МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

ДЕРЕВ'ЯННИХ Олексій Євгенійович

УДК 004.7:519.87(043.3)

МЕТОД РАДІОПЛАНУВАННЯ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ У МЕРЕЖАХ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ НОВИХ ПОКОЛІНЬ

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному університеті телекомунікацій Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Комарова Лариса Олексіївна,
Державний університет телекомунікацій
Міністерства освіти і науки України,
професор кафедри телекомунікацій.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Віноградов Микола Анатолійович,
Національний авіаційний університет, професор
кафедри інженерії програмного забезпечення;

кандидат технічних наук, доцент
Мєшков Сергій Іванович,
Воєнно-дипломатична академія імені Є. Березняка,
заступник начальника з навчальної роботи.

Захист відбудеться "14" червня 2016 року о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.876.01 в Державному університеті телекомунікацій за адресою: 03680 , м. Київ, Солом'янська, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного університету телекомунікацій за адресою: 03680, м. Київ, Солом'янська, 7.

Автореферат розісланий "12" травня 2016 року.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.876.01
кандидат військових наук, с.н.с. Є. В. Гаврилко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Серед сучасних засобів телекомунікацій найактивніше розвиваються мережі мобільного зв'язку (МЗ). У них достатньо успішно розв'язується задача раціонального використання виділеної смуги радіочастот шляхом частотного, тимчасового і кодового ущільнення, завдяки чому збільшується пропускна спроможність телекомунікаційних мереж.

В Україні розвиток мобільного зв'язку йде випереджаючими темпами. За оцінками експертів, число абонентів мобільного зв'язку на Україні вже на початок 2016р. складало більше 61,2 млн. чоловік, тобто перевищило чисельність населення (ступінь проникнення – 142,5%) і набагато перевищує число користувачів стаціонарних телефонів. У Європі число користувачів складало приблизно 608 млн.

Число абонентів, що користуються послугами мобільного зв'язку нових поколінь *UMTS* і *CDMA*, невпинно зростає завдяки впровадженню додаткових видів обслуговування, пов’язаних з наданням Інтернет-послуг, мобільних недійних додатків, навігаційних та картографічних сервісів тощо.

Проводиться велика кількість робіт теоретичного і практичного характеру, направлених на підвищення якості і надійності мереж МЗ, розробки і упровадження нових послуг і т.д. Одним з перспективних і вельми затребуваних напрямів досліджень є уточнення моделей розповсюдження радіохвиль в діапазонах частот 1800 Мгц (стандарт *GSM*), 2110 – 2170 Мгц («вниз»); 1920 – 1980 Мгц («вгору») (стандарт *WCDMA FDD*) і 1900 – 1920 Мгц («вниз»); 2010 – 2025 Мгц («вгору») (стандарт *UTRA TDD*), тобто в діапазоні коротких дециметрів. Ці моделі, по суті, є джерелами вихідних даних для вирішення іншої актуальної задачі – радіопланування мереж МЗ, працюючих в даному діапазоні.

Задачі радіопланування і управління безпроводовими мережами розв'язувалися колективами наукових шкіл, які очолювали вітчизняні та зарубіжні вчені К.С. Сундучков, Л.Є. Варакин, Г.И. Тузов, Ю.А. Громаков, Ю.М. Горностаєв, В.М. Вишнєвський, Є.Р. Мілютін, Д.Б. Зімін, H. Holma, R. Kreher, A. Toskala, M. Nawrocki, M. Tolstrup та ін. Проте через значну складність розв’язання задач статистичної електродинаміки з достатньою точністю багато питань залишаються відкритими. Використовуються морально застарілі емпіричні підходи до оцінки зон радіовидимості і зон затінювань. Недостатньо глибоко пророблені методи автоматизації управління параметрами мереж МЗ. Внаслідок цього, наприклад, перехід від *GSM-900* до *GSM-1800* вимагає в 15 разів більше базових станцій (БС) на тій же території.

Тому тема дисертації представляється актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Виконання роботи пов'язане з реальними потребами галузі МЗ як на національному, так і на міжнародному рівнях. Питання, які розглядаються в дисертаційній роботі, безпосередньо витікають із задач у сфері науки і техніки, сформульованих в “Концепції розвитку телекомунікацій в Україні”, затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України № 316-р від 7 червня 2006 г.; з закону України “Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки”, редакція від 05.12.2012 р.;

результатів науково-дослідних робіт відповідної державної цільової науково-технічної програми “Телекомунікаційні системи та інвестиційні ресурси”.

Результати дисертаційних досліджень були використані в науково-дослідних роботах, які проводилися в Українському НДІ зв'язку і Державному університеті телекомунікацій.

Роль автора в приведених науково-дослідних темах і проектах, в яких дисертант був безпосереднім виконавцем, полягає в аналізі існуючих методів оцінки і способів забезпечення надійності і ефективності визначення характеристик розповсюдження сигналів в радіомережах передачі даних, а також в розробці нових моделей і методів розрахунку завадозахищеності та електромагнітної сумісності радіомереж.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є розробка методу радіопланування мереж мобільного зв’язку на основі уточнених моделей розповсюдження електромагнітних (ЕМ) хвиль і оцінювання потужності сигналу в умовах міського ландшафту і в сільській місцевості.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні задачі:

– провести аналіз і систематизацію існуючих і розроблюваного методу радіопланування мереж МЗ, ступеня їх точності, зручності, економічних аспектів упровадження і ринкової ефективності;

– розробити електродинамічні моделі розповсюдження ЕМ хвиль у проміжній зоні і зоні Фраунгофера для частотного діапазону 1800 – 2200 Мгц, який застосовується в мобільному зв'язку покоління 3*G*, і частотному діапазоні 7000 Мгц мереж покоління 4*G*, в умовах функціонування системи в місті з щільною забудовою, в приміській і сільській місцевостях;

– розробити математичні моделі корисних сигналів і завад для розв’язання задач планування і управління мережею МЗ в цілому;

– зробити вибір і обгрунтування критеріїв якості функціонування мобільних мереж з урахуванням специфіки розподілу навантаження на мережу;

– виконати порівняльний аналіз і вибір найприйнятнішого методу радіопланування при обмеженнях на ресурси і на зміни параметрів БС і МС;

– розробити модифікований метод оптимізації розташування БС у зоні покриття на основі алгоритму побудови діаграм Вороного та алгоритму табу-пошуку з локальною апостеріорною оптимізацією;

– провести системний аналіз взаємного впливу ключових параметрів радіопланування мережі МЗ.

Об'єктом дослідження є процеси радіопланування при розгортанні мереж мобільного зв'язку стандартів 3*G* (*UMTS*, *WSDMA*, *UTRA*) і 4*G* (*LTE*, *LTE-Advanced*).

Предметом дослідження є моделі шумів і завад, методи і алгоритми процесів радіопланування мереж мобільного зв'язку стандартів 3*G* (*UMTS*, *WSDMA*, *UTRA*) і 4*G* (*LTE*, *LTE-Advanced*).

*Методи дослідження***.** У дисертації застосовані методи електродинаміки, теорії розсіяння електромагнітних хвиль від статистично шорсткої поверхні, крайових хвиль і фізичної теорії дифракції, статистичної радіотехніки, методи евристичної оптимізації, моделювання і розрахунки на ЕОМ.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Вперше розроблений комбінований метод радіопланування мережі БС за наслідками оцінки параметрів рельєфу шляхом сумісного використовування результатів послідовного вимірювання параметрів сигналу, що приймається, у контрольних точках і даних цифрових карт місцевості, особливістю якого є забезпечення необхідної точності визначення оптимальних параметрів розміщення БС для різних типів рельєфу місцевості в зоні покриття.

