

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 залізниць.

Розраховувалися та вимірювалися 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 поперековими 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_1 зовнішнього проводу кабелю. З'ясувавши експериментально або теоретично Z_1 та виривши межову задачу для багаточасового середовища – стінка тунелю, два діелектричних шари (атмосфера та ізоляція кабелю), зовнішній провідник із поверхневим імпедансом Z_1 , діелектричний шар, внутрішній провідник із поверхневим імпедансом Z_2 – можна чинським 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 двопровідної відкритої лінії, уздовж коаксіального кабелю з найменшим загасанням розповсюджуються два види коливань: між зовнішніми та внутрішніми провідниками – біфілярні типи хвиль (T_1), між зовнішнім провідником та стінкою тунелю – монофілярний тип.

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

$$L_c = \frac{\pi d^3}{15\pi D^2} \cdot \quad (1)$$

де π – число отворів на метр довжини кабелю;

D – діаметр екрану кабелю, мм.

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

$$Z_c = i \frac{2\pi f d^3 \cdot 10^{-9}}{15 D^2} \cdot \quad (2)$$

Проведені ВАТ «Автоматгірмаш» дослідження показали, що для діапазону частот 5 – 10 МГц оптимальним для шахтного зв'язку є кабелі 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 рисунку 2 наведена частотна залежність послаблення радіохвиль вздовж такого кабелю (біфілярний тип хвиль) при різних віддаленнях кабелю від стінки тунелю.

Таблиця 1. – Частотна залежність послаблення біфілярних радіохвиль

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

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 ізолятору та захисної оболонки відповідно дорівнюють 2,5 та 3; поверх захисної оболонки нанесено шар пилу із прокільною провідністю (добуток товщини на електричну провідність) тотожний 10^{-3} См.

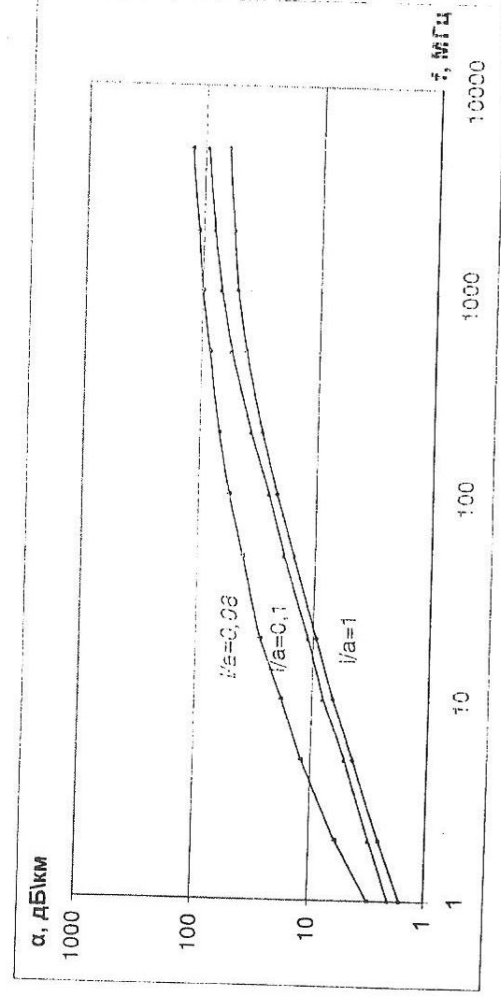


Рисунок 2. – Вплив віддалення кабелю від стінок циліндричного тунелю на послаблення біфілярного типу хвиль

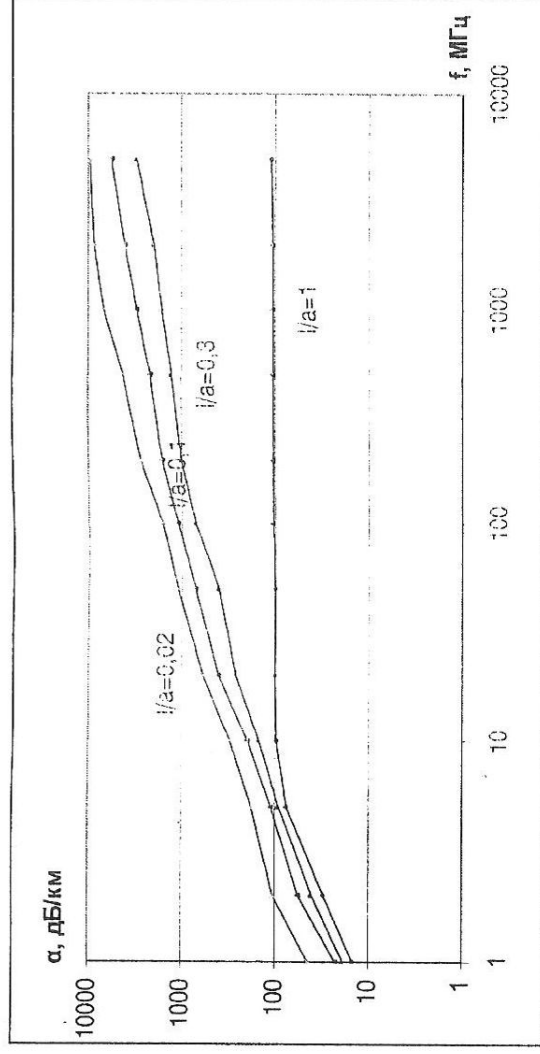


Рисунок 3. – Вплив віддалення кабелю від стінок циліндричного тунелю на послаблення монофілярного типу хвиль

