

УДК 621.396.67

**М.Б. Гумен**, канд. техн. наук

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

**Т.Ф. Гумен**, старш. викладач

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна

**ПЕРЕДАЧА ДАНИХ У ТЕЛЕМЕТРИЧНИХ СИСТЕМАХ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ  
ТЕХНОЛОГІЇ MESH LITE****Н.Б. Гумен**, канд. техн. наук

Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина

**Т.Ф. Гумен**, ст. преподаватель

Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический университет", г. Киев, Украина

**ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ В ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ MESH LITE****Mykola Humen**, PhD in Technical Sciences

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

**Tamara Humen**, senior teacher

National Technical University of Ukraine "Kyiv Politechnical Institute", Kyiv, Ukraine

**DATA TRANSMISSION IN TELEMETRY SYSTEMS USING MESH LITE  
TECHNOLOGY**

*Здійснено порівняльний аналіз бездротових технологій, що застосовуються в телеметрії. Запропоновано використовувати разом з технологією Mesh Lite частотний метод стрибків для зменшення впливу селективних завад. Доведено ефективність методу на моделі передавально-приймального тракту мережі Mesh Lite, розробленої у програмному середовищі MatLab Simulink 7.0.1.*

**Ключові слова:** телеметрична система, бездротова мережна технологія, координатор, маршрутизація, селективна завада, частотний метод стрибків.

*Выполнен сравнительный анализ беспроводных технологий, применяемых в телеметрии. Для уменьшения влияния селективных помех вместе с технологией Mesh Lite предложено использовать частотный метод прыжков. Эффективность метода доказана на модели передаточно-приемного тракта сети Mesh Lite, разработанной в программной среде MatLab Simulink 7.0.1.*

**Ключевые слова:** телеметрическая система, беспроводная сетевая технология, координатор, маршрутизация, селективная помеха, частотный метод прыжков.

*A comparative analysis of wireless technologies used in telemetry. To reduce the influence of selective interference with the technology Mesh Lite proposed to use frequency hopping method. Effectiveness of the method is proved on the model transfer and the receiving path network Mesh Lite, developed by the software environment MatLab Simulink 7.0.1.*

**Key words:** telemetry system, wireless network technology, coordinator, routing, selective interference, frequency hopping method.

**Постановка проблеми.** Засоби телеметрії є потужним інструментом пізнання світу. Телеметрія широко застосовується в сільському господарстві, системах водопостачання і водовідведення, медицині, оборонній промисловості і космосі, розвідці, авто- і мотоспорті, супутниковому моніторингу, енергетиці, системах безпеки тощо.

Однією з головних проблем, яка виникає при проектуванні телеметричних систем, є вибір технології передачі даних. У сучасних системах збору й обробки інформації бездротові елементи займають важливе місце. Це пов'язано як з їх меншою вартістю в порівнянні з кабельними системами, так і з простотою побудови таких систем на сучасній елементній базі.

На сигнал, що передається по радіоінтерфейсу між модулями бездротової мережі, впливають різні зовнішні завади. Особливо небезпечними є селективні завади, потужність яких може змінюватися у широкому діапазоні. Тому актуальною є проблема застосування в телеметричних системах технологій передачі даних, що забезпечують високі показники їхньої якості та завадостійкості.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Як середовище передачі даних у телеметрії використовуються як бездротові (GSM/GPRS, ZigBee, WiFi, WiMax, LTE), так і дротові (телефонні, ISDN, xDSL, комп'ютерні) мережі (табл.) [1]. Ключовими чинни-

ками, що визначають вибір технології передачі інформації, є відстань, на яку передаються дані, швидкість передачі, сумісність з наявними стандартами, кількість пристроїв у мережі.

