

Чернігівський державний інститут економіки і управління
Чернігівський державний технологічний університет

ПІДХОДИ ДО МОДЕЛЮВАННЯ НЕОДНОРІДНИХ ТРАС ПОШИРЕННЯ РАДІОСИГНАЛУ ВЗДОВЖ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ

Постановка проблеми. Безперервний розвиток радіоелектронних засобів (РЕЗ) різного призначення, збільшення їх кількості та щільності розташування поряд з задачами ефективного використання електромагнітного спектру, електромагнітної сумісності РЕЗ, а також дотримання норм електромагнітної безпеки визначають необхідність розвитку теорії моделювання, прогнозування частотно-територіального планування і оптимізації просторового розташування РЕЗ.

Більшість сучасних державних і комерційних систем наземного радіозв'язку працюють в УКХ діапазоні частот, сигнали яких поширюються земною хвилею (за винятком дальнього тропосферного поширення), що і обумовлює інтерес до методів і способів підвищення точності прогнозування радіозв'язку з абонентами мережі, розрахунку надійності і каналної ємності зв'язку. Останнім часом для розв'язування даної проблеми застосовуються геоінформаційні технології. Ефективність геоінформаційних систем визначається широкими аналітичними і моделюючими можливостями відтворення в геоінформаційному просторі максимально точного просторового положення і геометрії об'єктів геопростору, а також їх атрибутивних характеристик і властивостей. Моделювання і прогнозування радіозв'язку в комп'ютерному середовищі вимагає відповідного математичного опису і точного відтворення процесів і умов поширення радіохвиль. Жорсткі вимоги до точного відтворення процесу поширення радіохвилі при моделюванні обумовлені суттєвою залежністю якісних показників сигналу і необхідних параметрів приймально-передавальної апаратури РЕЗ від каналу поширення. Тому задача точного опису каналу поширення радіохвиль і прогнозування якісних характеристик сигналу у довільній точці простору є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Фундаментальний внесок в розв'язання проблеми поширення радіохвиль внесли видатні вчені А. Зоммерфельд, П. Ван-дер-Поль, Г. Вейль, Е.Л. Фейнберг, М.В. Шулейкин, Б.А. Введенський, В.А. Фок та інші.

Статистичні моделі поширення радіохвиль над неоднорідними поверхнями на основі емпіричних даних одержані відомими вченими: Z. Yun, J. Okumura, M. Hata, M.I. Бардінім, Г.З. Рубінім, П.М. Трифономим та іншими і рекомендовані до використання Рекомендаціями Європейської конференції адміністрацій зв'язку (СЕРТ) і Міжнародного союзу електрозв'язку (сектору радіозв'язку – ITU-R).

Останнім часом активна наукова робота ведеться у сфері опису процесу поширення радіохвиль на нерегулярних трасах, що досліджувалося П.М. Дагуровим [1], А.І. Агарішевим [2], М.Т. Афанас'євим [3], А.В. Димовим [4], М.Г. Дембеловим, А.С. Настаченко, В.М. Лобановим та іншими.

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми.

