частина. Системи шахтного зв'язку можливо умовно поділити на два типи: системи телефонного зв'язку та системи технологічного зв'язку. До систем телефонного зв'язку відносяться установча телефонна станція (автоматична чи ручна), система забезпечення іскробезпеки телефонних ліній у шахті, диспетчерський комутатор та система гучномовного сповіщення об аварії. До систем технологічного зв'язку відносяться системи ствольового, під'їзного, конвеєрного та дільничного зв'язку [1]. В даній статті будуть розглянуті питання, що стосуються технологічного зв'язку, що можуть бути виконані на базі випромінюючого кабелю.

Основою для створення систем бездротового зв'язку за допомогою випромінюючого кабелю стали дослідження у області розповсюдження радіохвиль у системі «коаксіальний кабель – підземна виробка».

Системи зв'язку у шахті із застосуванням випромінюючих коаксіальних кабелів мають ряд переваг перед іншими шахтними системами зв'язку:

- характеристики системи зв'язку визначаються параметрами кабелю та мало залежать від електричних властивостей стінок шахти;
- на характеристики приймального сигналу мало впливає транспорт, що рухається у шахті;
- змінюючи параметри кабелю можливо змінювати властивості системи зв'язку – зону обслуговування поблизу кабелю, послаблення сигналу вздовж кабелю, оптимальні частоти зв'язку.

Робота зі створення систем зв'язку з неперервним доступом розпочалися в Англії у 1967 році, роботи проводилися у наступних напрямках [4]:

- теоретичне вивчення розповсюдження радіохвиль вздовж кабелів у тунелях різноманітних форм, перетворення типів хвиль у випромінювальному кабелі, зв'язок антен із полем кабелю, сумарних втрат ліній зв'язку;
- експериментальне вивчення параметрів кабелів, антен у лабораторних умовах;
- вимірювання полів випромінювальних кабелів у реальних умовах – у шахтах, тунелях, вздовж залізниці.

Розраховувались та вимірювались параметри випромінювальних кабелів різноманітних конструкцій, у тому числі із різними видами зовнішнього провідника із прорідженим оплетенням, із поздовжньою щільною, із довгастими отворами, що орієнтовані під різними кутами до утворювальних, із щільними круглої та еліптичної форми, із поперечними прорізами по всьому периметру.

Коефіцієнт проходження радіохвиль через зовнішній провідник визначається шляхом точних електродинамічних розрахунків, а також за різноманітними наближеними формулами із застосуванням поняття поверхневого імпедансу Z_s зовнішнього проводу кабелю. З'ясувавши

експериментально або теоретично z_t та виривши межову задачу для багатопарового середовища – стінка тунелю, два діелектричних шари (атмосфера та ізоляція кабелю), зовнішній провідник із поверхневим імпедансом z_t , діелектричний шар, внутрішній провідник із поверхневим імпедансом z_i – можна чисельним шляхом з’ясувати постійну розповсюдження радіохвиль вздовж тунелю (фазову швидкість та послаблення) та коефіцієнти перетворення типів хвиль. Вводячи додатковий тонкий шар, нанесений на ізоляцію кабелю, можна розрахувати додаткове послаблення радіохвиль, що обумовлене шаром пилу на кабелі. Нижче наводяться найбільш загальні закономірності розповсюдження радіохвиль вздовж випромінювального кабелю.

Як і для двохпровідної відкритої лінії, уздовж коаксіального кабелю з найменшим загасанням розповсюджуються два види коливань: між зовнішніми та внутрішніми провідниками – біфілярні типи хвиль (Т), між зовнішнім провідником та стінкою тунелю – монофілярний тип.

Індуктивність зв’язку L_t , нГн/м, у тонкому екрані кабелю з однаковим діаметром отворів d , мм, доволі точно визначаються за формулою [5]:

$$L_t = \frac{nd^3}{15\pi D^2}, \quad (1)$$

де n – число отворів на метр довжини кабелю;

D – діаметр екрану кабелю, мм.

