

УДК 681.51

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

## Аналіз технологій бездротового зв'язку у технологічних мережах промислових підприємств

### Актуальність питання

Зростання механізації виробничих процесів в шахтах частіше висувало на передній план проблему створення бездротового зв'язку між різними групами працюючих. З часом виявилися три основні пункти, на яких необхідно було поліпшити відомі засоби зв'язку:

1. Шахтні стовбури, в яких особливо необхідна передача повідомлень при оглядах і ремонтних роботах.
2. Головні штреки зі зв'язком між машиністами локомотивів і гірськими майстрами по відкочуванню.
3. Лава зі зв'язком між персоналом нагляду, робочими механічною і електромеханічною службою і рештою обслуговуючого персоналу очисного забою.

При цьому вважалося бажаним, щоб всі працівники, що виконують функції нагляду і контролю, у будь-який час могли зв'язатися один з одним і з центральним диспетчерським пунктом. Тому в якості засобу зв'язку можна використовувати бездротовий радіозв'язок, який не вимагає вживання додаткових установок при розширенні мережі підземних вироблень і яким може користуватися кожний працівник, що має приймач, незалежно від свого місцезнаходження. Проте умови розповсюдження електромагнітних хвиль в шахтах в порівнянні з поверхнею набагато менш сприятливі. Надійний радіозв'язок можливий в прямолінійних гірських виробленнях звичайно лише в межах видимості. Затухання і

відзеркалення радіохвиль кам'яним вугіллям, бічними породами і кріпленням сильно обмежують дальність дії радіозв'язку. Авторами вже розглядалися деякі питання розповсюдження радіохвиль у попередніх статтях [7,8]

### Постановка завдання

Бездротові локальні мережі все більше користуються популярністю. Протягом декількох років вони проходили процес стандартизації, підвищувалася швидкість передачі даних. Сьогодні бездротові мережі дозволяють надавати підключення там, де неможливе кабелне з'єднання або необхідна повна мобільність. При цьому бездротові мережі сумісні з кабельними мережами. Останні розробки в області бездротового зв'язку привели до появи на ринку пристроїв нової специфікації стандарту - IEEE 802.11g. Нове устаткування дозволяє передавати дані на швидкостях до 54 Мбіт/с і працює в діапазоні частот 2,4 ГГц - тому ж, що і пристрої стандарту IEEE 802.11b. Це дозволяє забезпечити сумісність із стандартом IEEE 802.11b і використати в нових мережах старе устаткування. Саме задля цього у статті розглянуте питання впровадження цих технологій у промислових телекомунікаційних мережах.

### Основна частина

Бездротові мережі дозволяють працювати і діставати доступ до потрібної інформації. Де б не знаходилась точка

доступу, абонентський комплект не прив'язаний до провідної комп'ютерної мережі. Робоча станція завжди в мережі, і не потрібно для цього підключати мережний шнур. Можна пересуватися по ділянці, де є покриття і постійно залишатися підключеним до мережі.

Всі бездротові мережі підтримують як режим інфраструктури (підключення через точку доступу), так і режим ad-hoc (настройка роботи без вживання точки доступу). Можна додавати нових користувачів у будь-який час і встановлювати нові вузли мережі в будь-якому місці і без використання мережних шнурів. Бездротові мережі також можуть бути встановлені там, де прокладка мережних кабелів ускладнена.

Робочі, що мають переносні абонентські комплекти, можуть додаватися без погіршення продуктивності мережі. Перевантаження мережі трафіком можна легко уникнути додаванням точки доступу для скорочення часу відгуку мережі.

Завдяки підтримці роумінгу між точками доступу, користувачі можуть продовжувати працювати з ресурсами мережі навіть під час переміщення по території, де є покриття бездротової мережі.

Безпека залишається суперечним питанням, коли дані передаються не по дротах. Дані, які передаються по повітрю, можуть бути перехоплені, якщо вони не захищені схемою забезпечення безпеки. Механізм шифрування даних ґрунтується на алгоритмі загального ключа, як це описується в стандарті на бездротові мережі.

Бездротові мережі повинні строго відповідати стандартам. Це гарантує, що ви можете взаємодіяти з іншими бездротовими пристроями. Далі розглянемо основні бездротові технології.

Технологія Bluetooth. Основна ідея технології - надання можливості легкого і зручного бездротового з'єднання між собою різних пристроїв на малих відстанях.