Розроблений теоретичний апарат моделювання поширення радіохвиль на неоднорідних трасах передбачає виділення границь ділянок, в межах яких траса розглядається як однорідна. Виконання практичного моделювання вимагатиме автоматизованого призначення меж ділянок однорідності поширення радіохвиль, а також визначення і призначення меж перехідних зон між однорідними ділянками. Аналіз доступних програмних продуктів, а також спектру комерційних послуг з частотно-територіального планування і організації радіозв'язку (у тому числі радіорелейного) не визначив програмних продуктів, в яких розв'язується ця задача в даному розумінні. Не викликає сумнівів, що найбільш застосовуваними для розв'язання цієї задачі є програмні продукти, що здатні відтворювати існуючий геопростір, а саме геоінформаційні системи, переваги застосування яких перед іншими продуктами для моделювання процесу поширення радіохвиль наведені наприклад у [5]. Серед найбільш функціональних програмних продуктів, які здійснюють операції частотно-територіального планування, проектування топологічної структури, аналізу і структурної та параметричної оптимізації радіомереж різного призначення, можна визначити наступні: «Radio Telecommunication Engineering System» (RTES), якій розроблений з використанням ArcView GIS (включаючи компоненти Spatial Analyst, 3D Analyst, MapObjects); інтегрована система управління радіочастотним спектром ATDI; програмний комплекс ONEPLAN RPLS (Onega) компанії ИнфоТел з функціональними модулями оптимізації радіопідсистеми RPLS-XML, RPLS-DB RFP і RPLS-NEO; родина програмних продуктів «АЛЬБАТРОС», а саме програмні комплекси «Территория», «Зона», «Зона-ПДУ», «ЭМС-локальная», «ЭМС-РЭС», які розроблені ЗАТ «Інформаційний космічний центр «Північна корона»; програмний продукт для проектування радіорелейних ліній DRRL і підготовки санітарних паспортів об'єктів зв'язку SANZONE, які розроблені компанією «Центр телекомунікаційних технологій»; програмні комплекси «Балтика-СПС», «Балтика-ЭМС», «Балтика-РПЛ»; ГІС «ПІАР» науково-виробничої фірми «ЯР»; програмний продукт «RPS2: Radio Planning System 2» компанії «Сибірські інформаційні технології» та багато інших. Дані програмні продукти в своєму алгоритмі функціонування використовують стандартизовані моделі поширення радіохвиль, що рекомендовані до застосування Європейською конференцією адміністрацій зв'язку і Міжнародним союзом електрозв'язку (сектору радіозв'язку – ІТУ-Р) [6, 7]. Дані моделі визначають середнє значення електромагнітного поля в точці прийому, і, як правило, їх точність знаходиться в межах 10 дБ. Алгоритм обчислення в наведених програмних продуктах передбачає ручний або напівавтоматичний режим вибору моделі для всієї траси поширення, що здійснюється до початку моделювання. Вибір моделі з пропонованої множини здійснюється з просторового опису ділянки (зони) аналізу на власний розсуд дослідника або експерта за критерієм найбільшої відповідності умовам поширення радіохвиль. Слід відмітити, що зазначені програмні комплекси спроможні автоматично визначати зони прямої видимості, тіні і напівтіні.

До основних недоліків наведених програмних продуктів, які впливають на точність прогнозування якісних характеристик сигналу, на думку авторів, необхідно віднести наступні:

- ручний режим вибору моделі поширення радіохвиль не завжди може відповідати реальним умовам поширення радіохвиль;
- не враховується неоднорідність трас поширення радіохвиль;

- не враховуються різні фізичні властивості об'єктів-перешкод на трасі поширення радіохвиль.

Мета статті. Запропонувати механізм адекватного автоматизованого геоінформаційного моделювання поширення електромагнітних хвиль в умовах неоднорідних трас.

Виклад основного матеріалу. Основою автоматизованого прогнозування та оптимізації мереж радіозв'язку є алгоритми обчислення процесів поширення радіохвиль і розрахунку допустимого абонентського навантаження. В наведених програмних комплексах для цього використовується методика (рис. 1), яка полягає у поєднанні в єдиному інформаційному просторі технічних даних і просторових характеристик засобів радіозв'язку, статистичних даних про розподілення рухомих абонентів, відомих рекомендованих моделей поширення радіохвиль, методик обчислення зовнішніх і внутрішньосистемних завад і, відповідно, бази просторових даних з матрицею рельєфу місцевості і моделей великих просторових об'єктів, що можуть утворювати перешкоди на трасі поширення радіохвиль.

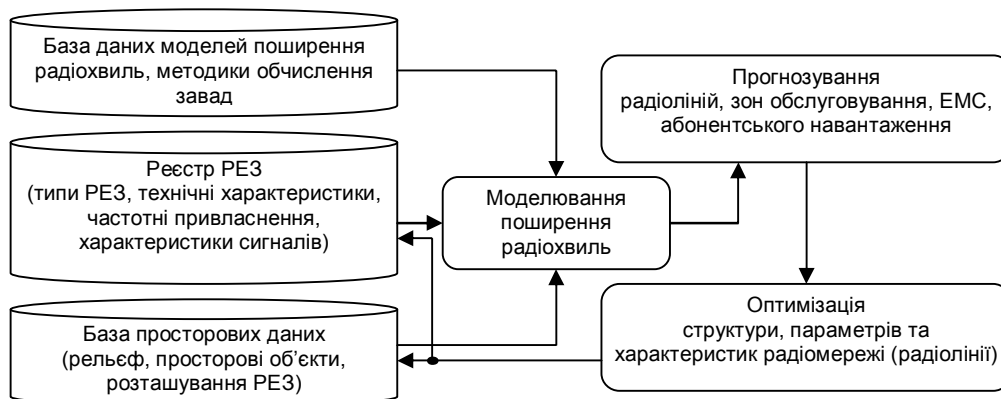


Рис. 1. Узагальнена структура частотно-територіального планування

Елементами будь-якої моделі поширення радіохвилі є енергетичні характеристики випромінюваного сигналу (координати РЕЗ, потужність сигналу на виході передавача, коефіцієнт підсилення і характеристика спрямованості антени), приймача сигналу (чутливість і координати радіоприймача, характеристики приймальних антен) та коефіцієнту послаблення сигналу, характерного для умов траси поширення. Коефіцієнт послаблення сигналу визначається висотами підняття антен передавача і приймача над землею поверхнею, довжиною хвилі сигналу і характеристиками траси поширення.