Таблиця

*Порівняння основних характеристик бездротових технологій*

Характеристики	GSM	ZigBee	Bluetooth	Wi-Fi	Wi-Max	Mesh Lite
Діапазон частот	850/900/1800/1900 МГц	2,4 ГГц 868 МГц 915 МГц	2,4 ГГц	2,4/5,8 ГГц	2–11 ГГц	868 МГц
Швидкість передачі даних	14,4–36,6 кбіт/с	250 кбіт/с	до 723 кбіт/с	11–54 Мбіт/с	2 Мбіт/сек	9,6–38,4 кбіт/с
Типові відстані (зона дії)	Зона покриття GSM	30–70 м	10–100 м	50 м	5–8 км	500–4000 м
Структура мережі	Точка-точка	Точка-точка, зірка	Точка-точка, зірка (до 8 пристроїв)	Зірка	Зірка	Зірка, Back Bone
Складність впровадження	Низька	Середня-висока	Низька-середня	Висока	Дуже висока	Низька
Сумісність	Обладнання GSM	Обладнання ZigBee з тим же профілем	Обладнання Bluetooth з тим же профілем	Обладнання стандарту 802.11.g (b)	Обладнання стандарту 802.16	Обладнання виробника Telit RF

У багатьох практичних застосуваннях підвести дротові лінії зв'язку до об'єкта спостереження або надзвичайно складно, або неможливо фізично. У промислових телеметричних системах знаходять застосування практично всі стандарти бездротової передачі даних. Системи бездротової передачі даних характеризуються простотою інсталяції і високою надійністю. Так, телеметричні GSM/GPS-модеми дають змогу не тільки відстежувати переміщення певних об'єктів, але й отримувати в реальному часі дані про поточний стан його параметрів: температуру, рівень заряду акумуляторів, вологість, тиск, випромінювання тощо. Сучасні GSM-модеми мають розширений набір інтерфейсів, що дає змогу стикувати їх із великою кількістю промислового устаткування. Вони використовуються для отримання інформації про роботу заправних станцій, газорозподільних установок, стан систем живлення базових станцій стільникових операторів тощо.

Технологія Bluetooth широко застосовується як заміник кабельного з'єднання RS-232. Простота впровадження, висока завадостійкість каналу зв'язку і велика швидкість передачі даних роблять Bluetooth-рішення дуже привабливими для отримання телеметричної інформації від промислового устаткування.

Технологія ZigBee чудово підходить для збору інформації з сотень датчиків. ZigBee-трансивери Texas Instruments використовуються національними виробниками для побудови систем промислової автоматики. На базі ZigBee-модулів XBee компанії Maxstream у США реалізована система контролю рівня води у високогірних озерах.

За потреби передавати великі об'єми даних, наприклад відеоінформацію, у системах телеметрії можуть застосовуватися технології Wi-Fi і Wi-Max.

У випадках, коли потрібно передавати телеметричну інформацію між двома точками на відстань 10...100 метрів ідеально підходять мікросхеми трансиверів, що функціонують у безліцензійних (ISM – Industrial, Scientific, Medical – промислові, наукові, медичні) радіочастотних діапазонах 433, 868 і 2400 МГц. Ці частоти можуть використовуватися без оформлення відповідного дозволу за умови дотримання вимог

до ширини смуги пропускання, випромінюваної потужності (до 10 мВт для діапазону 434 МГц і до 25 мВт для діапазону 868 МГц) і призначення готового виробу.

Технологія Mesh Lite застосовується в системах контролю руху пасажирського транспорту, для управління джерелами вуличного освітлення та світлофорами, радіаційного контролю, в системах реєстрації аварійних параметрів, автоматичного регулювання, в медичному, біологічному моніторингу тощо.

Ця технологія має топологію на зразок «кластерне дерево» (Cluster Tree) з можливістю використання окремих вузлів мережі як ретранслятори повідомлень з метою збільшення зони покриття мережі. До переваг технології Mesh Lite відносять також низьке енергоспоживання всіх пристроїв мережі, невелику вартість, автоматичне налаштування і відновлення, можливість дистанційного керування кожним вузлом.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Основна ідея мережі Mesh Lite була запозичена з протоколу мереж ZigBee з урахуванням особливостей роботи в діапазоні 868 МГц. Радіохвилі цього діапазону добре проникають крізь бетонні конструкції. Менше загасають, проходячи через цегляну кладку, на відміну від радіохвиль 2,4 ГГц (Wi-Fi). Невелика довжина хвилі (35 см) дає змогу використовувати компактні спрямовані антени з великим коефіцієнтом підсилення. Стаціонарні мережі, зорієнтовані на частоту 868 МГц, мають перевагу за дальністю передачі і швидкістю обміну інформацією [1].