Протокол Bluetooth підтримує як з'єднання типу точка-точка, так і точкові точки. Два або більш пристроїв, які використовують один і той же канал, утворюють пікомережу (piconet), при цьому один з пристроїв працює як основний (Master), а інші - як підлеглі (Slave). В одній пікомережі може бути до семи активних підлеглих пристроїв, при цьому решта підлеглих пристроїв знаходиться у стані "паркування", залишаючись синхронізованими з основним пристроєм.

Технологія використовує невеликі приймачі-передавачі малого радіусу дії, що працюють на неліцензійованій в більшості країн частоті 2.45 ГГц і використовують метод розширення спектру FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum - стрибкоподібна перебудова частоти, 1600 стрибків/сек., пакетна передача з тимчасовим мультиплексуванням, 79 робочих каналів). Радіоканал забезпечує швидкість 721 Кбіт/с. Залежно від потужності передавача, пристрої Bluetooth діляться на три класи:

Клас 1 - до 100 мВт (максимальна дальність на відкритому просторі до 100 м);

Клас 2 - до 2,5 мВт (максимальна дальність на відкритому просторі до 15 м);

Клас 3 - до 1 мВт (максимальна дальність на відкритому просторі до 5 м).

Для визначення моделі поведінки при встановленні з'єднання між різними типами пристроїв вводиться поняття "профіль". Термін "профіль" означає набір функцій і можливостей, які використовує Bluetooth як механізм транспортування. Спеціальна робоча група Bluetooth SIG визначає декілька стандартних профілів, серед них:

- Generic Access Profile (Профіль загального доступу) - основний профіль Bluetooth, що відповідає за підтримку зв'язку між пристроями, виявлення інших доступних профілів, а також за безпеку;

- Service Discover Application Profile (Профіль додатку виявлення послуг) - дає можливість визначати, які послуги

Bluetooth доступні при роботі з даним пристроєм:

- Serial Port Profile (Профіль послідовного порту) - дозволяє пристрою Bluetooth емулювати послідовний порт ПК і використовується багатьма профілями більш високого рівня;
- Generic Object Exchange Profile (Профіль загального обміну об'єктами) - дозволяє додаткам обмінюватися даними безпосередньо, без використання IP;
- Object Push Profile (Профіль приміщення об'єкту в стек) - управляє обміном електронним контентом у форматі vCard, vCalendar, vNote і vMessage;
- Headset Profile (Профіль гарнітури) - забезпечує бездротове з'єднання пристрою з гарнітурою, оснащеною динаміком і мікрофоном.

Готові модулі і пристрої Bluetooth залежно від призначення можуть підтримувати все, або тільки частина стандартних профілів.

- Основні переваги технології:
  - простага використання готових модулів;
  - малі розміри;

- безпека передачі інформації (аутентифікація, кодування);
- високий рівень стандартизації. Основні недоліки технології:
  - неможливість побудови мереж складної топології;
  - більше (в порівнянні з мережами ZigBee) енергоспоживання [11].

Технологія Wi-Fi, або RadioEthernet IEEE 802.11, - це перший промисловий стандарт для організації бездротових локальних мереж (Wireless Local Area Networks - WLAN) на обмеженій території, тобто коли декілька абонентів мають рівноправний доступ до загального каналу передачі даних. Стандарт був розроблений Інженерним інститутом електротехніки і радіоелектроніки (Institute Electrical and Electronics Engineers - IEEE) і може порівнюватися із стандартом 802.3 для звичних дротяних Ethernet мереж.

У даний час існує безліч версій цього стандарту - IEEE 802.11(a), (b), (g), на практиці найбільш часто використовуються всього три, визначених як 802.11b, 802.11g і 802.11a.

Таблиця 1

Порівняння стандартів Wi-Fi

Стандарт	802.11b	802.11g	802.11a
Показники			
Кількість використовуваних каналів	3	3	8
Частотний діапазон, ГГц	2,4	2,4	5
Максимальна швидкість даних, Мбит/с	11	54	54

Основні переваги технології:

- простага використання готових модулів;
  - легкість інтеграції з існуючими дротяними мережами (LAN);
  - висока швидкість передачі інформації;
  - безпека передачі інформації (64/128-бітне шифрування).
- Основні недоліки технології:

- більш висока (в порівнянні іншими бездротовими мережами) ціна і устаткування;
- більше (в порівнянні з іншими бездротовими мережами) енергоспоживання
- обмежений радіус дії. Технологія ZigBee. Стандарт бездротового зв'язку ZigBee призначений для використання в системах збору даних і управління. Його основні девізи - ма

енергоспоживання, надійність передачі даних, захист інформації, сумісність пристроїв різних виробників.