Таблиця 1

Частотна залежність послаблення біфілярних радіохвиль

Частота, МГц	Послаблення хвиль, дБ/км		
	$l/a=1$	$l/a=0,1$	$l/a=0,08$
1	1,6	2	3
2	2,5	3	6
5	4,3	5	12
10	6,5	8	18
20	9,3	11	28
50	15	18	42
100	21	25	55
200	29	36	68
500	41	55	87
1000	50	70	100
2000	55	81	112
5000	62	95	130

Поверхневий імпеданс z_t , Ом, на частоті f визначають за формулою [5]:

$$z_t = i \frac{2nfd^3 \cdot 10^{-9}}{15D^2}. \quad (2)$$

Проведені ВАТ «Автоматгірмаш» [6] дослідження показали, що для діапазону частот 5–10 МГц оптимальним для шахтного зв'язку є кабель з погонною індуктивністю 40 нГн/м, при цьому досягається максимальна дальність зв'язку та необхідний коефіцієнт перетворення типів хвиль. Результати дослідження приведені у таблиці 1. На рис.2 наведена частотна залежність послаблення радіохвиль вздовж такого кабелю (біфілярний тип хвиль) при різних віддаленнях кабелю від стінки тунелю.

Діаметр внутрішнього проводу дорівнює 1,5 мм, діаметр оплетення – 10 мм, діаметр ізоляції кабелю – 11,5 мм, діаметр тунелю $a=2$ м, провідність стінок тунелю 10^{-3} См/м, відносна діелектрична провідність матеріалу кабелю – $5,7 \cdot 10^7$ См/м, діелектрична проникність ізолятора та захисної оболонки відповідно дорівнюють 2,5 та 3; поверх захисної оболонки нанесено шар пілу із прокільною провідністю (добуток товщини на електричну провідність) тотожний 10^{-3} См.

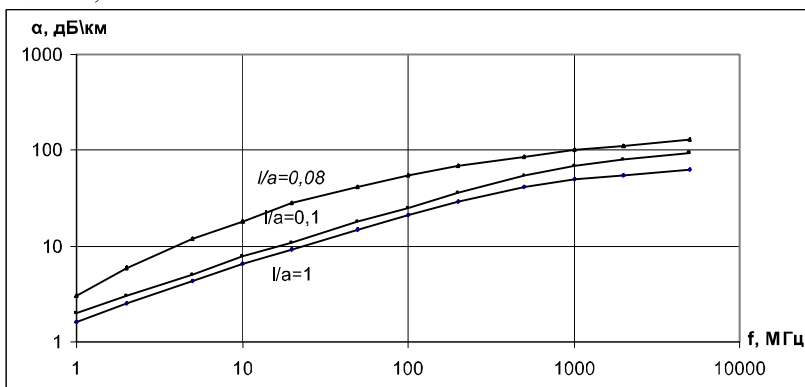


Рис.2 – Вплив віддалення кабелю від стінок циліндричного тунелю на послаблення біфілярного типу хвиль

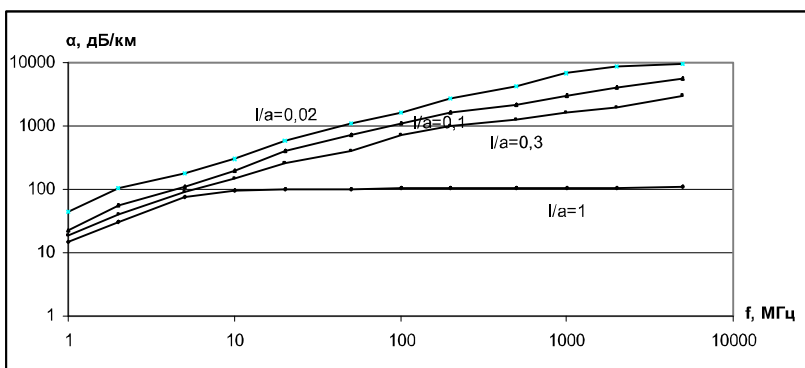


Рис.3 – Вплив віддалення кабелю від стінок циліндричного тунелю на послаблення монофілярного типу хвиль

На рис.3 наведені аналогічні графіки для монофілярного типу хвиль, з яких видно, що стінка тунелю починає впливати на послаблення біфілярного типу хвиль тільки при малих відстанях між кабелем та стінкою (кабель практично лежить на стінці). Вплив стінки на монофілярний тип хвилі сильніший на високих частотах діапазону. При зменшенні індуктивності зв'язку вплив стінки тунелю на α зменшується та при $L_1 < 5 \text{нГн/м}$ практично відсутній.

На рис.4 наведені графіки взаємного імпедансу z_v двох електричних антен, що розташовані поблизу коаксіального кабелю у шахті на відстані r один від одного. Взаємним імпедансом називається відношення напруги, що наводиться у прийомній антені, до струму у передаючій антені. Розподілення струму та напруги вздовж антен прийнято синусоїдальним.