У приймачах та передавачах для частот 434 МГц і 868 МГц реалізована амплітудна і частотна модуляції, швидкість передачі інформації – 1...10 кбіт/с, у деяких типів прийомо-передавачів вона досягає 100 кбіт/с. Для кодування інформації, переважно, використовують Манчестерський або Бі-фазний коди. Випромінювана потужність і чутливість можуть задаватися програмно або апаратно. Для зниження енергоспоживання передбачені спеціальні режими роботи. Тому використання цих радіочастот для організації простих з'єднань типу "точка-точка" або "зірка" з невеликими швидкостями обміну може бути гарною альтернативою бездротових технологій діапазону 2,4 ГГц. Однак потрібно пам'ятати, що класична область застосування діапазонів ISM 433 і 868 МГц – це системи автоматизації й управління побутовими та промисловими приладами всередині будівель, контролю та управління віддаленими параметрами і виробничими процесами, радіокеровані іграшки, системи охоронної сигналізації та безпеки. Всі ці системи поєднує одне – досить обмежений радіус дії, менша в порівнянні з діапазоном 2,4 ГГц швидкість передачі інформації, відсутність розроблених стандартних протоколів зв'язку і засобів захисту переданої інформації, в міських умовах – висока завантаженість діапазонів.

Використання виносних високоефективних антен із великим підсиленням, а також ретрансляторів відкриває нові горизонти використання цих радіочастотних ресурсів. Так, наприклад, модулі, розроблені французькою компанією Telit RF, дають змогу організувати мережі збору даних або керування з радіусом дії вузлів до 1,5 км. Однією з технологій для побудови такої мережі є Mesh Lite.

На сигнал, що передається по радіоінтерфейсу між модулями бездротової мережі, діють як широкосмугові завади, які рівномірно впливають на різні частотні канали, так і вузькосмугові, вплив яких поширюється на деякі з них. Останні завади називаються частотно-селективними. Вони можуть бути безперервними в часі або мати перервний характер, дрейфувати і мати змінну потужність у широкому діапазоні. Це може спричинити істотне погіршення якості радіоз'єднання або повне роз'єднання [5].

Один із способів боротьби з частотно-селективними завадами – збільшення потужності сигналу. Проте подібний метод є енергетично неефективним за великих потужностей завад. Іншим методом є розширення спектра прямою послідовністю (DSSS –

Direct-sequence spread spectrum). Для розширення спектра в системі DSSS вузькосмуговий сигнал множиться на високошвидкісну псевдовипадкову числову послідовність (ПЧП) імпульсів. Ступінь розширення спектра визначається відношенням частоти слідування імпульсів (частоти дискретизації) до частоти вузькосмугового сигналу. Виділення різних кодів ПЧП дає змогу розділяти користувачів у тому ж самому частотному діапазоні. Такий спосіб розділення каналів, як відомо, отримав назву множинного доступу з кодовим розділенням (Code-division multiple access – CDMA).

У стільниковому зв'язку більшого поширення здобув метод розширення спектра стрибками по частотам (FHSS – Frequency Hopping spread spectrum). За цим методом смуга частот  $\Delta f_c$  ділиться на  $q = \Delta f_c / \Delta f_k$  (обов'язково, щоб  $q \leq 79$ ) частотних каналів, кожний шириною  $\Delta f_k$ . Швидкість передачі символів у смузі  $\Delta f_k$  значно більше за швидкість стрибків із каналу на канал. Передача пакета даних здійснюється на одній частоті, тривалість передачі на якій  $\tau_0 = 1/M$ , де  $M$  – кількість стрибків частоти за секунду. Для модуляції носійної використовується гауссівська частотна модуляція (GFSK).