Неоднорідність трас поширення радіосигналу передбачає необхідність формування кусочно-однорідних трас (рис. 2), для яких коефіцієнт послаблення є складеною функцією відстані від джерела (на рисунку 2 дещо спотворено геометричне представлення послаблення сигналу для трас поширення, що зроблено для зручності сприйняття принципу формування кусочно-однорідних трас). В [8] показано, що коефіцієнт послаблення може бути як спадною, так і зростаючою функцією від відстані. Неоднорідність траси поширення земної

радіохвилі може визначатися довільною природою поверхні землі: різною діелектричною проникністю елементів земної поверхні на трасі поширення, фізичними об'єктами-перешкодами, різними коефіцієнтами відбиття від елементів земної поверхні тощо.

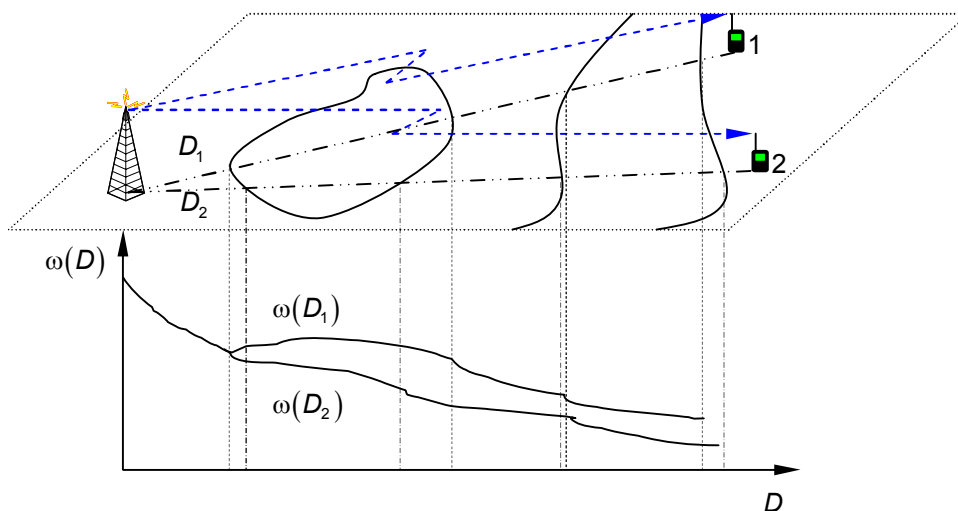


Рис. 2. Принцип формування кусочно-однорідних трас і функцій послаблення радіосигналу для різних радіоліній

Однією з суттєвих переваг геоінформаційних систем перед іншими комп'ютерними обчислювальними комплексами є наявність атрибутивних баз даних, що у поєднанні з об'єктно-орієнтованими технологіями можуть надавати моделям геоінформаційного простору властивостей реальних об'єктів. Відповідно до цього є можливість автоматичного формування трас поширення радіохвиль, з визначенням протяжності різнорідних зон, обчисленням функції послаблення сигналу для кожної зони і всієї траси в цілому.

З огляду на можливості геоінформаційних технологій авторами пропонується два підходи до обчислення складеної функції послаблення:

- визначення функції послаблення сигналу і обчислення коефіцієнта послаблення для кожної окремої радіолінії;
- формування карти послаблення сигналу досліджуваної області.

У першому випадку застосовуються векторні моделі місцевості (наприклад рис. 2), де для моделей місцевості, представлених точковими, лінійними і полігональними примітивами, атрибутом є властивість, що визначає вид часткової на інтервалі функції послаблення радіохвиль. Модель земної поверхні може бути представлена різними тематичними шарами і рельєфом земної поверхні. Окремим шаром представляються радіолінії у вигляді прямих відрізків, що з'єднують радіопередавач і радіоприймач. При виконанні оверлейних операцій відбувається пересічення радіолінії і меж моделей геопростору, що визначає протяжність різнорідних зон на трасі поширення. При цьому радіолінія розбивається на множину сегментів, кожний з яких відображає однорідну трасу поширення на інтервалі сегмента. Обчислення часткових функцій послаблення кожного сегменту радіолінії здійснюється на основі атрибутивних характеристик моделей геопростору.