2. Вдосконалений метод оцінки розсіяного поля при прийомі радіохвиль короткого дециметрового діапазону мережі мобільного зв'язку як в зоні Фраунгофера, так і в проміжній зоні, який відрізняється спрощенням рішення задачі прогнозу оптимального положення БС.

3. Знайшов подальший розвиток метод евристичної оптимізації розміщення БС, в якому для обліку внеску дифракційних складових при розсіянні на елементах конструкцій будівель і споруд запропонована локальна апостеріорна оптимізація за апріорними даними. Це сприяє підвищенню точності та зниженню ризику зациклення на локальних екстремумах цільової функції.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій обумовлюється використанням апробованого і коректного математичного апарату. Одержані нові наукові результати узагальнюючого характеру при відповідних спрощення і допущеннях можуть бути зведені до добре відомих часткових результатів, багато разів перевірених теоретично і експериментально. Результати комп'ютерного моделювання можуть вважатися цілком адекватним відображенням реальних процесів, що відбуваються в системах мобільного зв'язку, побудованих на базі цифрових пристроїв і обчислювальних машин загального і спеціального призначення.

Практичне значення одержаних результатів

Наукові результати дисертаційної роботи мають практичну значущість, яка полягає у тому, що теоретико-методичні основи дослідження доведені до рівня конкретних практичних рекомендацій та розробок.

Комбінований метод радіопланування мережі БС за наслідками оцінки параметрів рельєфу шляхом сумісного використовування результатів послідовного вимірювання параметрів сигналу, що приймається, у контрольних точках і даних цифрових карт місцевості впроваджені у ПрАТ «Діпрозв'язок».

Метод оцінки розсіяного поля при прийомі радіохвиль короткого дециметрового діапазону впроваджені у ПрАТ «МТС Україна», а метод та алгоритм побудови діаграм Вороного для розміщення базових станцій впроваджений у ТОВ «Хуавей Україна».

Особистий внесок здобувача полягає в самостійному виконанні дисертаційних досліджень. Усі наукові результати, викладені в дисертації, одержані автором особисто.

У дисертації узагальнені результати досліджень, виконаних автором в співавторстві [2,3,5]. Особистим внеском автора у праці, опубліковані у співавторстві, є:

- у роботі [2] – теоретичне обгрунтування та практичні розрахунки кореляційних функцій висот поверхні для розв'язання завдань радіопланування мереж МЗ нових поколінь;

- у роботі [3] – детальне вивчення статистичних характеристик сигналів, завад і шумів, розробка математичних моделей і оцінки кількісних характеристик відносин сигнал/(завади плюс шуми) на вході приймача БС;

- у роботі [5] – розробка методу радіопланування з урахуванням складових вторинного поля розсіювання електромагнітних хвиль у мережах МЗ.

Апробація результатів досліджень. Основні положення роботи докладалися на міжнародній конференції «Актуальні питання регулювання у сфері телекомунікацій та користування радіочастотним ресурсом» у Національній комісії з питань регулювання зв'язку України (м. Київ, 2010 р.); на конференціях аспірантів і студентів "CSNT-2009" (м. Київ, 2009 р.) та "CSNT-2013" (м. Київ, 2013 р.) у Національному авіаційному університеті (НАУ); на наукових семінарах УНІІС (м. Київ, 2009 – 2013 рр.) і на постійно діючому семінарі "Процеси і потоки в мережах" інституту комп'ютерних інформаційних технологій НАУ (м. Київ, 2009 – 2014 рр.).

Матеріали були схвалені та рекомендовані до опублікування.

Публікації. Результати проведених дисертаційних досліджень викладені у 9 друкованих працях, серед яких 6 статей у наукових фахових виданнях, які індексовані у міжнародних наукометрічних базах, 3 – тез конференцій.

Структура і об'єм дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг роботи –155 с., у тому числі рисунків – 46, таблиць – 6. Список використаних джерел включає 136 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено мету, об'єкт, предмет, методи та завдання дослідження, сформульовано наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, подано загальну характеристику роботи, наведено відомості стосовно апробації, публікацій і використання результатів дослідження.

У **першому розділі** проведено аналітичний огляд стану проблематики радіопланування мереж МЗ. Дано загальну характеристику мереж нових поколінь, як великих інфокомунікаційних систем комбінованого типу, які забезпечують не тільки зв'язок між абонентами та передачу коротких повідомлень, але й надання додаткових видів обслуговування. Проаналізовано найбільш важливі характеристики систем планування та управління мережами МЗ стосовно завдань розширення функцій мереж МЗ нових поколінь.

Досліджено ключові параметри ефективності мережі МЗ, які необхідно враховувати при організації, розгортанні та поточній експлуатації мереж. Це якість сервісу та обсяг послуг, що надаються, робоча зона, пропускна спроможність (що особливо важливо для мереж нових поколінь), надійність обладнання тощо.

Проведено порівняльний аналіз методів радіопланування та управління мережами МЗ. Розглянуто технічні, організаційні та економічні фактори, які необхідно враховувати у першу чергу. Серед найважливіших технічних факторів – це частотний діапазон, вид і форма сигналів, потрібні потужності БС та МС

характеристики шумів і завад та ін.

Організаційні та економічні фактори впливають, у першу чергу, на те, яким буде перехід до мереж нових поколінь. Проаналізовано специфіку розвитку українського ринку МЗ. Степінь проникнення вже до кінця 2006 року становив 100%. Зараз степінь проникнення перевищує 120%.

З урахуванням цих та інших факторів зроблено висновок, що перехід до мереж *TDMA* нових поколінь буде еволюційним – через проміжні стадії *GPRS-EDGE-HSDPA*, до мереж *CDMA* нових поколінь – через *CDMA*-2000-1*x EV-DO* (*EVolution Data Only*) до більш швидкісній версії 1*xEV-DV* (*EVolution Data and Voice*) (1 Мбіт/с) та до версії *UMTS* (*WCDMA*).

За результатами аналізу сучасного стану проблеми радіопланування мереж нових поколінь обгрунтовано та сформульовано загальну мету дисертаційного дослідження та часткові завдання, які необхідно розв'язати для досягнення поставленої мети.

У **другому розділі** розроблено математичні моделі сигналів і завад у мережах МЗ. У каналі зв'язку "базова станція – мобільна станція" присутні внутрішні та зовнішні шуми, а також завади різної природи. До внутрішніх шумів та завад відносяться теплові шуми приймачів, похибки синхронізації (швидкі та повільні тремтіння фази). У якості моделі теплового шуму обрано білий гаусівський шум. Швидкі тремтіння фази із задовільною для практики точністю описуються дискретним випадковим процесом з усіченим гаусівським розподілом у границях від $-\pi$ до π. Дисперсія розподілу залежить від стабільності частоти синхронізації. Повільні тремтіння, обумовлені перехідними процесами у приймачах, дають лінійні або квадратичні зміни фази. Тому вони можуть бути описані моделями поліноміального або гармонійного тренду з масштабними коефіцієнтами, які підбираються експериментальним шляхом.