Для кожної абонентської станції виділяються свої, відмінні від інших, послідовності зміни частот. Головне, щоб зміна частотного каналу відбувалася синхронно, інакше можлива втрата якості або розрив з'єднання. Очевидно, що канали, які беруть участь у стрибках по частотам, не повинні бути задіяні на тому самому або сусідніх радіомодулях. Крім того, чим більша кількість каналів і чим більше вони рознесені один від одного, тим менша ймовірність виникнення частотно-селективних завад на інших каналах.

Таким чином, у результаті включення зазначеної процедури, якщо на якому-небудь каналі виникнуть завади, то їх дія буде розподілена між всіма встановленими з'єднаннями, що призводить до зменшення кількості помилок у кожному із з'єднань.

Стрибки між каналами можуть відбуватися послідовно від каналу до каналу й однаково від циклу до циклу або випадково між каналами зі зміною порядку від циклу до циклу. Останній варіант є кращим, оскільки вважається, що він ефективніше розподіляє заваду і виключає випадок, коли завада діє періодично і може впливати на той самий канал.

Метод стрибків по частотах знайшов широке застосування і в системах Wireless Local Loop, в яких деякі ділянки дротової лінії зв'язку замінюються бездротовими, а також при створенні персональних мереж (WPAN). Це пов'язано з простотою практичної реалізації такого устаткування та з порівняно дешевим його виробництвом.

Технологія FHSS реалізована в модернізованій широкосмуговій версії популярного стандарту DECT ISM для діапазону частот 2400...2483,5 МГц. При цьому носійні частоти звичайного (базового) DECT постійно змінюються в межах діапазону ISM. Динамічний вибір каналу здійснюється між послідовностями частот так само, як і у звичайному DECT при виборі каналу між носійними частотами. Стандартом DECT ISM встановлений псевдовипадковий закон зміни частот. Всього встановлено десять наборів стрибків з номерами  $m = 0, 1, \dots, 9$ . Послідовність стрибків у кожному наборі визначена у специфікації стандарту. Теоретично, використовуючи DECT ISM, можна через радіоінтерфейс забезпечити сумарну швидкість передачі інформації 9...11 Мбіт/с.

Враховуючи особливості методу стрибків по частотах, доцільно встановити, наскільки ефективним є застосування цього методу в протидії частотно-селективним завадам під час використання технології Mesh Lite для передачі даних у телеметричних системах.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є обґрунтування доцільності використання технології Mesh Lite як середовища передачі інформації в телеметричних системах та ефективності застосування методу стрибків по частотах для підвищення стійкості цієї технології до селективних завад.

**Виклад основного матеріалу.** Технологія Mesh Lite є оригінальною розробкою французької фірми Telit RF і підтримується її радіомодемами та радіомодулями [2]. Всі радіомодулі і радіомодеми Telit RF містять вбудоване програмне забезпечення, відрізняються частотним діапазоном, потужністю передачі і конструктивним виконанням, що дає змогу швидко адаптувати їх для вирішення завдань телеметрії.

Особливий інтерес для телеметрії представляють модулі сімейства Tiny One Pro і Tiny One Plus [4]. Для розгортання мережі Mesh Lite необхідно як мінімум два прийомо-передавальні пристрої на основі радіомодулів сімейств Tiny One Pro або Tiny One Plus, один з яких повинен бути сервером телеметрії. Конфігурування всіх вузлів мережі Mesh Lite здійснюється програмою Mesh Manager PC tools. Топологія Mesh Lite максимально ефективно використовує виділену смугу частот, поєднуючи прийнятну швидкість передачі даних і надійність функціонування мережі.

*Структура мережі.* Мережа Mesh Lite включає три типи пристроїв (рис. 1):

– координатор або майстер мережі – пристрій найвищого рівня мережевої топології, який може обмінюватися даними тільки з пристроями, що знаходяться в його безпосередньому підпорядкуванні та керує роботою мережі загалом;

– маршрутизатор – пристрій, який є посередником між пристроями більш високого і низького рівнів; може виконувати функції ретранслятора, бути кінцевим одержувачем даних, підпорядковуватися безпосередньо координатору або іншому маршрутизатору;

– кінцевий пристрій є найнижчим рівнем мережевої топології Mesh Lite, джерелом або одержувачем даних; забезпечує можливість взаємодії тільки з маршрутизатором.