На рисунку 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 хвиль сильніший на високих частотах діапазону. При зменшенні індуктивності зв'язку вплив стінки тунелю на α зменшується та при $L_4 < 5\pi R_1^2/\lambda$ практично відсутній.

На рисунку 4 наведені графіки взаємного імпедансу Z_0 двох електричних антен, що розташовані поблизу коаксіального кабелю у шахті на відстані l 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		
	$l/a=1$	$l/a=0,3$	$l/a=0,1$
1	15	19	23
2	30	40	56
5	75	90	110
10	97	150	200
20	100	255	400
50	102	400	700
100	103	700	1100
200	104	1000	1600
500	105	1300	2200
1000	106	1600	3000
2000	107	2000	4000
5000	108	3000	5500

Умови розміщення кабелю такі ж, як на рисунку 3 (за виключенням розташування кабелю відносно стінки тунелю).

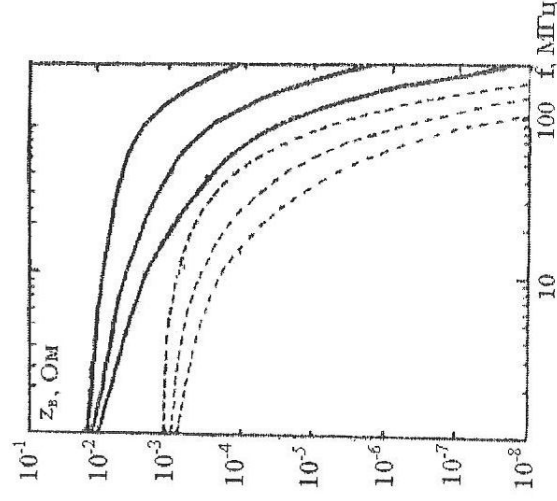


Рисунок 4. – Частотна залежність взаємного імпедансу двох електричних антен у системі зв'язку з безперервним доступом, (— $l/a=0,5$) та (--- $l/a=0$)

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 рисунку 5.

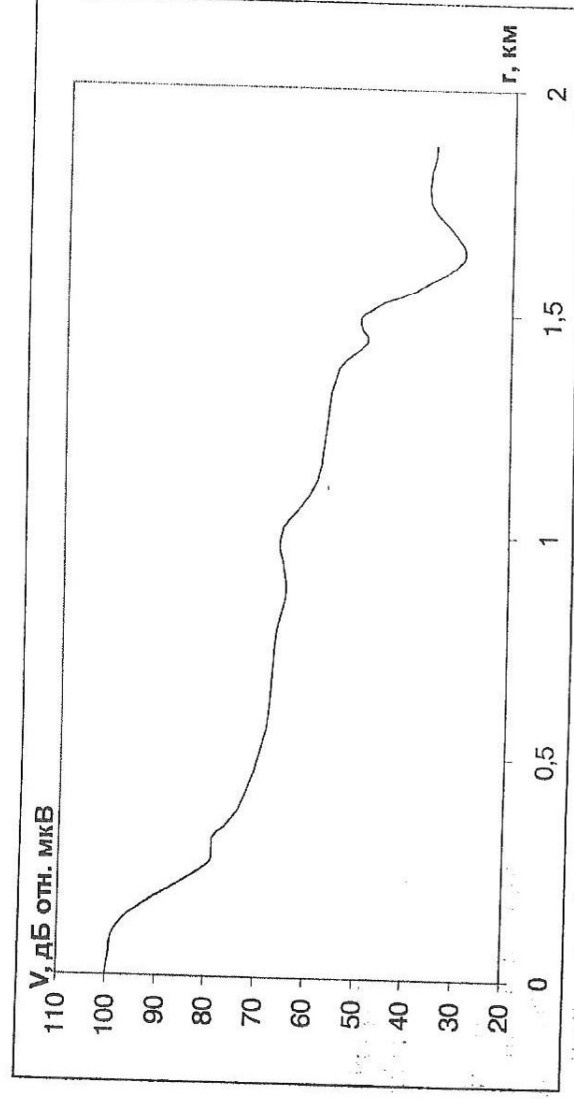


Рисунок 5. – Експериментальне значення напруги у прийомній антені при переміщенні її вздовж випромінювального кабелю

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 «Галнах», 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 «Галнах» забезпечує [2]:

- роботу системи конвенційного радіозв'язку;
- роботу системи транкингового радіозв'язку стандарту МРТ 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.