Таблиця 2

Частотна залежність послаблення монофілярних радіохвиль

Частота, МГц	Послаблення хвиль, дБ/км			
	$l/a=1$	$l/a=0,3$	$l/a=0,1$	$l/a=0,02$
1	15	19	23	45
2	30	40	56	105
5	75	90	110	180
10	97	150	200	300
20	100	255	400	600
50	102	400	700	1100
100	103	700	1100	1600
200	104	1000	1600	2800
500	105	1300	2200	4300
1000	106	1600	3000	6900
2000	107	2000	4000	8600
5000	108	3000	5500	9700

Умови розміщення кабелю такі ж, як і для даних, що наведені на рис.2 та на рис.3 (за виключенням розташування кабелю відносно стінки тунелю).

З рисунку можна побачити, що для відстані між прийомною та передаючою антенами $r < 2 \text{км}$ оптимальні частоти зв'язку лежать у діапазоні 1-10 МГц, але і на більш високих частотах значення взаємного імпедансу може задовольняти.

Реальне значення сигналу у прийомній антені при переміщенні її вздовж кабелю в одній з шахт Франції [5] показано на рис.5.

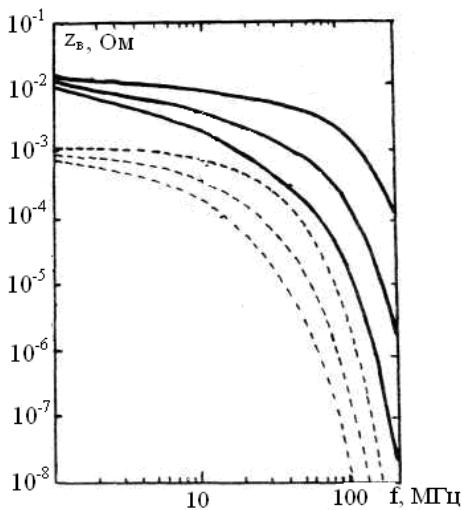


Рис.4 – Частотна залежність взаємного імпедансу двох електричних антен у системі зв'язку з безперервним доступом, (— $l/a=0,5$) та (--- $l/a=0$)

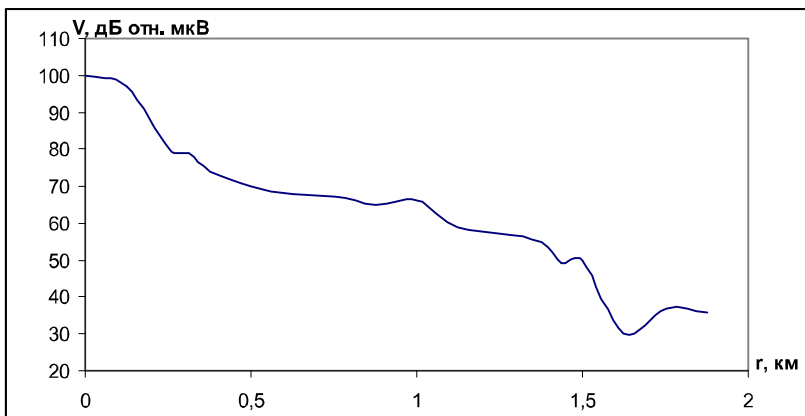


Рис.5 – Експериментальне значення напруги у прийомній антені при переміщенні її вздовж випромінювального кабелю

Робоча частота зв'язку 7 МГц, усереднене послаблення радіохвиль вздовж кабелю – 2,3 дБ/100м, індуктивність зв'язку кабелю 40 нГн/м, потужність передатчика, що навантажений на кабель, 1 Вт, прийомна антена – феритова довжиною 10 см, чутливість приймача 1 мкВ.

Виміри на більш високих частотах показали, що при переміщенні вздовж кабелю сигнал може змінюватися на декілька десятків децибел, що може бути обумовлено поганим узгодженням пристроїв, змінюванням орієнтації антен, впливом рельєфу стінки тунелю та іншими факторами.

Одним з основних представників бездротового технологічного зв'язку є комплекс «Талнах», що призначений для побудови кабельної мережі, що випромінює, та забезпечує функціонування системи радіозв'язку та автоматизованих систем дистанційного керування різноманітного призначення у підземній частині шахт, у тому числі небезпечних по газу та пилу.