Кожен пристрій мережі Mesh Lite має унікальну MAC-адресу з ієрархічною структурою, що дає змогу розрізнити пристрої різних рівнів.

Найбільш вразливою ланкою мережі Mesh Lite є координатор. У разі його виходу з ладу працездатність мережі порушується. Відмова пристрою будь-якого іншого рівня не є критичною. Якщо вийшов із ладу один із маршрутизаторів, сусідні з ним пристрої автоматично знаходять інший вузол, здатний взяти на себе його функції. Такий вибір здійснюється, по-перше, за рівнем сигналу RSSI (Received Signal Strength Indication – індикація рівня сигналу) і, по-друге, за кількістю вільних MAC-адрес. Перевагу буде надано вузлу з найбільшим рівнем RSSI і достатньою кількістю вільних MAC-адрес.

Найпоширенішими видами топології мережі Mesh Lite є «зірка» та Backbone. У «зірці» відсутні маршрутизатори, а кожний кінцевий пристрій безпосередньо з'єднується з координатором [3]. У топології Backbone до одного координатора послідовно підключені маршрутизатори, кожен з яких керує своїм набором кінцевих пристроїв.

Мікропрограмне забезпечення Mesh Lite від компанії Telit RF забезпечує високу економічність і керування енергозбереженням. Із цією метою реалізовані два варіанти функціонування мережі. У першому координатор мережі постійно активний. Він контролює мережу і здійснює обмін даними з максимально високою швидкістю. За сигналами координатора окремі ділянки мережі періодично "прокидаються" і обмінюються повідомленнями. При другому варіанті вся мережа Mesh Lite знаходиться в режимі «сну», включаючи координатор. Обмін даними відбувається в межах окремих сегментів мережі, які періодично "прокидаються".

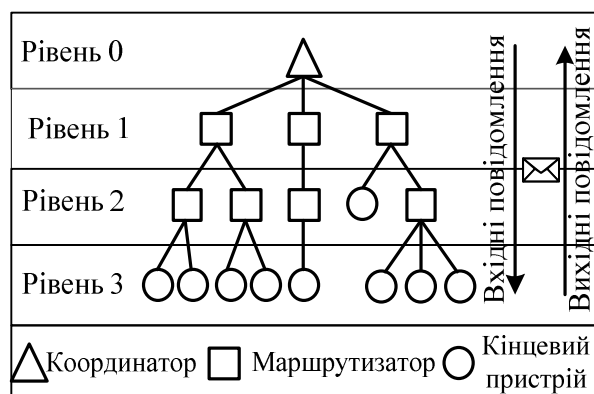


Рис.1. Структура мережі Mesh Lite

Структура часових пакетів Mesh Lite запозичена в ZigBee. Пакет складається із сигналу маяка та робочого кадру (рис. 2). Робота всіх пристроїв мережі Mesh Lite синхронізується сигналом маяка (Beacon), який періодично випромінюється ведучим у межах пристроїв певної групи. В першу чергу маяк передає інформацію про часову синхронізацію. Для того, щоб не пропустити початок сигналу маяка, пристрої нижнього рівня повинні «прокинутися» раніше. Коли з'являється сигнал маяка, пристрої синхронізують свої таймери [4].

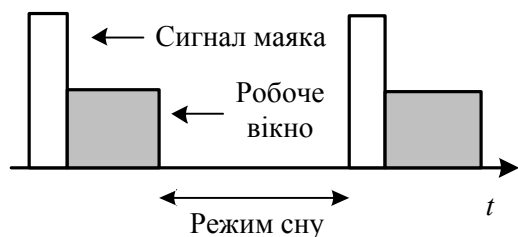


Рис. 2. Структура часових пакетів мережі Mesh Lite

Сигнал маяка містить інформацію про період повторення, максимальну тривалість робочого кадру, ідентифікаційний номер мережі, кількість вільних MAC-адрес, кількість пристроїв, які можуть бути під'єднані до маршрутизатора і його відстань до координатора, список приймальних пристроїв, для яких призначене вхідне повідомлення.