У випадку прогнозування зон покриття базових станцій при зв'язку з мобільними об'єктами даний підхід передбачає дискретизацію простору, крок дискретизації при цьому визначається з міркувань досягнення необхідної точності і обчислювальних можливостей ГІС. Послаблення обчислюється для кожної окремої точки дискретного простору як для низхідних радіоліній (базова станція – мобільний РЕЗ), так і для висхідних (мобільний РЕЗ – базова станція). Отриманні дані дозволяють сформуванню поверхні, що характеризують рівень корисного сигналу.

Блок схема операцій методу кусочно-однорідного представлення радіотрас наведена на рисунку 3.



Рис. 3. Блок схема методу кусочно-однорідного представлення радіотрас

Інший підхід передбачає растрезацію простору з наступним присвоєння значень імпедансу кожному пікселю простору (рис. 4), причому імпеданс пікселів растру характеризує ступінь послаблення рівня сигналу при поширенні радіохвилі в межах окремої комірки.

Представлена таким чином растрова поверхня створює карту послаблення сигналу, формування якої може здійснюватись наступним чином: над існуючими моделями об'єктів геопростору і сформованими векторними моделями радіотрас виконують процедуру растрезації, причому, для цього підходу необхідним є формування векторних радіотрас виключно для РЕЗ, що задані своїми координатами; положення мобільних РЕЗ можна представляти кожним окремим пікселем растру.

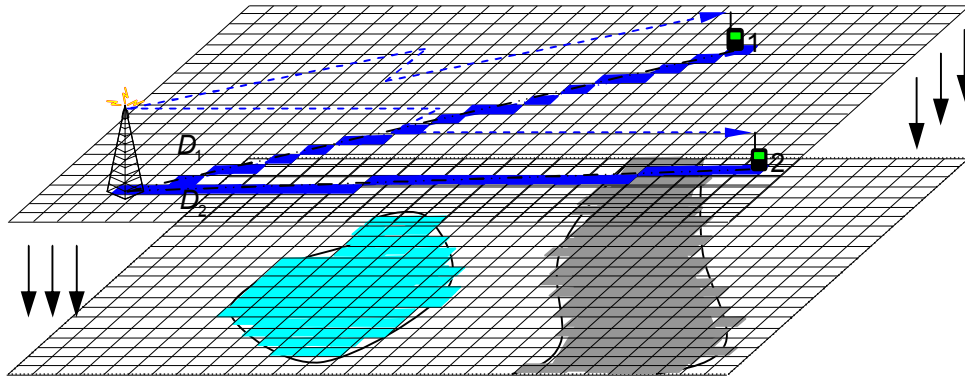


Рис. 4. Приклад растрезації простору аналізу

Кожний піксель створеної растрової моделі земної поверхні несе ознаку об'єкту простору. Растровий шар (шари) трас поширення радіосигналу проектується на растрову модель земної поверхні, де встановлюється відповідність між пікселями трас поширення сигналу і піксельними групами, що відображають неоднорідність земної поверхні. Якщо розглядати функцію послаблення сигналу на трасі поширення, якій у просторову відповідність поставлені атрибутивні властивості пікселів, то можна припустити, що рівень послаблення сигналу на трасі поширення в межах однорідної піксельної групи стає функцією від кількості пікселів, що належать однорідній ділянці траси поширення. Очевидним є той факт, що ступінь послаблення сигналу не є лінійною функцією від відстані, відповідно до цього обчислене послаблення у вигляді добутку кількості пікселів на імпеданс буде хибним. Розв'язати цю проблему, на думку авторів, можна використовуючи певну нелінійну функцію $k(j)$, в якій j визначає номер пікселя, що належать однорідному сегменту радіотраси у напрямку поширення хвилі. За цим припущенням коефіцієнт послаблення на s -тій однорідній ділянці $\omega(D_s)$ матиме вигляд:

