Голові спеціалізованої вченої ради
Д 26.861.01 Державного університету телекомунікацій Міністерства освіти і науки України

вул. Солом'янська,7, м. Київ, 03110

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора
ФРИЗА СЕРГІЯ ПЕТРОВИЧА на дисертацію
КРЕМЕНЕЦЬКОЇ ЯНИ АДОЛЬФІВНИ на тему
" Методи підвищення ефективності телекомунікаційних систем в міліметровому діапазоні хвиль на основі гібридних технологій ", яка подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Актуальність теми дисертації

Сьогодні перед провідними телекомунікаційними компаніями світу стоїть важливе завдання щодо створення мереж, які будуть інтегруватися на певних рівнях, об'єднувати різні стандарти і технології, забезпечувати плавний перехід і високу пропускну спроможність. При цьому велика увага приділяється підвищенню спектральної ефективності та розширенню радіочастотного спектрального ресурсу до міліметрового діапазону (ММД) довжин хвиль. Результати практичних експериментів, які проведені в центрі дослідження бездротових технологій Нью-Йоркського університету під керівництвом Теодора Раппапорта, свідчать, що до найбільш перспективних піддіапазонів для застосування в телекомунікаційних системах можна віднести наступні ділянки ММД: 28 ГГц, 38 ГГц, 45 ГГц, 60 ГГц, 73 ГГц, 94 ГГц.

Аналіз останніх наукових публікацій свідчить, що для реалізації концепцій перспективних бездротових технологій 5G + передбачається

Вхід ДУТ № 232
04 03 21

використовувати такі гібридні технології: оптоелектронні методи для генерації радіосигналів в ММД; оптоелектронні методи формування діаграм спрямованості фазованих антенних решіток; гібридні волоконно-ефірні топології, гетерогенні мережі, тощо.

У дисертаційній роботі автором обґрунтовано зроблено висновок, що концепції побудови, моделювання телекомунікаційних систем в ММД хвиль повинні ґрунтуватися на фундаментальних фізичних підходах з урахуванням параметрів, характеристик і обмежень як в приймально-передавальному обладнанні (в тому числі устаткуванні, що працює на основі гібридних технологій із забезпеченням безшовної інтеграції), так і характеристик поширення хвиль ММД всередині приміщень та у відкритих середовищах.

Виходячи з цього, можна зробити висновок, що тематика роботи, яка присвячена розробці методів підвищення ефективності телекомунікаційних систем та мереж в ММД хвиль на основі гібридних технологій, є актуальною. Впровадження запропонованих автором нових методів, моделей, методик, рекомендацій можуть сприяти підвищенню ефективності телекомунікаційних мереж та систем у ММД та розв'язати проблему забезпечення високих швидкостей передачі інформації, безшовної інтеграції високошвидкісних мереж за різними сценаріями розгортання, що підкреслює важливість та своєчасність дисертаційної роботи.

Слід зазначити, що представлений матеріал є надзвичайно важливим економічно обґрунтованим напрямком розвитку науки і техніки на сучасному етапі, відповідає динамічним змінам спектру інформаційних технологій в телекомунікаціях, а також враховує особливості розвитку національного ринку цих послуг.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Автор добре розуміє специфіку наукової проблеми та коректно формулює її постановку

При проведенні досліджень використовувались методи математичного аналізу та синтезу складних технічних систем, універсальна теорія дифракції, теорія ймовірності, теорія масового обслуговування, теорія фазованих антенних решіток, теорія лінійних стаціонарних систем, теорія нелінійних динамічних систем, методи диференціального й інтегрального числення та методи імітаційного моделювання.

Достовірність одержаних результатів

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, результатів, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі, досягаються ретельним багатостороннім системним аналізом реально існуючих процесів у сфері телекомунікаційних систем міліметрового діапазону електромагнітних хвиль взагалі та в об'єкті дослідження зокрема.

Коректне використання методів досліджень та математичного апарату підтверджується результатами аналітичних доведень через математичні перетворення, результатами імітаційного моделювання, а також практичними результатами, які відображено в актах впровадження.

Наукова новизна та важливість результатів

У результаті проведених досліджень розроблено новітні концепції та підходи для створення методів побудови та підвищення ефективності перспективних телекомунікаційних систем на основі гібридних технологій в ММД хвиль. При цьому отримано наступні наукові результати:

1. Вперше створений метод для розрахунку енергетичного бюджету радіоканалу в ММД хвиль із застосування квазіоптичної моделі, в якому враховується розбіжність випромінювання, множинні відбиття та дифракції, ефекти поглинання в різних середовищах, що, на відміну від сучасних емпіричних моделей розрахунку втрат сигналу в радіоканалі, дозволяє збільшити дальність зв'язку та точність розрахунку рівня сигналу в точці прийому для зон прямої та поза прямої видимості.