За сигналом маяка настає робочий кадр (Super Frame), що складається з двох основних частин, перша з яких відводиться для передачі пакетів даних вхідних повідомлень, друга – вихідних. Тривалість першої частини може бути нульовою, якщо вхідне повідомлення не очікується. Разом із тим вона не може перевищувати тривалість максимального робочого кадру. Вхідні повідомлення отримуються одне за одним відповідно до списку пристроїв, що міститься в сигналі маяка. Кожен пристрій нижнього рівня має дочекатись своєї черги, щоб завантажити своє повідомлення. В другій частині пристрої нижнього рівня можуть відправляти свої повідомлення за допомогою протоколу CSMA/CA.

Інформація про тривалість робочого вікна, а також співвідношення його частин передається у складі сигналу маяка. У паузах між сигналами маяка і робочими вікнами пристрої мережі знаходяться в режимі сну. Якщо будь-який пристрій не встигає зробити передачу або прийом даних протягом одного робочого вікна, цей процес поділяється на декілька робочих вікон.

Дослідження ефективності частотного методу стрибків у технології Mesh Lite. Як зазначалось, FHSS сигнали є більш завадостійкими до частотно-селективних завад, ніж DSSS сигнали [5]. Дійсно, потужність DSSS сигналу розподіляється вздовж всього частотного діапазону (рис. 3). У будь-якому його окремому сегменті потужність мала. Внаслідок цього навіть незначні за потужністю частотно-селективні завади можуть легко переkritи сигнал.

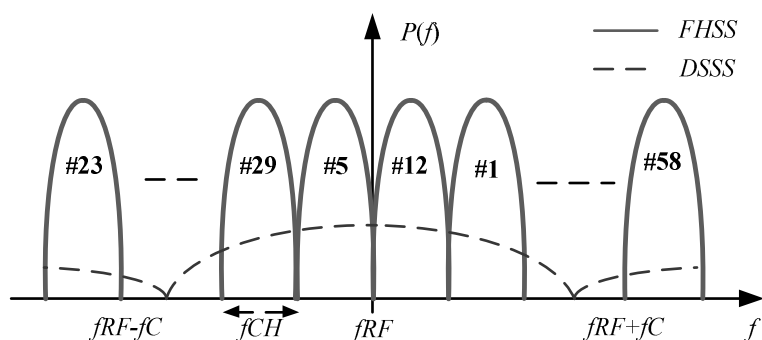


Рис. 3. Спектри потужності сигналів FHSS і DSSS

При передачі FHSS сигналів на частину частотної смуги на короткий проміжок часу припадає значно більша потужність, що забезпечує зменшення впливу завад на корисний сигнал у певних сегментах смуги частот.

Для передачі DSSS сигналів використовуються статично виділені зони частотної смуги. Частотно-селективна завада в будь-якій значній частині цієї виділеної зони впливатиме на передачу і може повністю розірвати зв'язок. При передачі FHSS сигналів сильні завади можуть зашкодити передачі на певній частоті, оскільки частота сигналу постійно змінюється внаслідок стрибка. Як наслідок, під дією завад буде зменшена пропускну здатність, але зв'язок триватиме.

*Моделювання передавально-приймального тракту мережі Mesh Lite.* Для дослідження було розроблено модель тракту в пакеті розширення Matlab 7.0.1 Simulink. Модель складається з п'яти логічно взаємопов'язаних блоків. Блок 1 являє собою джерело імпульсного сигналу. Передавач (блок 2) виконує такі функції, як формування інформаційних кадрів, здійснення модуляції сигналу та реалізацію методу стрибків по частотах. Канал, по якому передається інформація (блок 3), додає до сигналу селективні завади. У приймачі (блок 4) здійснюється виділення інформаційних кадрів і демодуляція сигналу. У блоці 5 порівнюються вхідний і вихідний сигнали. Результати моделювання передачі даних відображаються за допомогою блока Signal Visualization. Канал, по якому передаються дані, представлений блоком Multipath Channel.