При розробці моделей зовнішніх завад основну увагу приділено віддзеркаленням від підстеляючої поверхні. Показано, що існуючі емпіричні моделі дають прийнятну точність лише для фіксованих частотних діапазонів та вузького кола архітектур міської забудови.

У даному розділі проведено детальні дослідження моделей розсіяння ЕМ хвиль від статистично шорсткої підстеляючої поверхні та від міського ландшафту різних типів. Показано, що для розрахунків потужності сигналу, що приймається, необхідно враховувати геометричні затінення та внесок дифракційних компонентів у результуючий сигнал. При розсіянні на плавних неоднорідностях поле в межах напівтіні убуває по експоненті. Тому в якості функцій ослаблення взяті ступінчасто-експоненціальні функції виду

$$\eta\left[\theta_p, s\left(x_p, y_p, z_p\right)\right] = \begin{cases} \exp\left[\varepsilon(z - z_{kp})\right] & \text{при } \operatorname{tg}\theta_p < s\left(x_p, y_p, z_p\right); \\ \eta(\cdot) & \text{при } \operatorname{tg}\theta_p \geq s\left(x_p, y_p, z_p\right), \end{cases} \qquad (1)$$

де θ_p – кут падіння ЕМ хвилі; $s(*)$ – функції нахилів в напрямі розсіяння.

Для запропонованих моделей функцій висот і нахилів поверхні із складними шорсткостями запропоновано використовувати двохмасштабну кореляційну функцію висот із різними характеристичними довжинами l_a та l_b :

$$r_h(x) = \sigma_h^2 \exp\left[-\frac{|x|}{l_a} + \frac{|x|}{l_a} \exp\left(-\frac{|x|}{l_b} \right) \right]. \qquad (2)$$

Завдяки двохмасштабності функції (2) її можна використовувати для широкого діапазону поверхонь з дрібними неоднорідностями та крупними шорсткостями, у тому числі й штучного походження.

Для мереж МЗ нових поколінь з порівняльно малими розмірами чарунок умови дальньої зони не виконуються навіть на межі чарунки. Крім того, за умов щільної міської забудови внесок дифракційних компонентів стає все більш помітним. У роботі досліджено особливості розповсюдження ЕМ хвиль у мережах МЗ нових поколінь. Для урахування затінень в умовах, коли кут падіння не завжди можна вважати постійним, використано результати теорії викидів випадкових процесів щодо числа перетинань випадкової функції висот $h(x,y)$ із заданою безперервною функцією $s_{bV}(\theta_1) = \mathrm{tg}(2\theta_1 - \pi/2)$, де θ_1 - кут падіння ЕМХ. Для визначення середньої довжини затіненої ділянки використано вираз для зв'язку між дисперсією висот σ_h^2 та нахилів σ_s^2 випромінюваної поверхні: $\sigma_s^2 = -\sigma_h^2 r_h''(0)$, де $r_h''(0)$ - друга похідна кореляційної функції висот у точці нуль. На рис. 1 зображено графіки реалізації профілю випадкової функції висот $h(x)$ вздовж вісі x, функції нахилів поверхні $s(x)$ і детермінованої функції $s_{bV}(\theta_1)$, вираженої через геометричні координати $h(x)$ і x при постійній висоті підвісу антени. Штриховою виділені так звані повторні затінення – максимуми, які затінюються передуючими, більш високими максимумами висот поверхні. На рис. 1 в якості прикладу показаний один з перепадів висот Δh і відстань між сусідніми максимумами δx. Повторні затінення виключаються з загального розгляду для усунення завищених оцінок функцій затінення.

На рис. 2 та 3 зображені графіки функцій затінення, розраховані з використанням виразів (1,3), в які введена КФ виду (2) з різними характеристичними висотами.

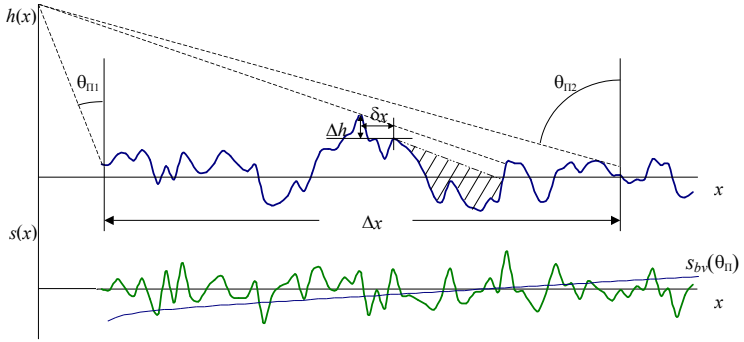


Рис. 1. Геометричні співвідношення при розповсюдженні у проміжній зоні.

$s_{bv}(\theta_1)$ – допоміжна функція зміни кута падіння по горизонтальній координаті

Загальний вираз для функцій затінювання у довільному напрямі площини $X0Y$ має вигляд

$$\eta_{ç}\left[\theta_{ï},s(x,z)\right]=\left|\left[x_{ñðç}(\theta_{ï})\overline{x}+y_{ñðç}(\theta_{ï})\overline{y}\right]\Big/\left[\Delta x\overline{x}+\Delta y\overline{y}\right]\right|+\left|\eta\left[\theta_{p},s(x_{p},y_{p},z_{p})\right]\right|, \quad (3)$$

де $\eta\left[\theta_{p},s(x_{p},y_{p},z_{p})\right]$ – доданок, обумовлений дифракційними складовими.

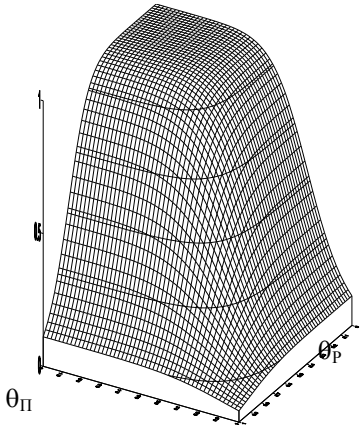


Рис. 2. Функція затінення.
$l_a = 20$ м, $l_b = 10$ м

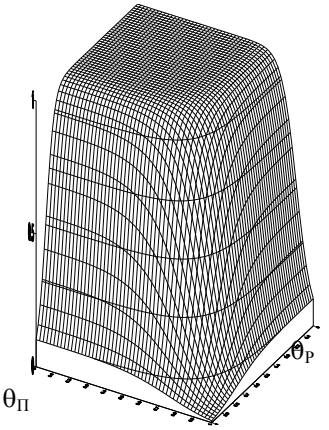


Рис. 3. Функція затінення.
$l_a = 200$ м, $l_b = 1$ м

$\theta_{Ï}, \theta_{Ð}$ – кути падіння та розсіяння відповідно

Визначені одномірні функції затінення з урахуванням внеску дифракційних компонентів. При врахуванні внеску дифракційних компонентів функція затінення відрізняється від нуля навіть при ковзному розповсюдженні ЕМ хвиль. Завдяки цьому потужність результуючого сигналу на прийомній стороні збільшується на 5% …15%.

Ці результати наведені та використані для вирішення завдання радіопланування у четвертому розділі. Вони відрізняються від результатів, отриманих іншими авторами, саме врахуванням додаткового внеску дифракційних складових в результуючий розсіяний сигнал.