Мережі ZigBee називають мережами, що самоутворюються і самовідновлюються, оскільки ZigBee-пристрої при включенні живлення завдяки вбудованому програмному забезпеченню вміють самі знаходити один одного і формувати мережу, а у разі виходу з ладу якогось вузла вміють встановлювати нові маршрути для передачі повідомлень. Таким чином, технологія ZigBee може бути використана як для реалізації простих з'єднань "точка-точка" і "зірка", так і для утворення складних мереж з топологіями "дерево" і "комірчаста мережа".

Швидкість передачі даних разом із службовою інформацією в мережах ZigBee складає 250 кбіт/с.

Технологія ZigBee має частотні канали в діапазонах 868МГц, 915МГц і 2,4 ГГц. Найбільш швидкості передачі даних і щонайвища перешкодостійкість досягаються в діапазоні 2,4ГГц, тому більшість виробників мікросхем випускає приймачі-передатчі саме для цього діапазону, в якому передбачено 16 частотних каналів з кроком 5 МГц.

Радіус обхвату пристроїв ZigBee залежить від дуже багатьох параметрів, але в першу чергу - від чутливості приймача і потужності передавача. На відкритому просторі відстань між вузлами в мережі ZigBee вимірюється сотнями метрів, а в приміщенні - десятками метрів. При цьому слід пам'ятати, що зона покриття ZigBee значно ширше, ніж відстань між вузлами, оскільки за рахунок ретрансляції повідомлень здійснюється нарощування мережі.

Для створення ZigBee-мережі можливо використувати два різні підходи. Якнайменша собівартість кінцевого виробу досягається при розробці проекту на базі мікросхем-приймачів-передатчів. При цьому компанії виробники мікросхем надають розробникам різні варіанти

бібліотек для реалізації протоколів ZigBee. З другого боку використовування готових ZigBee-модемів дозволяє виконати розробку в дуже короткі терміни, оскільки при цьому не вимагається витрачати час на розробку височастотних ланцюгів і значно спрощується розробка програмного забезпечення.

Технологія NanoNET базується на використуванні лінійно-частотної модуляції (Chirp Spread Spectrum), як методу, перевреного самою природою. Дельфіни і кажани користуються лінійно-частотними імпульсами для визначення свого місцезоположення.

Приймачі-передатчі компанії Nانوtron діапазону 2.4 ГГц призначені для бездротової передачі даних в системах моніторингу і управління, домашньої автоматизації, охоронних системах, - скрізь, де продуктивності ZigBee і Bluetooth стає не достатньо, а пристрої Wi-Fi не можуть застосовуватися через високе енергоспоживання [9].

Основними особливостями прийомопередатчиків Nانوtron є можливість передавати дані на достатньо високих швидкостях (до 2 Мбіт/с) і більш висока перешкодостійкість в порівнянні з іншими технологіями діапазону 2,4 ГГц. Дальність передачі на відкритому просторі складає сотні метрів. Також ця компанія запропонувала приймачі-передатчі Nانوtron nanoLOC TRX, які додатково володіють функцією визначення місцезоположення. Об'єднання в одному кристалі функцій бездротової передачі даних і визначення місцезоположення відкриває нові можливості для систем радіочастотної ідентифікації і збору даних.

Лінійно-частотна модуляція (Chirp Spread Spectrum), що використовується приймачами-передатчами Nانوtron, є одним з методів розширення спектру і дозволяє підвищити перешкодостійкість за рахунок того, що потужність сигналу "розмивається" по спектру, і при дії перешкод фіксованої частоти вірачається

тільки частина сигналу, який передається, так що двійкова інформація може бути потім відновлена в приймачі.

Лінійно-частотні імпульси, що використовуються приймачами-передавачами NanoPiop для передачі двійкових даних, мають фіксовану тривалість і лінійно нарастаючу або спадаючу несучу частоту. Ширина частотного каналу, що використовується, при цьому складає 64 МГц і значно перевищує ширину частотних каналів таких технологій як ZigBee і Bluetooth, які також використовуються для бездротової передачі в даному діапазоні. Це дає можливість приймачам-передавачам NanoPiop працювати на більш високих швидкостях і з більш високим ступенем надійності передавати дані в умовах складної перешкоджувальної обстановки.