*Дослідження стійкості моделі Mesh Lite до селективних завад.* Для аналізу стійкості моделі Mesh Lite до селективних завад були зафіксовані значення кількості помилок у блоці бітів BER (Bit Error Rate) при зміні значення сигнал/шум (SND (dB)) у каналі в межах 3...39 дБ.

Розглянемо особливості моделювання методу стрибків по частотах. Потік даних передається зі швидкістю 38,4 кбіт/с і модулюється за допомогою GFSK. Модулятор GFSK фактично передає сигнал одиниці на частоті 150 кГц відносно носійної та сигнал нуля на частоті -150 кГц відносно носійної. Цей процес забезпечується блоком Frequency hopping GFSK Modulator, з використанням блоку Continuous Phase Modulation (CPM) для задання таких параметрів, як, наприклад, індекс модуляції. Інформаційний символ розбивається на 100 відліків із кроком дискретизації 1 мкс, а блок модулятора видає комплексний сигнал, що центрується навколо нульової частоти. 62 500 відліків утворює кадр тривалістю 625 мкс.

Для уникнення селективних завад тайм-слот передається на різних носійних частотах. У цій моделі це досягається множенням основної смуги частот на одну з 23 можливих носійних частот у діапазоні  $\pm 11$  МГц. Інформаційний сигнал передається в діапазоні 848...872 МГц. Носійний сигнал генерується блоком MFSK. В цій моделі послідовність стрибків задається простим генератором випадкових чисел.

Результати дослідження свідчать про те (рис. 4), що зі збільшенням значення сигнал/шум зменшується кількість помилок у блоці бітів. Однак у разі використання методу стрибків по частотах кількість помилок (на рис. 4 пунктирна лінія) зменшилася приблизно в два рази. При дослідженні моделі без використання цього методу найбільша кількість помилок становить  $46,7294 \cdot 10^{-4}$  для відношення сигнал/шум 3 дБ; якщо ж метод стрибків по частотах застосовується –  $22,403 \cdot 10^{-4}$  (на рис. 4 суцільна лінія). Найменші значення кількості помилок при відношенні сигнал/шум 39 дБ становили  $5,8413 \cdot 10^{-4}$  і  $0,6127 \cdot 10^{-4}$  відповідно.

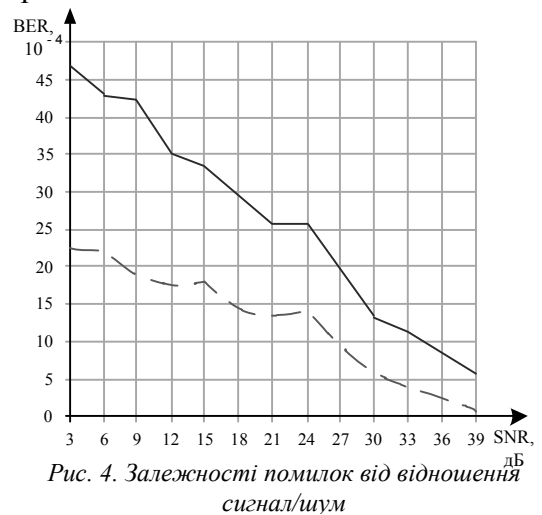


Рис. 4. Залежності помилок від відношення сигнал/шум

**Висновки і пропозиції.** Головні вимоги, які задовольняють сучасні телеметричні системи, є такими: можливість одночасної передачі великої кількості різних параметрів, забезпечення заданої точності, дальності, великої швидкості передачі даних, високий рівень надійності та автоматизації процесів збору, передачі й обробки даних.

Перевагами застосування в телеметрії бездротової передачі даних є простота інсталяції, висока надійність радіочастотних систем, простота створення таких систем на сучасній елементній базі, можливість встановлення з'єднання у випадках, коли підвести проводові лінії зв'язку до об'єкта спостереження складно або неможливо.