$$\omega(D_s) = \sum_{j=1}^n (\omega_i \cdot k(j)),$$

де ω_i – значення імпедансу пікселя для i рівномірної зони. Додатковою складністю виступає той факт, що коефіцієнт послаблення має певну залежність від частоти сигналу. Зрозуміло, що створення множини карт послаблень для всіх можливих частот передавання сигналів вимагатиме наявності сховищ даних великих обсягів, що не завжди раціонально. На наш погляд краще передбачити процедури оперативного обчислення коефіцієнтів послаблення у відповідності до призначених на початку моделювання параметрів РЕЗ, при цьому значення частоти сигналу присвоюється пікселям радіотрас. Подальше обчислення імпедансу кожного окремого пікселя здійснюється за допомогою локальних операцій картографічної алгебри. Блок схема операцій обчислення втрат сигналу при поширенні на неоднорідній трасі з застосуванням карт послаблення сигналу наведена на рисунку 5.

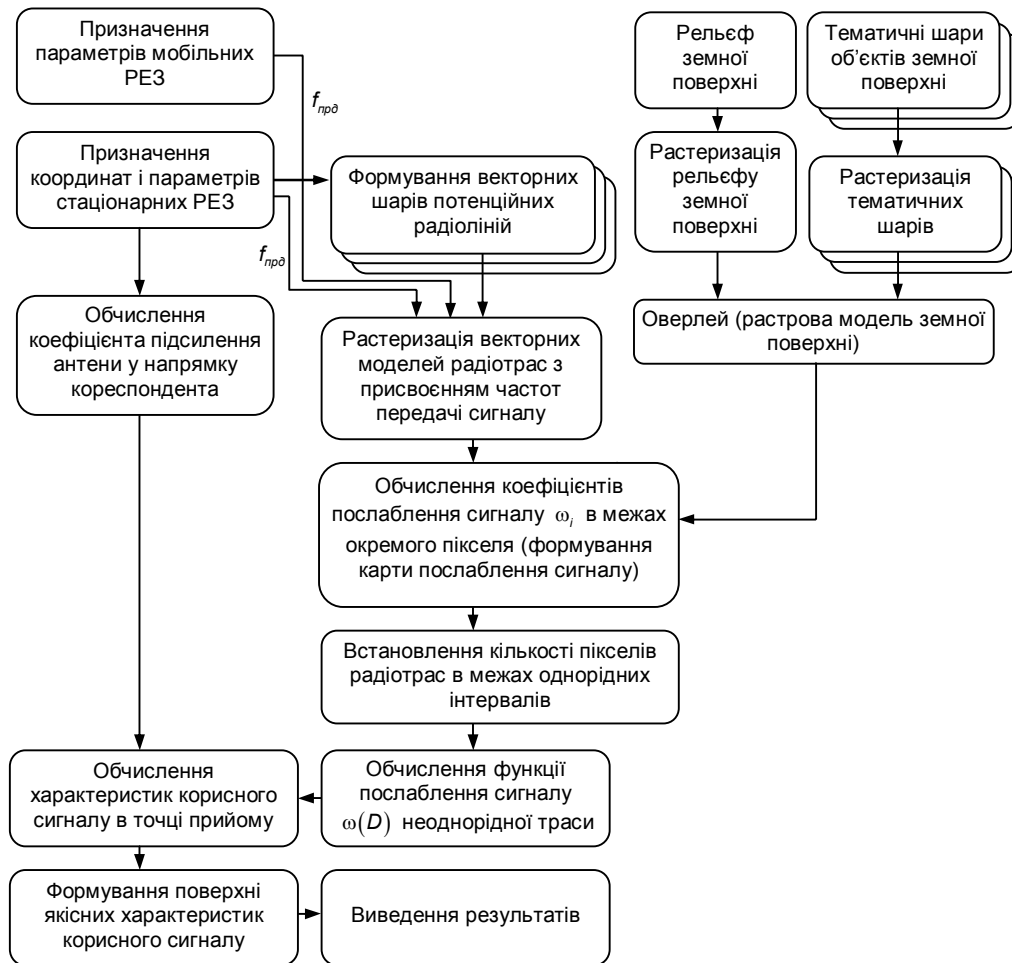


Рис. 5. Блок схема обчислень втрат сигналу при поширенні на неоднорідній трасі з використанням карт послаблень

Слід зауважити, що даний метод придатний не тільки для обчислення послаблення радіохвиль при поширенні земною хвилею на плоскій поверхні. Для прогнозування явищ інтерференції або дифракції растрова модель повинна відображати рельєф місцевості, тобто кожний піксель має висотну позначку, причому для відображення властивостей об'єктів земної поверхні, що можуть впливати на ступінь відбиття або поглинання радіохвилі потрібно використовувати додаткові растрові тематичні шари.