У порівнянні з технологією Wi-Fi, яка також має широку смугу частотного каналу, приймачі-передавачі NanoPiop мають краще співвідношення "дальність передавання / швидкість передавання / енергоспоживання" завдяки тому, що первинна обробка лінійно-частотного імпульсу виконується аналоговим способом. Таким чином, приймачі-передавачі NanoPiop можуть використовуватися у переносних пристроях, що працюють від батарей.

Формування ЛЧМ-сигналу, що передається і приймається, та обробка здійснюються за допомогою дисперсійної лінії затримки, виконаної на базі ПАВ-фільтра. Ефективна ширина спектру сигналу, що передається, складає 64 МГц, що дає можливість одержати високі швидкості передачі при фіксованому рівні помилок. З другого боку, така ширина спектру не дозволяє використовувати більше двох мереж в одному приміщенні.

Основними особливостями приймачів-передавачів NanoNET TRX є швидкість передачі до 2 Мбіт/с, радіус дії до 900 метрів на відкритому просторі і вбудованого MAC-контролера з підтримкою різних методів доступу до

середовища передачі. Потужність передавача може змінюватися в межах від 1 мкВт до 6.3 мВт.

Для створення мережних додатків на базі приймача-передавача nanoNET TRX компанія NanoPiop пропонує використовувати один з двох пакетів програмного забезпечення залежно від складності бездротового з'єднання: "Driver software" або "Portable Protocol Stack (PPS)". Обидва пакети надаються в початкових кодах на мові Сі. Пакет "Driver software" забезпечує управління режимами роботи приймача-передавача і містить функції для прийому і передачі повідомлень. Пакет PPS дозволяє реалізувати складні мережні топології. Конфігурація протоколу задається відповідно до вимог додатку.

На базі приймача-передавача nanoNET TRX і пакету PPS можуть бути реалізовані різні мережні топології з підтримкою прямого і випадкового доступу до середовища передачі. Прямий доступ може бути реалізований за схемою з тимчасовим розділенням (TDMA), або за схемою "майстер - відомий". Випадковий доступ - по методу множинного доступу з виявленням несучої і запобіганням колізій (CSMA/CA). Виявлення несучої в останньому випадку може бути реалізовано апаратними засобами приймача-передавача і програмними в PPS. Мережа може бути простою, або такою що складається з декількох підмереж, що дозволяє збільшити загальний радіус дії всієї мережі.

Інститут інженерів електротехніки і електроніки IEEE 28 березня 2007 затвердив новий стандарт для фізичного рівня бездротової передачі даних IEEE 802.15.4a для систем з підвищеним рівнем перешкод. Технологія CSS компанії NanoPiop вибрана в цій специфікації як базова.

**Висновки**

При розгляді сучасних бездротових технологій була обрана технологія під назвою Nanonet. Це нова технологія. Її було вибрано так як у неї робоча частота дорівнює 2,4 ГГц, швидкість передачі інформації на відкритому просторі складає 2 Мбіт/с та максимальний радіус дії 900 метрів. Також потужність передавача може скласти 1 мкВт, що дуже важливо при використанні в умовах небезпечних по викиду газу та пилу. У цю технологію закладений принцип лінійно-частотної модуляції, що забезпечує краще співвідношення «дальність передачі / швидкість передачі / енергоспоживання».

**Список літератури**

1. Молоковський І.О. «Дослідження телекомунікаційних систем для технологічного зв'язку в умовах вугільних шахт» - Магистерская кваліфікаційна 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\\_expro\\_4/](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. Турупалов. – Донецк, 2008. – 10с.: ил.
4. Теоретические и экспериментальные исследования по проблемам радиосвязи в шахтах, туннелях и других под-

земных 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. Федон, 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

7. «Застосування випромінюючого кабелю у технологічних мережах промислових підприємств» Молоковський І.О., Турупалов В.В., Шебанова Л.О. Збірник наукових праць ДонІЗТ. 2011 № 27 с.50-56

8. «Повышение надежности технологических сетей связи» Турупалов В.В., Молоковский И.А. VII Международная научно-техническая конференция «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології» Збірник тез. К.: ДУКТ, 2011 с.152-154.

9. Nanotron: Технологія NanoNET// [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://efo.ru/cgi-bin/go?2490>, вільний. – Назва з екрану.

**Анотації:**

У статті розглянуті питання вибору бездротових технологій для розповсюдження радіохвиль у складних умовах підземних виробок промислових підприємств.

В статті рассмотрены вопросы выбора беспроводных технологий для распространения в сложных условиях подземных выработок промышленных предприятий.

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