2. Удосконалено методику розрахунку шумів в каналі ММД, які пов'язані з шумами молекулярного поглинання та перевипромінювання в атмосфері,

інтерференційними ефектами, шумами, пов'язаними з оптоелектронними методами генерації та модуляції радіосигналу, що на відміну від існуючих класичних методів дозволяє збільшити точність розрахунку бюджету каналу.

3. Вперше запропоновано архітектуру волоконно-ефірної мережі в ММД хвиль, в якій об'єднано технології дистанційного гетеродинування, поляризаційного та спектрального мультиплексування, інтегрованого з методом MIMO, зовнішньої модуляції з можливістю множення частоти та відновлення оптичного сигналу з радіосигналу ММД, переданого через бездротовий канал, що дозволяє знизити вимоги до пропускної здатності для оптичних та електричних компонентів.

4. Вперше запропоновано метод безшовної інтеграції складної структури майбутніх телекомунікаційних мереж з можливістю використання форматів модуляції високого порядку, переналаштування частоти для різних діапазонів частот, в тому числі для піддіапазонів в міліметровій смузі для гібридних гетерогенних мереж на основі інтеграції радіо- та волоконно-оптичних технологій.

5. Вперше розроблено методику підвищення ефективності телекомунікаційних систем у ММД хвиль, що базуються на гібридних технологіях, де узгоджені обмежуючі та динамічні характеристики передавального модуля інтегрованої волоконно-ефірної архітектури мережі, на основі вдосконаленої енергетичної моделі радіоканалу, що дозволяє реалізувати безшовну інтеграцію складної структури майбутніх телекомунікаційних мереж з можливістю адаптації під різні вимоги та підвищити пропускну здатність до швидкостей в волоконно-оптичних системах передачі.

Таким чином, проведені наукові дослідження і одержані результати забезпечили вирішення актуальної наукової проблеми розробки методів підвищення ефективності перспективних телекомунікаційних систем в міліметровому діапазоні хвиль на основі гібридних технологій.

Наукова новизна положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, підтверджується відсутністю аналогічних підходів у відкритих джерелах.

Аргументування та критичне оцінювання порівняно з відомими рішеннями запропонованих автором рішень.

Метою дисертаційної роботи є розробка нових концепцій, підходів для створення методів побудови та підвищення ефективності перспективних телекомунікаційних систем на основі гібридних технологій в ММД хвиль.

Об'єкт дослідження – процеси реалізації та шляхи підвищення ефективності телекомунікаційних систем в ММД хвиль.

Предмет дослідження – методи розробки архітектури мереж, моделей радіоканалів, методи підвищення ефективності телекомунікаційних систем в ММД хвиль з використанням гібридних технологій.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішені наступні наукові задачі:

1. Аналіз особливостей та переваг, обмежуючих факторів та методів їх компенсації при застосуванні хвиль міліметрового та субміліметрового діапазонів в наступних поколіннях телекомунікаційних систем.

2. Аналіз методів та підходів при математичному моделюванні радіоканалів в ММД.

3. Розробка принципів інтеграції технологій, завдяки яким підвищується ефективність телекомунікаційних систем в ММД.

4. Розробка та обґрунтування застосування оптоелектронних методів формування, модуляції та передачі радіочастотного сигналу ММД з урахуванням шумових та обмежуючих характеристик електричних та оптичних компонентів.

5. Розробка квазіоптичної моделі радіоканалу в ММД, яка може бути використана для розрахунку інтерференційних завад, втрат сигналу в багатопроменевих моделях поширення з урахуванням розбіжності

випромінювання, множинного відбиття та дифракцій, а також ефектів поглинання сигналу в різних середовищах.

6. Розробка інтегрованої волоконно-ефірної архітектури мережі з дистанційним гетеродинуванням, з поляризаційним та спектральним мультиплексуванням каналів для безшовної інтеграції мереж HetNet з високою пропускною спроможністю, порівняною з швидкістю передачі у волоконно-оптичних мережах.

7. Розробка математичної моделі, що описує закономірності оптоелектронного формування випромінювання в ММД хвиль з високим коефіцієнтом підсилення для фазований антенних решіток з урахуванням оптичних та електричних шумів.

8. Розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності та напрямків подальших досліджень телекомунікаційних систем в ММД.

Практична значимість та важливість для галузі полягає у тому, що обраний напрям досліджень відповідає тематиці науково-дослідних робіт "Елементи фотонних мереж зв'язку" (ДР № 0115U004265), "Дослідження застосування міліметрового і субміліметрового діапазонів в телекомунікаційних системах" (ДР № 0116U006294) і "Розробка методів поліпшення характеристик фотонних компонентів для їх застосування в перспективних телекомунікаційних мережах" (ДР № 0117U003962).

Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому, відповідність оформлення дисертації вимогам, затвердженим МОН України.

Дисертаційна робота складається з шести розділів, в яких логічно на високому науково-технічному рівні викладено рішення поставленої проблеми дослідження.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет, методи дослідження, визначено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, представлено загальну характеристику роботи, апробацію, особистий внесок автора, а також публікації за темою дисертації.

У першому розділі здійснено дослідження перспектив, переваг, технічних проблем реалізації міліметрового та субміліметрового діапазонів хвиль для їх застосування в телекомунікаційних технологіях та системах. Проведено аналіз науково-технічних джерел та визначено основні завдання, які необхідно вирішити для розроблення методів побудови та підвищення ефективності телекомунікаційних мереж і систем в ММД хвиль на основі гібридних технологій.

У другому розділі запропоновано для реалізації та підвищення ефективності телекомунікаційних систем в ММД застосування гібридних технологій: оптоелектронні методи формування радіосигналів та діаграм спрямованості фазованих антенних решіток; гібридні архітектури мереж: волоконно-ефірні, гетерогенні мережі HetNet, застосування магістральних рішень (або з'єднань типу «точка - точка», «точка - множина точок») у вікнах прозорості ММД для наземних та стратосферних комплексів зв'язку. Показано, що гібридні технології сприяють ефективному використанню радіочастотного ресурсу, зокрема в ММД, підвищенню щільності покриття та пропускної здатності телекомунікаційних мереж.

Третій розділ присвячено розробці та обґрунтуванню застосування фотонних (оптоелектронних) методів формування, модуляції та передачі радіочастотного сигналу ММД з врахуванням шумових та обмежуючих характеристик електричних та оптичних компонентів, а також аналізу побудови оптичних ліній передач радіосигналів із зовнішньою модуляцією Проведено аналіз радіочастотних передавальних характеристик та показників якості для оптичних ліній передач із зовнішньою модуляцією інтенсивності випромінювання і прямим детектуванням. Визначені важливі передавальні характеристики радіофотонних (гібридних волоконно-ефірних) систем: спектральна щільність потужності шуму, відношення сигнал/шум, коефіцієнт шуму, динамічний діапазон по компресії підсилення, динамічний діапазон за завадами.

У четвертому розділі виконаний порівняльний аналіз шумів в каналі зв'язку міліметрового діапазону, пов'язаних з інтерференційними завадами, оптоелектронними методами генерації радіосигналів, в тому числі з формуванням випромінювання в фазованих антенних решітках, ефектами молекулярного поглинання (перевипромінювання) в атмосфері, результати якого можуть бути використані для побудови та підвищення ефективності майбутніх мобільних систем. Розроблено та обґрунтовано застосування квазіоптичної моделі радіоканалу в міліметровому діапазоні, в якій враховуються втрати, зумовлені геометричною розбіжністю випромінювання, багатопроменевим поширенням з урахуванням ефектів множинних відбивань та дифракцій, ефектів поглинання, що може бути використано для розроблення методів збільшення дальності та доступності зв'язку за рахунок створення зон посилення сигналу.

П'ятий розділ присвячено розробці рішення, що об'єднує технології множення частоти на основі методів зовнішньої модуляції, дистанційного оптичного гетеродину, відновлення оптичного сигналу з радіосигналу (фотонної демодуляції), поляризаційного та спектрального мультиплексування, інтегрованого з методом MIMO, що може бути використано для збільшення пропускної здатності та безшовної інтеграції телекомунікаційних систем, які працюють в різних діапазонах частот, в тому числі в різних піддіапазонах міліметрових хвиль.

Шостий розділ присвячений розробці рекомендацій для подальших досліджень моделей енергетичного розрахунку, оптимальних методів модуляції і мультиплексування сигналів, вибору архітектури мереж в міліметровому діапазоні хвиль із застосуванням гібридних технологій.

Висновки дисертаційної роботи підкреслюють наукову новизну і практичну цінність розробок.