При обгрунтуванні моделей розсіяння в умовах міського ландшафту був використаний метод крайових хвиль у фізичній теорії дифракції, розроблений П.Я. Уфімцевим. У роботі проаналізовані кількісні характеристики хвиль первинної дифракції на ребрах і клиновидних неоднорідностях та діаграми складових дифрагованого поля на ребрах і клинах різної форми для різних кутів падіння. Показано, що внесок цих складових в сумарне поле може бути суттєвим не тільки в області тіні $\pi+\varphi_0 \le \varphi < \alpha$, але й в області опромінення $0 \le \varphi < \pi+\varphi_0$, де α – кут при вершині ребра (клина), φ_0 - кут падіння, φ - кут спостереження.

За результатами проведених досліджень дані попередні кількісні оцінки компонентів сигналів і завад. З урахуванням усіх розглянутих складових були отримані такі оцінки очікуваних співвідношень сигнал/(шум плюс завади)

– для сільської місцевості з порівняно рідкими вкрапленнями штучного походження – від 10 дБ до -10 дБ;

– для міста з щільною та різноповерховою забудовою (типу великого обласного або промислового центра) – від 7 дБ до -15 дБ.

У **третьому розділі** розроблено комбінований метод радіопланування мереж нових поколінь. Обгрунтовані загальні принципи планування мереж МЗ, такі як визначення загальної стратегії побудови і експлуатації мережі; планування мережі на тривалу перспективу з урахуванням її майбутнього розвитку, розширюваності і масштабованості; комплексне застосування сучасних мережних і комп'ютерних технологій, забезпечення взаємодії з мережами інших операторів; облік спеціальних умов і вимог замовника (користувачів) мережі в найближчій і віддаленій перспективі; забезпечення необхідного рівня експлуатації і контролю надійності планованої мережі.

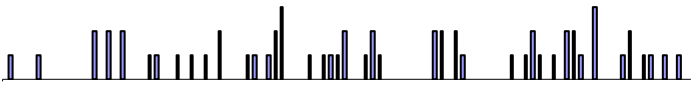
Основними вихідними даними для вирішення задачі радіопланування є, в першу чергу, діапазон частот мережі МЗ, яка розгортається, і експлуатаційно-технічні характеристики устаткування: потужність передаючого пристрою і форма діаграми спрямованості антенного пристрою БС; потужність передаючого пристрою і чутливість приймального пристрою МС. Крім того, з урахуванням специфіки мереж мобільного зв'язку третього і наступних поколінь, при рішенні задач радіопланування необхідно враховувати розподіл ресурсу пропускної спроможності між користувачами, оскільки по суті, має місце зворотно пропорційна залежність площі покриття від числа абонентів, які обслуговуються з гарантованою якістю сервісу.

З урахуванням результатів проведеного аналізу зроблено висновок, що вкрай необхідно підвищувати точність розрахунків, понад усе, розрахунків втрат потужності сигналу, оскільки навіть мінімальна економія при високій щільності розташування БС дасть значний загальний виграш.

Розроблені методи урахування характеристик ландшафту при радіоплануванні. Найбільш інформативним джерелом даних про параметри ландшафту є векторні цифрові карти місцевості, за якими можна визначити кореляційні функції висот поверхні у довільному напрямку практично з будь-якою потрібною точністю. Методика розрахунків є такою.

З карти знімається профіль висот поверхні, за яким визначається профіль нахилів поверхні. Він використовується для розрахунку відповідної кореляційної функції. Отримані дані використовуються для розрахунків функцій затінень. Аналогічно знімається профіль висот будівель у довільному напрямку. Знятий профіль представляється послідовністю прямокутних імпульсів з випадковими амплітудами та періодом. Наложивши його на профіль поверхні, отримуємо результуючий профіль (у згладженому вигляді). На рис. 4 зображені графіки відповідних профілів.

а)



б)

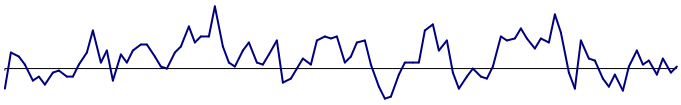


Рис. 4 Профілі поверхні: а) профіль висот будівель; б) профіль поверхні з накладеним профілем будівель

На рис. 5 зображено графік профілю поверхні зі штучними неоднорідностями типу будівель.

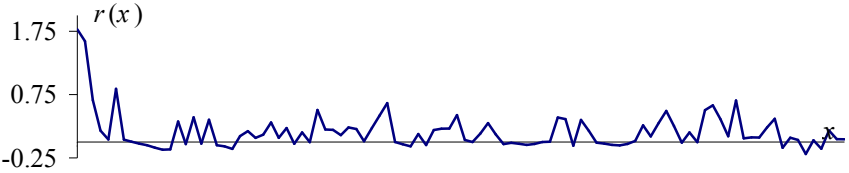


Рис. 5 Графік профілю поверхні зі штучними неоднорідностями типу будівель

1. КФ профілю поверхні без штучних неоднорідностей в області високої кореляції добре описується гаусівською кривою, тоді як КФ профілю з штучними неоднорідностями краще апроксимується експоненціальною функцією.
2. Відносне звуження основної пелюстки КФ профілю з штучними неоднорідностями обумовлено впливом будівель як викидів з різкими перепадами висот.
3. Накладені штучні неоднорідності (будівлі) дають основний внесок у вигляді другої пелюстки. Віддалені пелюстки КФ виникають унаслідок взаємного впливу висот будівель, розташованих на великих відстанях один від одного.

Таким чином, КФ висот розраховується за даними, що вводяться з цифрових карт місцевості. Результати вводяться в загальний алгоритм радіопланування.

У мережах МЗ третього покоління об'єм трафіку, який обслуговується кожною БС, не обмежується апріорі розподілом фіксованих каналів і повторним використовуванням частот, як в системах другого покоління, але за умовчанням обмежується рівнем завад в зоні обслуговування. Це дозволяє гнучко використовувати радіо ресурси залежно від умов розповсюдження і розподіли джерел завад, але робить проблему планування радіомережі складнішою, оскільки для оцінки системи покриття повинна бути розглянута не тільки потужність сигналу, а якість сервісу в цілому.

Для оцінки якості сигналу, що приймається, в умовах багатопроменевості зазвичай використовується відношення потужності сигналу до потужності інтерференційних завад S_{IR}. Гарантія якості сигналу означає, що S_{IR} перевищує мінімально допустиме значення $S_{IR\min}$, яке задається залежно від даних послуг зв'язку (наприклад, голос, відео, пакетна передача даних). Відношення S_{IR} запишемо в такому вигляді:

$$S_{IR} = S_F \frac{P_r}{k_{ort} P_{\text{int}} + P_{ext} + P_n},$$

де P_r – потужність прийнятого сигналу; P_{int} – сумарна потужність інтерференційних завад через багатопроменевість при розповсюдженні сигналу

своєї БС усередині даного осередку; P_{ext} – сумарна потужність сигналів від інших БС усередині даної чарунки; P_n – потужність внутрішнього шуму, моделлю якого служить модель білого гаусівського шуму; S_F – коефіцієнт розширення спектру сигналу при передачі; k_{ort} – коефіцієнт втрати ортогональності сигнальних кодів при багатопроменевому розповсюдженні $\left(0 \le k_{ort} \le 1\right)$.