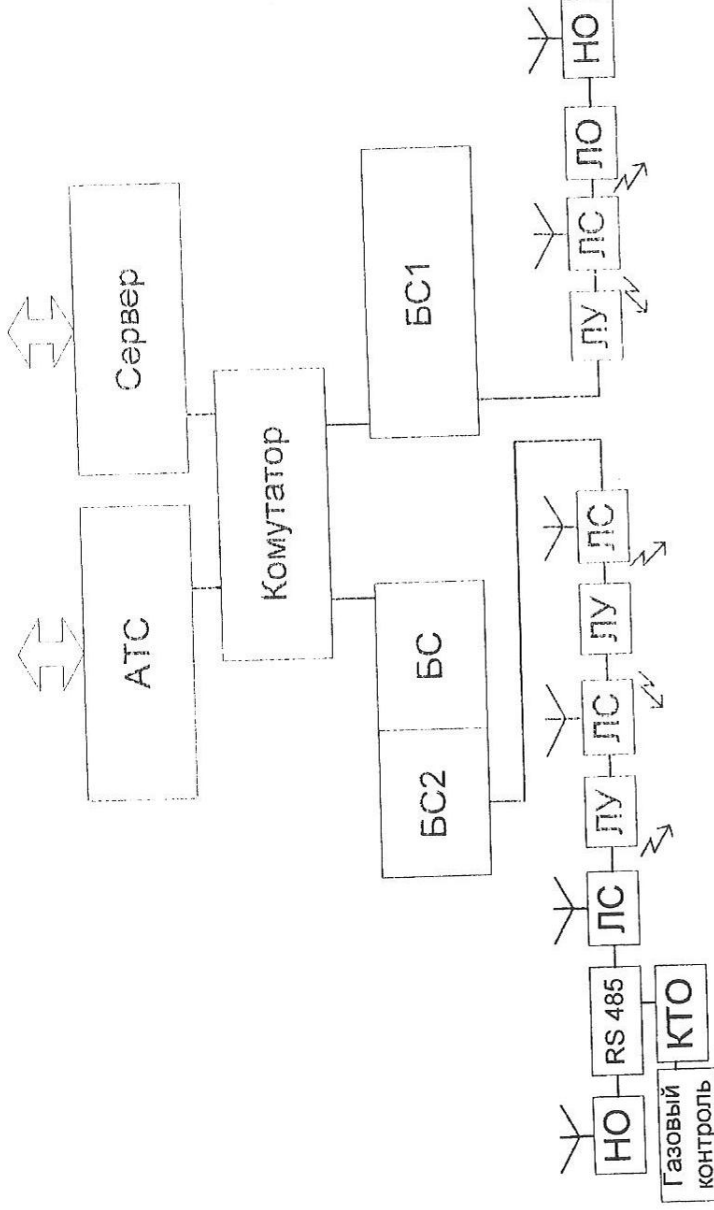


Рисунок 6. – Структурна схема комплексу «Галнах»

Устаткування комплексу «Талнах» забезпечує можливість розвитку та модернізації мереж підземного радіозв'язку, що побудовані з використанням устаткування системи підземного радіозв'язку MSA1000 виробництва Mipnesom 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 коаксимальний 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. Наведено приклад реалізації технологічного зв'язку, що використовує випромінюючий кабель, зазначені його переваги та недоліки.

Список літератури:

1. Молоковський І.О. «Дослідження телекомунікаційних систем для технологічного зв'язку в умовах вугільних шахт» - Магістерська кваліфікаційна робота. - 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_expro_4/ - Загл. с экрана.

3. Анализ современных средств связи в угольных шахтах и очистных забоях: Отчет о прохождении преддипломной практики на предприятии ОАО Автоматгормаш им. В.А.Антипова / ДонНТУ; Руководитель В.В.Гурупапов. - 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

Анотації:

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

Ключові слова: Частота - Випромінюючий кабель - ТАЛНАХ.

В статье рассмотрены вопросы распространения радиоволн в сложных подземных условиях угольных шахт, тоннелей метро. Рассмотрен пример реализации комплекса технологической связи «Талнах», определены его достоинства и недостатки.

Ключевые слова: Частота - Излучающий кабель - ТАЛНАХ.

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

Keywords: Frequency - Radiating Cable - Talnakh

УДК 681.51

МОЛОКОВСЬКИЙ І.О., (ДонНТУ);
 ТУРУПАЛОВ В.В., (ДонНТУ);
 ШЕБАНОВА Л.О. (ДонНТУ).

Застосування випромінюючого кабелю у технологічних мережах промислових підприємств

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 даного 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, конв'єрного 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 розновсюдження 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 майже не залежать від електричних властивостей стінок шахти;
- на характеристики приймального сигналу мало впливає транспорт, що рухається у шахті;
- змінюючи параметри кабелю можливо змінювати властивості системи