На перший погляд створення растрової карти для визначення функції послаблення сигналу дещо ускладнює алгоритм обчислення, і може вносити певні похибки, які визначаються кроком дискретизації простору, але при проведенні аналізу для множини регулярних точок простору, які представляють потенційне розташування мобільних РЕЗ, або операціях оптимізації мережі, які пов'язані з багатократним ітераційним обчисленням енергетичних полів, можна очікувати суттєвого скорочення машинних обчислювальних операцій.

Наприкінці відмітимо, що запропоновані підходи повинні доповнюватися обчислювальними алгоритмами, які мають можливості визначення меж зон прямої видимості, тіні і напівтіні, врахування явищ дифракції і інтерференції сигналу, визначення надійності та інших якісних характеристик зв'язку.

Висновки. Запропоновані методи є подальшим розвитком теоретичних і практичних розробок спрямованих на підвищення точності моделювання і прогнозування поширення радіохвиль вздовж земної поверхні. Однозначно, що дані методи відрізняються за точністю прогнозів і обсягом обчислювальних операцій, порівняння переваг і недоліків яких вимагає їх практичної реалізації і дослідження, на що і будуть спрямовані зусилля авторів. Слід зазначити, що у випадку успішної реалізації можуть бути створені умови для розвитку геоінформаційного сервісу у складі Національної інфраструктури геопросторових даних, призначення якого надання операторам радіозв'язку можливостей з планування, організації та оптимізації радіомереж з використанням геоінформаційних технологій і інформаційних ресурсів Національної інфраструктури геопросторових даних.

Список використаних джерел

1. Дагуров П.Н. Моделирование дифракционного распространения волн и структура поля радиоволн УВЧ и СВЧ на нерегулярных трассах : дис. Доктора физ.-мат. наук : 01.04.03 / Дагуров Павел Николаевич. – Улан-Уде, 2010. – 265 с.
2. Агарышев А.И. Прогнозирование характеристик дальнего распространения радиоволн в неоднородной ионосфере : дис. Доктора физ.-мат. наук : 05.12.01 / Агарышев Анатолий Иванович. – Иркутск, 2000. – 254 с.
3. Афанасьев Н.Т. Влияние ионосферных неоднородностей на распространение радиоволн в условиях сильной регулярной рефракции : дис. Доктора физ.-мат. наук : 01.04.03 / Афанасьев Николай Тихонович – Иркутск, 1999. – 314 с.
4. Дымов А.В. Моделирование распространения УКВ радиоволн в условиях города с учётом рельефа подстилающей поверхности : дис. Канд. физ.-мат. наук : 05.13.18 / Дымов Андрей Владимирович. – Ярославль, 2010. – 138 с.
5. Корнієнко І.В. Аспекти застосування геоінформаційних технологій для оптимізації розподілу радіочастотного ресурсу. // І.В. Корнієнко // Чернігівський науковий часопис. Серія 2, Техніка і природа : електронний збірник наукових праць. – Чернігів : ЧДІЕУ, 2011. – № 2(2). – С. 148-153.
6. База даних офіційних документів Рекомендацій Європейської конференції адміністрацій зв'язку [електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ecodocdb.dk/doks/doccategoryECC.aspx?doccatid=4>.
7. Офіційний сайт Міжнародного союзу електрозв'язку (сектору радіозв'язку) [електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.itu.int/ITU-R/index.asp?category=information&mlink=rhome&lang=en>
8. Фейнберг Е.Л. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности / Е.Л. Фейнберг. 2-е изд. – М.: Наука. Физматлит, 1999. – 496 с.

APPROACH TO MODELING THE INHOMOGENEOUS TRACY'S RADIO SIGNAL PROPAGATION ALONG THE GROUND

I. Korniyenko, S. Korniyenko

The article suggests ways to improve the accuracy of forecasting the energy characteristics of the radio signal ground wave propagating over the inhomogeneous surface.

Keywords: propagation of radio waves, inhomogeneous Thrace, modeling and forecasting, geographic information system.

ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ НЕОДНОРОДНЫХ ТРАС РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОСИГНАЛА ВДОЛЬ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

И. Корниенко, С. Корниенко

В статье предлагаются методы повышения точности прогнозирования энергетических характеристик радиосигнала, распространяющегося земной волной над неоднородной поверхностью.

Ключевые слова: распространение радиоволн, неоднородная траса, моделирование и прогнозирование, геоинформационная система.