У задачі розміщення БС необхідно вибрати підмножину варіантів розміщення в межах множини *M*, і розставити контрольні точки до доступних базових станцій, беручи до уваги очікуваний об'єм трафіку, необхідну якість сервісу по критерію величини S_{IR}, витрати на підготовку ділянки і власне монтаж станції. Ця задача представляє собою класичну задачу мінімізації

$$J_n\left(x\right) \to \min\left(\sum_{j=1}^{m} c_j y_j + \mu \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} u_i q_i x_{ij}\right), \qquad (4)$$

де x_{ij}, y_j – бінарні змінні (0 або 1), q_i – дійсні змінні, якими описується відносне покращення моделі у процесі уточнення її параметрів (внеску дифракції на перешкодах, кореляції висот поверхні з штучними вкрапленнями тощо); $0 < \mu \le 1$ – коефіцієнт компромісу, який вибирається по даним експериментів на реальній мережі МЗ.

Вираз (4) представляє задачу мінімізації з лінійними та нелінійними обмеженнями, якими описуються умови реального функціонування мережі (наприклад, умова існування не більше однієї БС у чарунці, обмеження на максимальну потужність передавача БС, на максимальний обсяг трафіку, що передається тощо).

Задача оптимізації числа і розташування базових станцій характеризується такими особливостями. По-перше, це стохастична задача внаслідок випадкових умов розповсюдження сигналів, властивостей середовища розповсюдження і т. ін. По-друге, розмірність задачі велика. Число параметрів, що оптимізуються, дуже приблизно можна оцінити як добуток числа базових станцій в зоні обслуговування на число змінних параметрів в даній мережі мобільного зв'язку. До цього результату необхідно ще додати число параметрів, загальних для мережі в цілому: характеристики ландшафту, середньорічні і сезонні зміни метеорологічних умов, випадкові зміни навантаження на мережу в цілому і на окремі її сегменти і ін. Можна припускати, що загальне число змінних параметрів в даній задачі оптимізації складатиме сотні або навіть тисячі. Найефективнішими алгоритмами рішення таких задач є евристичні алгоритми, в яких здійснюється статистичний пошук. Для розв’язання поставленої задачі у роботі вибрано метод табу-пошуку як достатньо простий та ефективний.

Основні елементи алгоритму.

1. Набір параметрів, що оптимізуються. У нашому випадку це число базових станцій, потужності сигналу на входах приймачів мобільних і базових станцій, пропускна спроможність по висхідному і низхідному каналах.
2. Пробне і поточне рішення. Це елементи пошуку і порівняння поточних результатів рішення.

3. Кроки пошуку, які характеризують процес генерації пробних рішень, пов'язаних з поточним станом пошуку.
4. Набір імовірних напрямів кроку пошуку – набір пробних рішень, близьких до поточного рішення. У даній задачі частина аргументів є безперервними величинами, отже, безліч пробних рішень може прагнути до нескінченності. При практичній реалізації алгоритму необхідно оперувати на підмножині з обмеженим числом пробних рішень.
5. Обмеження на деякі кроки пошуку, які виявилися невдалими. Заборонені кроки запам'ятовуються і надалі не застосовуються. Ефективність рішення (швидкість збіжності, відсутність зациклень на локальних екстремумах) безпосередньо залежить від числа знайдених невдалих кроків. Розмір списку заборонених кроків пов'язаний з розмірністю задачі. У деяких джерелах указується, що достатньо ефективним є простий вибір розміру списку близько 7. При практичній апробації якнайкращі результати були одержані при розмірі списку біля n/3, де n – розмірність задачі. Для задач радіопланування розмір списку звичайно не перевищує 25% – 35% від розмірності задачі.
6. Критерій подолання – правило ігнорування заборони. Якщо по результатах *k*-й проби заборонений крок приводить до рішення з кращою цільовою функцією, ніж та, що була одержана на тому ж кроці, цей крок приймається. Гнучкість процедури пошуку декілька підвищується.
7. Критерій останову – умова, при якому процес пошуку припиняється. Це може бути перевищення допустимого числа ітерацій після останньої зміни якнайкращого рішення або перевищення максимально допустимого числа ітерацій.
8. Алгоритм і псевдокоди програми приведені в додатках При моделюванні застосовувалися програми класичного табу-пошуку і табу-пошуку з локальною апостеріорною оптимізацією, модифіковані для обліку функцій затінювання і дифракційних складових електромагнітного поля.

У **четвертому розділі** проведено системні дослідження ефективності розробленого методу радіопланування мереж МЗ. Встановлено, що для мінімізації затрат на організацію МЗ нових поколінь необхідно створювати ієрархічну структуру типу “ макросота – мікросота – пікосота”. Виконано системний аналіз взаємного впливу ключових чинників радіопланування мереж нових поколінь, визначено рівні ієрархії планування та управління, об'єкти управління і періодичність управляючих дій. Показано, що при радіоплануванні та поточній експлуатації вельми важливо встановлювати необхідну точність представлення вихідних даних, зокрема, детальність представлення даних з цифрових карт в залежності від властивостей підстеляючої поверхні. Наприклад, при надто дрібному масштабі карти характерні деталі, за якими можна оцінити внесок вторинного розсіяного поля, згладжуються. З іншого боку, при крупному масштабі виникає ефект зашумлення кореляційної функції висот поверхні внаслідок дроблення цільних об’єктів у файлах карти. За результатами проведеного аналізу встановлено, що масштаб карти має бути одного порядку з характерними розмірами штучних об’єктів. Зокрема, при середньому розмірі, що лежить у границях від 10 до 50 м, доцільно використовувати карти масштабу 1:5000 ... 1:10000.

Розроблено процедуру вибору ключових параметрів радіопланування та аналізу взаємної кореляції цих параметрів. Ключовими параметрами, що підлягають оптимізації у процесі радіопланування, є затримка передачі, пропускна спроможність та втрати пакетів при передачі даних.

У роботі визначені коефіцієнти кореляції ключових параметрів оптимізації при плануванні гіпотетичної мережі 3*G*. Результати кореляційного аналізу служать ключовим індикатором моніторингу та регулювання потокових даних та *Web*-сервісів. Ключові параметри мають найбільший вплив на результуючу якість сервісу.

Також розглянутий вплив геометричних затінень та дифракційних складових при розповсюдженні ЕМ хвиль у щільній міській забудові при нерегулярній та регулярній конфігурації будівель, при високо та низько розташованих антенах БС тощо.

Для автоматизації вирішення завдання розташування БС використано методику побудови діаграм Вороного. При побудові діаграми Вороного використано алгоритм замітаючої прямої (алгоритм Форчуна), модифікований для задачі розташування БС. На кожному кроці алгоритму діаграма Вороного побудована для множини, що складається із замітаючої прямої і точок зліва від неї.

При цьому межа між областю Вороного прямою і областями точок складається з відрізків парабол, які описуються рівнянням, модифікованим для задачі розташування БС: $\alpha_{rc} = y_k \frac{1}{2\left(x_{kj} - y_{kj}\right)}\left(x_k^2 - 2x_{kj}x_k + x_{kj}^2 + y_k^2 - y_{kj}^2\right)$,

де y_{kj} представляє собою лінію сканування в момент спостереження, а $D_k = \left(x_k; y_k\right)$ – точка області Вороного. По координатам даної точки визначається параметр дуги α_{rc}. На рис. 6 показані етапи побудови діаграми Вороного.