Оцінка мови та стилю викладання дисертації і автореферату. Мова та стиль дисертації та автореферату свідчать про вміння автора аргументовано формулювати думки. Всі розділи роботи мають внутрішню єдність та

завершеність. Змістовне наповнення підрозділів роботи відповідає змісту визначених розділів.

Отримані підсумкові результати дисертації повністю співпадають із метою і науковими задачами, сформульованими у вступі. В цілому дисертаційна робота сприймається як закінчена наукова праця, що містить нові наукові результати.

Підтвердження повноти викладу результатів дисертації в наукових фахових виданнях. Наукова новизна достатня для дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

Основні результати дисертаційних досліджень опубліковано після захисту кандидатської дисертації у 27 наукових працях та 1 монографії.

Опубліковано 17 тез доповідей на наукових, науково-практичних і науково-технічних конференціях різного рівня.

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації

Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації і дає повне уявлення про отримані автором основні результати дослідження, їх новизну та практичну значимість.

Недоліки

1. У першому розділі дисертації, а саме у підрозділі 1.5. ґрунтовно проаналізовано сучасні підходи до моделювання каналів ММД хвиль, стохастичні та емпіричні моделі. При цьому визначено, що для удосконалення моделювання необхідно врахувати параметри, характеристики і обмеження як в приймально-передавальному обладнанні (в тому числі устаткуванні, що працює на основі гібридних технологій із забезпеченням безшовної інтеграції), так і характеристики поширення ММХ. Автору доцільно було б більш детально обґрунтувати обрані до моделювання каналів підходи.

2. Для повноти досліджень у другому розділі бажано було б проаналізувати перспективи реалізації телекомунікаційних систем і мереж в ММД не тільки на основі волоконно-оптичних ліній та стратосферних комплексів але й технологій супутникового зв'язку, особливо в K_a-діапазоні.

3. У авторефераті представлено вираз (8), у якому наведено складові потужності шуму на виході лінії передачі з прямим детектуванням із застосуванням модуляції інтенсивності на базі зовнішнього модулятора Маха-Цендера. При цьому аналіз його складових не проведено. Більше інформації відносно цього питання приведено у дисертації - вираз (3.53). При цьому доцільним було б проведення детального порівняльного аналізу рівнів складових внесків шуму.

4. У четвертому розділі на основі стохастичної геометрії проведено двовимірне моделювання інтерференційних завад для стільникових мереж ММД. При цьому, на мій погляд, доцільним б було проведення моделювання інтерференційних завад в ММД і для трьохвимірної моделі мікростільника.

5. В п'ятому розділі наведено схему реалізації гібридної волоконно-ефірної архітектури мережі в ММД з використанням дистанційного гетеродинування (рис.5.14), але відсутні детальні пояснення, яким чином здійснюється перелаштування робочої частоти для мереж HetNet.

6. На рис. 5.17. наведена залежність співвідношення сигнал/шум від кількості випромінюючих елементів ФАР для різних архітектур формування випромінювання в ММД. Бажано було б аналогічним чином розрахувати залежності коефіцієнтів підсилення для ФАР та вихідну потужність випромінювання для різних архітектур ФАР.

7. В дисертаційній роботі присутні деякі недоліки редакторського характеру. Наприклад, на рис.1.4 одиниця частоти випромінювання - Гц, хоча за описом - ГГц.

В авторефераті також є деякі граматичні та синтаксичні помилки, не надано пояснення деяким скороченням в рисунках та тексті, хоч в роботі вони наведені.

Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку та цінність дисертаційної роботи, так як робота має завершеність, положення, висновки та рекомендації науково обґрунтовані.

ВИСНОВОК

Вивчення дисертаційної роботи, автореферату та опублікованих здобувачем наукових праць дозволяє стверджувати, що дисертаційна робота виконана на актуальну тему, представляє собою логічне завершене наукове дослідження, що містить нові обґрунтовані наукові результати, які у сукупності є вирішенням наукової проблеми, відповідає паспорту спеціальності та вимогам пунктів 9, 10, 12 - 14 "Порядку присудження наукових ступенів" до докторських дисертацій, а здобувач Кременецька Яна Адольфівна заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент
начальник кафедри телекомунікацій та радіотехніки
Житомирського військового інституту
ім. С. П. Корольова доктор технічних наук,
професор С. П. ФРИЗ

Підпис Фриза С.П. засвідчую.
ТВО начальника відділу персоналу та строєвого

В. Ю. КІСЕЛЬОВ