До переваг технології Mesh Lite відносяться низьке енергоспоживання всіх пристроїв мережі та невелика вартість, автоматичне налаштування і відновлення мережі, можливість дистанційного керування кожним вузлом, підвищена дальність зв'язку завдяки функції ретрансляції. До недоліків – невисока швидкість передачі.

#### Список використаних джерел

1. Аникин А. И. Особенности построения радиосети Mesh Lite в частотном диапазоне 868 МГц / А. И. Аникин // Беспроводные технологии. – 2008. – № 3. – С. 35–40.
2. Аникин А. И. Радиомодемы компании One RF Technology для диапазонов 434/868 МГц: основные режимы работы / А. И. Аникин // Беспроводные технологии. – 2009. – № 2. – С. 37–41.
3. Кривченко Т. В. Радиомодули и радиомодемы компании One RF для диапазонов 433 и 868 МГц / Т. В. Кривченко // Беспроводные технологии. – 2007. – № 2. – С. 38–40.
4. Татополос К. Реализация ячеистой сети с высокой дальностью действия / К. Татополос // Беспроводные технологии. – 2007. – № 2. – С. 52–53.
5. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В. М. Вишневыский, А. И. Ляхов, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. – М. : Техносфера, 2005. – 592 с.

УДК 621.396.2.019.4:621.391.254

**С.В. Зайцев**, канд. техн. наук

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

### МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ НЕЧІТКОГО ДЕКОДУВАННЯ ТУРБОКОДІВ

**С.В. Зайцев**, канд. техн. наук

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕЧЕТКОГО ДЕКОДИРОВАНИЯ ТУРБОКОДОВ

**Serhii Zaitsev**, PhD in Technical Sciences

Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

### A MATHEMATICAL MODEL OF FUZZY DECODING OF TURBOCODES

*Запропоновано математичну модель нечіткого декодування турбокодів з використанням алгоритму Max Log Map. Застосування математичної моделі під час моделювання статистичних характеристик достовірності бездротових систем дозволяє отримати такі самі характеристики, як і при застосуванні алгоритму Log Map, але при цьому кількість елементарних операцій, необхідних для здійснення процедури декодування, зменшується. Запропоновані результати можна використати для підвищення достовірності систем передачі інформації в поєднанні з системами автоматичного управління.*

**Ключові слова:** турбокоди, нечіткі множини, алгоритми декодування.

*Предложена математическая модель нечеткого декодирования турбокодов с использованием алгоритма Max Log Map. Применение математической модели во время моделирования статистических характеристик достоверности беспроводных систем позволяет получить такие же самые характеристики, как и при применении алгоритма Log Map, но при этом количество элементарных операций, необходимых для осуществления процедуры декодирования, уменьшается. Предложенные результаты можно использовать для повышения достоверности систем передачи информации в объединении с системами автоматического управления.*

**Ключевые слова:** турбокоды, нечеткие множества, алгоритмы декодирования.

*A mathematical model of fuzzy decoding turbocodes using an algorithm Map Log Map. Application of the mathematical model during simulation of statistical characteristics allows the reliability of wireless systems receive the same characteristics such as when applying the algorithm Log Map, but the number of elementary operations required to perform decoding procedure decreases. Proposed results can be used to improve the reliability of data transmission systems in association with the automatic control system.*

**Key words:** turbocodes, fuzzy sets, decoding algorithms.

**Постановка проблеми.** Для підвищення достовірності інформації в бездротових системах застосовуються завадостійкі коди. Найбільш ефективними серед них є турбокоди (ТК). За енергетичною ефективністю ТК поступаються теоретичному граничному значенню лише 0,5 дБ [1]. Турбокоди застосовуються у системах мобільного зв'язку третього покоління 3G (cdma2000, cdma2000 1xEV-DO, cdma2000 1xEV-DV, UMTS), четвертого покоління 4G (LTE), у системах зв'язку з далеким космосом CCSDS для пе-