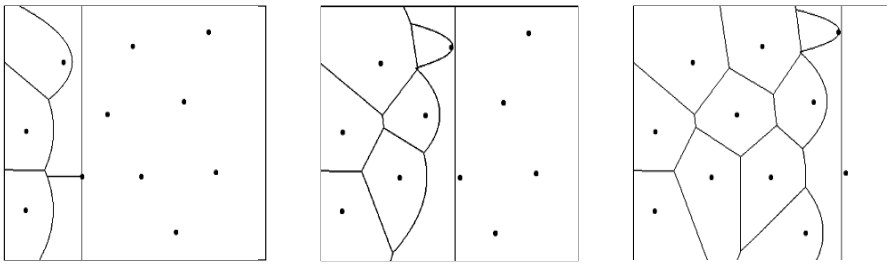


Рис. 6 Етапи побудови діаграми Вороного

З використанням діаграм Вороного розроблено модифікований алгоритм табу-пошуку точок оптимального розміщення БС з урахуванням функцій затінення та внеску дифракційних складових у результуючий сигнал. Модифікація алгоритму заключається у так званій локальній апостеріорній оптимізації – урахуванні поведінки алгоритму пошуку на попередніх етапах для

зміни балансу між детальним пошуком в області перспективних рішень та виходом у сусідні області для пошуку рішень, які, можливо, мають ще кращу якість, тобто ще менше значення цільової функції. Баланс між поглибленим пошуком в околицях хороших рішень і дослідженням всього простору рішень для знаходження інших перспективних областей зсувається в ту або іншу сторону за наслідками попереднього аналізу. При такому налаштуванні алгоритму із розгляду більш ефективно виключаються локальні екстремуми.

Проведено чисельне моделювання розташування БС з наступними вихідними даними (табл. 1).

Таблиця 1.

№	Параметр	Значення
1.	Розмір зони покриття	10×10 км
2.	Загальне число абонентів в зоні покриття (двомірний гаусівський розподіл в зоні)	1000
3.	Вихідне число БС	100
4.	Коефіцієнт розширення спектру S_F	128
5.	Коефіцієнт ортогональності сигнального коду k_{ort}	0,32
6.	Відношення сигнал/завади по висхідному каналу S_{IRU}, дБ	5,4
7.	Відношення сигнал/завади по низхідному каналу S_{IRD}, дБ	7,2
8.	Коефіцієнт відносного покращення моделі q_i	0,16
9.	Потужність внутрішніх шумів, Вт	$1{,}8\times10^{-14}$

На рис. 7 зображені графіки зміни інтегрального компоненту цільової функції – загальної потрібної потужності для забезпечення покриття з необхідною якістю сервісу – при пошуку оптимального розміщення однієї з БС. Функція 1 розрахована без урахування додаткових складових вторинного поля розсіяння, обумовлених затінюваннями, і дифракційних складових. Функція 2 розрахована з урахуванням цих складових. Негладкість кривої 1 пояснюється підключенням і відключенням користувачів в режимі м'якої естафетної передачі (хендовера). Крива 2 більш гладка завдяки підсумовуванню складових вторинного поля, які мають випадковий характер і не залежать один від одного. Що ще більш важливо, при урахуванні цих складових результуюча потрібна потужність БС в середньому зменшується приблизно на 4% – 5%.

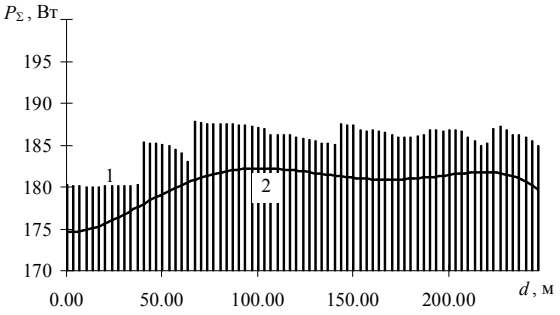
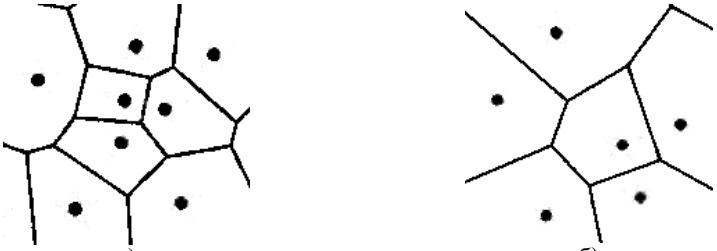


Рис. 7 Зміна параметра S_{IR} цільової функції при зсуві БС у зоні покриття вздовж горизонтальної координати. 1 – класичний табу-пошук; 2 – табу-пошук з локальною апостеріорною оптимізацією

Відповідно, після оптимізації розташування БС з урахуванням складових вторинного поля стає більш помітною, що ілюструється рисунком 10. Показано розміщення БС на ділянці розміром 3×3 км у центрі загальної зони покриття.



а) б)

Рис. 8 Сегменти зони покриття після оптимізації розміщення:
а) без урахування геометричних затінювань і дифракційних складових;
б) з урахуванням геометричних затінювань і дифракційних складових

Після оптимізації без урахування складових вторинного поля були визначені 63 точки розміщення, а з урахуванням цих складових – 59 точок. Враховуючи високу початкову вартість БС, а також вартість експлуатації, можна зробити висновок, що така економія є вельми істотною.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення та нові шляхи вирішення науково-прикладного завдання, що полягало в підвищенні ефективності радіопланування мереж третього та четвертого покоління необхідно завдяки врахуванню як перевіддзеркалень, багатопроменевості і дифракційних складових, так і поточному навантаженню на мережу. Розроблено метод радіопланування мереж МЗ на основі уточнених моделей розповсюдження ЕМ хвиль у проміжній зоні і оцінювання середньої потужності сигналу в умовах навантаження, що змінюється.

Загальне завдання радіопланування є комбінацією часткових задач статистичної електродинаміки і багатокритеріальної оптимізації. При цьому критерії, по яких приймається те або інше рішення, як правило, є суперечливими. По своїй суті такі завдання відносяться до завдань комбінаторної оптимізації, принциповою особливістю яких є їх велика ресурсоємність. Тому в дисертаційній роботі розроблено алгоритм табу-пошуку з локальною апостеріорною оптимізацією, який відноситься до класу евристичних алгоритмів, що є наближеними за визначенням. При їх застосуванні вдається у процесі пошуку оптимального рішення уникнути зациклювання на локальних екстремумах та можна досягти потрібної точності за припустимий час з прийнятними потрібними ресурсами.

У процесі дисертаційних досліджень отримано такі наукові результати.

1. Вдосконалений метод оцінки розсіяного поля при прийомі радіохвиль короткого дециметрового діапазону мережі мобільного зв'язку як в зоні Фраунгофера, так і в проміжній зоні. При використовуванні даного методу спрощується рішення задачі прогнозу оптимального положення БС.

2. Вперше розроблений комбінований метод радіопланування мережі БС за наслідками оцінки параметрів рельєфу шляхом сумісного використовування результатів послідовного вимірювання в контрольних точках параметрів сигналу, що приймається, і даних цифрових карт місцевості. Показано, що розроблений метод дає необхідну точність визначення оптимальних параметрів розміщення БС для різних типів рельєфу місцевості в зоні покриття.