Комплекс «Талнах» забезпечує [2]:

- роботу системи конвенційного радіозв'язку;
- роботу системи транкингового радіозв'язку стандарту MPT 1327 (із реалізацією усіх функцій, які підтримуються цим протоколом);
- роботу системи персонального радіо виклику;
- роботу систем аналогового та цифрового промислового телебачення;
- організацію високошвидкісних (до 4 Мбіт/с) каналів передачі даних від стаціонарних об'єктів;
- роботу системи табельного обліку та позиціонування персоналу та техніки;
- організацію дуплексних каналів передачі даних із швидкістю до 64 кбіт/с з інтерфейсом RS-485;
- збір телеметричної інформації о роботі лінійного обладнання комплексу.

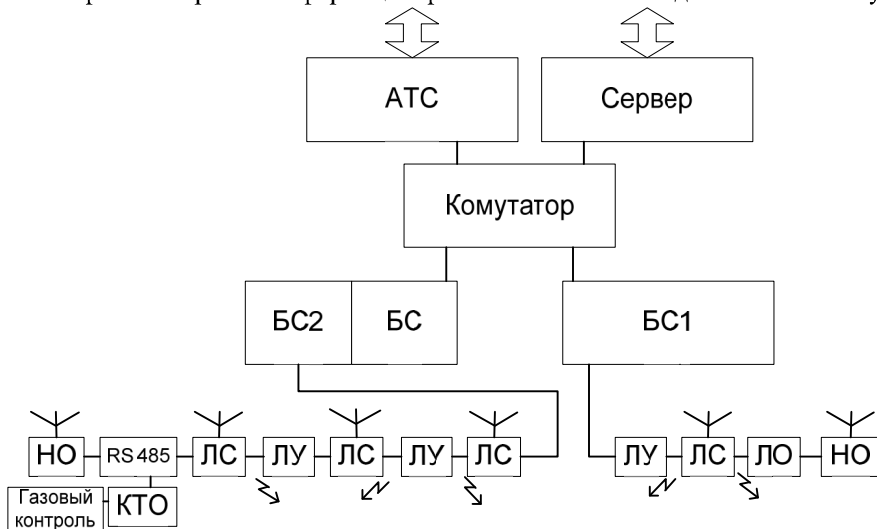


Рис.6 – Структурна схема комплексу «Талнах»

Устаткування комплексу «Талнах» забезпечує можливість розвитку та модернізації мереж підземного радіозв'язку, що побудовані з використанням устаткування системи підземного радіозв'язку MCA1000 виробництва Minecom Australia Pty. Ltd., Австралія, а також інші системи підземного радіозв'язку, що використовують частотний діапазон 40...185 МГц.

Недоліком комплексу є те, що потрібно використовувати спеціалізований коаксіальний кабель та, відповідно, дуже висока вартість устаткування, а також складність в обслуговуванні кабельної лінії зв'язку, використання спеціалізованих з'єднувальних та перехідних муфт, високі професійні вимоги до персоналу, що обслуговує комплекс [3].

Висновки: У статті розглянуті питання розповсюдження радіохвиль у підземних спорудах за допомогою випромінюючого кабелю. Розраховані та наведені основні характеристики розповсюдження, що залежать від різних частот роботи передавального обладнання. Доведено, що розповсюдження НВЧ радіохвиль на частотах близьких до 1 ГГц найбільш підходять для застосування у підземних спорудах. Наведено приклад реалізації технологічного зв'язку, що використовують випромінюючий кабель, зазначені його переваги та недоліки.

1. *Молоковський І.О.* «Дослідження телекомунікаційних систем для технологічного зв'язку в умовах вугільних шахт» - Магістерская квалификационная работа. – ДонНТУ, 2008. – 86с.:ил.
2. *Радиосвязь под землей/ [Электронный ресурс]: Радиосвязь под землей на излучающем кабеле для создания телекоммуникационных систем на шахтах, рудниках и спецобъектах – Электрон. дан. – Компания Информационная Индустрия, 2005. – Режим доступа: http://www.informind.ru/catalog/catalog_system_expo_4/ - Загл. с экрана.*
3. *Анализ современных средств связи в угольных шахтах и очистных забоях: Отчет о прохождении преддипломной практики на предприятии ОАО Автоматгорммаш им. В.А.Антипова / ДонНТУ; Руководитель В.В.Турупалов. – Донецк, 2008. – 10с.: ил.*
4. *Теоретические и экспериментальные исследования по проблемам радиосвязи в шахтах, туннелях и других подземных сооружениях / Под ред. Н.В.Авдеева. – М.: Экос, 1992. – 42с.*
5. *Slaughter R.J.* Radio Electron. Eng., V. 45, #5, 248, 1975
6. *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

Поступила 19.10.2011р.