3. Знайшов подальший розвиток метод евристичної оптимізації розміщення БС, в якому для обліку внеску дифракційних складових при розсіянні на елементах конструкцій будівель і споруд запропонований метод локальної апостеріорної оптимізації за апріорними даними. Завдяки застосуванню даного методу підвищується точність розрахунку і знижується ризик зациклення на локальних екстремумах цільової функції.

В результаті рішення поставлених задач одержані нові практичні результати, до яких можна віднести наступні:

– основні результати теоретичного характеру доведені до розрахункових формул, алгоритмів та програм, які можна використовувати при практичному розгортанні мереж мобільного зв'язку третього та четвертого поколінь;

– виведені вирази для розрахунку функцій затінювання при розповсюдженні ЕМ хвиль в проміжній зоні над підстеляючою поверхнею з складними шорсткостями і вкрапленнями неоднорідностей штучного походження. Ці вирази необхідні для практичних розрахунків відношення сигнал/(шум плюс завади) в мережах мобільного зв'язку з сотами обмеженого розміру;

– результати системного аналізу взаємного впливу ключових параметрів радіопланування мережі мобільного зв'язку і розробки методу оцінювання статистичного зв'язку цих параметрів методом множинної кореляції і регресії, що дає можливість виділити зі всієї сукупності параметрів ключові параметри для вирішення оптимізаційної задачі радіопланування;

– результати розробки модифікованого алгоритму евристичної оптимізації на основі табу-пошуку з локальною апостеріорною оптимізацією за апріорними даними; з використанням цих результатів знижується ризик зациклення алгоритму на локальних екстремумах, а прийнятне рішення задачі оптимального розміщення БС в зоні покриття отримується за практично досяжне число кроків.

При рішенні задач радіопланування мережі мобільного зв'язку із застосуванням розроблених методів можна, по-перше, добитися зниження, як мінімум, на 4% – 5%, потрібної потужності базових станцій, а по-друге, зменшення числа базових станцій не менше, ніж на 6% – 10% для мережі, що включає до 100 базових станцій. Враховуючи високу початкову вартість устаткування мереж мобільного зв'язку і великі витрати на поточне обслуговування, таку економію можна вважати істотною.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Деревянных А.Е. Сравнительный анализ задач радиопланирования для сетей 2*G* и 3*G* / А.Е. Деревянных // Наукові записки УНДІЗ. – 2009 – № 4(12). – С. 58 – 64.

2. Деревянных А.Е. Комбинированный метод радиопланирования сетей 3G / А.Е. Деревянных // Наукові записки УНДІЗ. – 2011 – № 3(19). – С. 29 – 37.

3. Деревянных А.Е. Системный анализ взаимного влияния ключевых факторов радиопланирования сетей 3G / А.Е. Деревянных // Збірник наукових праць "Проблеми інформатизації та управління", К.: НАУ. – 2011 – № 3(35). – С. 21 – 25.

4. Деревянных А.Е. Анализ эффективности алгоритмов радиопланирования сетей мобильной связи новых поколений 3G/4G / О.В. Копейка, А.Е. Деревянных // Наукові записки УНДІЗ. – 2015 – № 3(37). – С. 5 – 17.

5. Деревянных А.Е. Расчет корреляционных функций высот поверхности для задач радиопланирования сетей мобильной связи третьего поколения / А.В. Дробик, А.Е. Деревянных // Зв'язок, №3, 2010. – С. 36 – 41.

6. Деревянных А. Е. Методика расчета потерь мощности сигнала в задаче радиопланирования систем мобильной связи новых поколений / А.Е. Деревянных, С.В. Кондратюк // Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні питання регулювання у сфері телекомунікацій та користування радіочастотним ресурсом» – К.: Національна комісія з питань регулювання зв'язку України, 18-20 травня 2010 р. – С. 69 – 72.

7. Деревянных А.Е. Сравнительный анализ моделей распространения электромагнитных волн в условиях города / А.Е. Деревянных // Вісник УНДІЗ. – 2008 – № 1. – С. 64 – 65.

8. Деревянных А.Е. Методика радиопланирования беспроводных сетей передачи данных / А.Е. Деревянных, В.А. Трофименко // Збірник тез II Міжнародної науково-технічної конференції Національного авіаційного університету "Комп'ютерні системи та мережні технології" (CSNT-2009), 10-12 червня 2009 р. – К.: НАУ, 2009. – С. 34.

9. Деревянных А.Е. Метод многоуровневого радиопланирования сетей мобильной связи новых поколений / А.Е. Деревянных // Збірник тез VI Міжнародної науково-технічної конференції Національного авіаційного університету "Комп'ютерні системи та мережні технології" (CSNT-2013), 11-13 червня 2013 р. – К.: НАУ, 2013. – С. 32.

АНОТАЦІЯ

Дерев'яних О.Є. Метод радіопланування базових станцій у мережах мобільного зв'язку нових поколінь. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеню кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі. Державний університет телекомунікацій, Київ, 2016.

Об'єкт дослідження – процес радіопланування мобільних мереж третього та наступних поколінь на основі комбінованого методу геометричної оптики та

фізичної теорії дифракції з корекцією шляхом тест-драйвів.

Предмет дослідження – моделі та методи радіопланування наземних мобільних мереж загального користування на основі теорії електродинаміки та методів оптимізації.

Методи дослідження: теорія електромагнітних хвиль, статистична електродинаміка та розсіювання хвиль у випадкових неоднорідних середовищах, методи оптимізації та розрахунків на ЕОМ.

Наукова новизна заключається у розробці нового підходу до створення електродинамічних моделей розповсюдження хвиль на міському ландшафті, над будівлями та спорудами. Метод урахування геометричних затінень та дифракційних компонентів при розповсюдженні електромагнітних хвиль над статистично шорсткою поверхнею є новим. Він дає вищу точність для частотних діапазонів мобільних мереж третього покоління.

Розроблено евристичні підходи для моделі, що базується на розрахунку потужності сигналу та відношення сигнал/(завади плюс шуми). Рандомізована процедура з локальною апостеріорною оптимізацією забезпечує добру апроксимацію рішень для реальних застосувань середньої та великої розмірності у прийнятний час.

Практична цінність роботи базується на таких результатах. Зроблено такі передпосилання для спрощення рішення. По-перше, враховано, що кожне з'єднання здійснюється для однієї базової станції. Тому не виключається урахування м'якої естафетної передачі, що дозволяє з'єднувати мобільний термінал водночас з множиною базових станцій. Крім того, враховані вимоги до таких ключових параметрів, як інтенсивність різних видів трафіку та якість сервісу, які характеризуються відношенням сигнал – завади.

Розроблені математичні моделі сигналів та завад у мережі мобільного зв'язку для застосування у процедурі радіопланування. Оцінені кількісні відношення сигнал – шум та сигнал – завади.

Проведено статистичний аналіз цільової функції, у яку входять параметри сигналів та завад, які є достатньою статистикою для оцінки якості зв'язку.

Розраховані потенційні статистичні характеристики сигналів, що приймаються, у залежності від довжини інтервалу спостереження та відношення сигнал – завади. Дані практичні рекомендації з методів програмної реалізації синтезованих алгоритмів з застосуванням метаевристичних алгоритмів оптимізації.

Доведено покращення точності розрахунку просторового положення базових станцій. Знижено середнє число базових станцій у зоні дії наземної мережі мобільного зв'язку загального користування третього покоління та вище завдяки оптимальному вибору позицій базових станцій та наданню рекомендацій по вибору параметрів обладнання, зокрема, нахилу антен.

Ключові слова: мережа зв'язку, ключові параметри функціонування, мобільна станція, базова станція, геометричні затінення, дифракційні компоненти, кореляція висот, завадозахищеність, метаевристичні алгоритми.

АННОТАЦИЯ

Деревянных О.Е. Метод радиопланирования базовых станций в сетях мобильной связи новых поколений. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – Телекоммуникационные системы и сети. Государственный университет телекоммуникаций, Киев, 2016.

Объект исследования – процесс радиопланирования мобильных сетей третьего и следующих поколений на основе комбинированного метода геометрической оптики и физической теории дифракции с коррекцией путем тест-драйвов.

Предмет исследования – модели и методы радиопланирования наземных мобильных сетей общего пользования на основе теории электродинамики и методов оптимизации.

Методы исследования: теория электромагнитных волн, статистическая электродинамика и рассеивание волн в случайных неоднородных средах, методы оптимизации и расчетов на ЭВМ.

Научная новизна заключается в разработке нового подхода к созданию электродинамических моделей распространения волн на городском ландшафте, над зданиями и сооружениями. Метод учета геометрических затенений и дифракционных компонентов при распространении электромагнитных волн над статистически шершавой поверхностью является новым. Он дает высшую точность для частотных диапазонов мобильных сетей третьего поколения.

Обсуждены основные характеристики важной проблемы планирования сетей универсальной мобильной системы связи (*UMTS*) с использованием эфирных интерфейсов широкополосного множественного доступа с кодовым разделом каналов (*W-CDMA*), а также перспективных сетей *LTE*. Предложена усовершенствованная модель на основе расчетов мощности, а также более точные расчеты отношения сигнал – помехи на основе точного учета мощности.

Поскольку решение даже задач среднего уровня в рамках этих проблем нуждается в более совершенных методах, чем для обычных задач оптимизации, разработаны эвристические подходы для модели, базирующиеся на расчете мощности сигнала и отношения сигнал/(помехи плюс шумы). Рандомизированная процедура с локальной апостериорной оптимизацией обеспечивает хорошую аппроксимацию решений для реальных применений средней и большой размерности в приемлемое время.

Практическая ценность работы базируется на таких результатах. Сделаны следующие предпосылки для упрощения решения. Во-первых, учтено, что каждое соединение осуществляется для одной базовой станции. Поэтому не исключается учет мягкой эстафетной передачи, что позволяет соединять мобильный терминал одновременно более чем с одной базовой станцией. Однако следует заметить, что это предположение является консервативным с точки зрения радиопланирования, поскольку при мягкой эстафетной передаче существует тенденция роста величин отношения сигнал – помехи. Кроме того, учтены требования к таким ключевым параметрам, как интенсивность разных видов трафика и качество сервиса, которые характеризуются отношением сигнал – помехи. В качестве входных

данных на этапе планирования сотовых сетей обычно нужна такая информация относительно пространства обслуживания: 1) набор возможных точек установления базовых станций; 2) распределение трафика, которое оценивается путем применения эмпирических моделей с предсказанием; 3) описание моделей распространения, базирующееся на аппроксимации моделей радиоканалов или на методах построения траекторий лучей.

Основная цель планирования – выбор мест для установки базовых станций с учетом разных аспектов, таких как стоимость, качество сигнала, площадь покрытия.

Защищаются комбинированные модели распространения радиоволн и метод радиопланирования позиций объекта – базовой станции – с необходимой точностью в пространстве базовых станций сети мобильной связи.

Разработаны математические модели сигналов и помех в сети мобильной связи для применения в процедуре радиопланирования. Оценены количественные отношения сигнал – шум и сигнал – помехи.

Рассчитаны потенциальные статистические характеристики принимаемых сигналов, в зависимости от длины интервала наблюдения и отношения сигнал – помехи. Даны практические рекомендации по методам программной реализации синтезированных алгоритмов с применением метаэвристических алгоритмов оптимизации.

Доказано улучшение точности расчета пространственного положения базовых станций. Снижено среднее число базовых станций в зоне действия наземной сети мобильной связи общего пользования третьего поколения и выше благодаря оптимальному выбору позиций базовых станций и предоставлению рекомендаций по выбору параметров оборудования, в частности, наклона антенн.

Ключевые слова: сеть связи, ключевые параметры функционирования, мобильная станция, базовая станция, геометрические затенения, дифракционные компоненты, корреляция высот, помехозащищенность, метаэвристические алгоритмы.

ANNOTATION

Dereviannykx O.E. Method of radio planning of the base stations in the mobile communication networks of new generations. it is Manuscript.

Dissertation on competition of graduate degree of candidate of engineering sciences after specialty 05.12.02 – Telecommunication systems and networks. State university of telecommunications, Kiev, 2016.

A research object is the process of radio planning of mobile networks of the third and next generations on the basis of the combined method of geometrical optics and physical theory of diffraction with correction by test-drives.

The article of research is models and methods of radio planning of the ground mobile networks of the common use on the basis of theory of electrodynamics and methods of optimization.

Research methods: theory of electromagnetic waves, statistical electrodynamics and scattering of waves in random non-homogeneous midst, methods of optimization and computer calculations.

A scientific novelty consists in development of new approach to creation of electro dynamic models of distribution of waves on a city landscape, above buildings and buildings. The method of account of the geometrical shadowing and diffraction components at distribution of electromagnetic waves above a statistically rough surface is new. He gives higher exactness for the frequency ranges of mobile networks of the third generation.

As the decision of even tasks of middle level within the framework of these problems needs more perfect methods, than for the ordinary tasks of optimization, heuristic approaches for a model are developed, that is based on the calculation of power of signal and relation signal/(interference plus noises). Randomized procedure with local a posteriori optimization provides good approximation of decisions for the real applications of largeness middle and in acceptable time.

The practical asset of work is based on such results. Such pre-conditions for simplification of decision are done. At first, it is taken into account that every connection is carried out for one base station. In addition, taken into account requirements to such key parameters, as intensity of different types of traffic and quality of service, which are characterized by the signal-interference ratio. As input information on the stage of planning of cellular networks such information on space of service is usually needed: 1) set of possible points of establishment of the base stations; 2) distributing of traffic, which is estimated by application of empiric models with the prediction; 3) description of models of distribution, being based on approximation of models of radio channels or on the methods of construction of trajectories of rays.

The primary purpose of planning is the choice of places for setting of the base stations taking into account different aspects, such as cost, quality of signal, area of coverage.

There are on the defensive the combined models of distribution of radio waves and method of radio planning of positions of object – base station – with necessary exactness in space of the base stations of mobile communication network. The practical recommendations from the methods of programmatic realization of the synthesized algorithms with the use of meta-heuristic algorithms of optimization are made.

The improvement of exactness of calculation of spatial position of the base stations is led to. The middle number of the base stations is reduced in the area of action of the ground mobile communication network of the common use of the third generation and higher due to the optimum choice of positions of the base stations and grant of recommendations on the choice of parameters of equipment, in particular, inclination of aerials.

Keywords: communication network, key performance indicators, mobile station, base station, geometrical shadings, diffraction components, correlation of heights, interference immunity, meta-heuristic algorithms.