

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ РАДІОФІЗИКИ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ
ім. О.Я. Усікова

На правах рукопису
УДК 621.371(260).029.65



Логвінов Юрій Федорович

МОДЕЛЮВАННЯ У ЗАДАЧАХ БАГАТОПРОМЕНЕВОГО ПОШИРЕННЯ
РАДІОХВИЛЬ НВЧ НАД РЕАЛЬНИМИ ПОВЕРХНЯМИ

Спеціальність 01.04.03 - радіофізика

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Харків - 1997



00750930 (0)

Дисертація є рукопис

Робота виконана в Інституті радіофізики та електроніки
ім. О.Я. Усікова НАН України

Науковий керівник: доктор технічних наук,
професор В.Б. Разсказовський

Офіційні опоненти:

1. Доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділом Інституту радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усікова НАН України Кієва Ф.В.
2. Кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник Інституту радіоастрономії НАН України Шарапов Л.І.

Провідна організація: Інститут іоносфери Міносвіти та НАН
України, м. Харків

Захист дисертації відбудеться "25" червня 1997 р. о 14 год.
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 02.29.01 в
Інституті радіофізики та електроніки ім. Усікова О.Я. НАН
України /310085, м. Харків, вул. ак. Проскури 12/.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотечі Інституту
радіофізики та електроніки ім. Усікова О.Я. НАН України
за адресою: 310085, м. Харків, вул. ак. Проскури 12.

Автореферат розісланий "21" травня 1997 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 02.29.01
доктор фіз.-мат. наук

С.М. Харківський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ. АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.

В останні роки відбувається інтенсивне опанування діапазону міліметрових радіохвиль (ММХ) для розв'язання задач радіозв'язку, радіолокації, дистанційного зондування навколишнього середовища та багатьох інших застосувань. Зацікавленість щодо цього діапазону викликана багатьма перевагами, які дає його застосування порівняно з іншими діапазонами, а також новими можливостями, обумовленими особливостями взаємодії ММХ з компонентами навколишнього середовища. До відзначених особливостей цього діапазону можна віднести можливість створення на ММХ надширокополосних ліній передач та можливість створення вузьких хвильових пучків при припустимих габаритах антенних систем. До того ж при роботі у міліметровому діапазоні значно легше забезпечується електромагнітна сумісність та поліпшується захищеність систем, у тому числі від завад штучного походження.

Не менш важливе значення мають фізичні особливості взаємодії ММХ з газами атмосфери, гідрометеорами та об'єктами різної природи, включаючи поверхню Землі. Явище резонансного поглинання у газах атмосфери та ослаблення ММХ гідрометеорами (хмари, туман, дощ, сніг) покладені в основу дистанційних методів зондування атмосфери: визначення розподілення в ній газів, вологозапасу, температурного ходу та інших параметрів. Висока чутливість розсіювання ММХ до структури шорсткуватих поверхонь - бризок та піни на воді, рослинного покриву на суші та стану ґрунту - робить їх ефективним інструментом неконтактного вимірювання характеристик об'єктів.

Особливу зацікавленість з точки зору практичного застосування міліметрових радіохвиль викликає область малих кутів ковзання, складаючих малі частки градуса. Це пов'язано з тим, що саме їм відповідають лінії зв'язку між кореспондентами, які знаходяться на поверхні моря або суші, а також умови проходження радіохвиль від радіолокатора до цілі і зворотно при радіолокації наземних та надводних об'єктів. При таких малих кутах ковзання просторова селективність антен виявляється у більшості практичних випадків недостатньою для роздільного прийому хвиль, що поширюються без взаємодії з поверхнею розподілу, та хвиль, перевипромінюваних останньою. Саме це явище отримало назву багатопроменевого по-

ширення та створило проблему розробки методів зниження його негативного впливу на роботу радіосистем. Загальновідомими є такі негативні явища, спричинювані багатопробневим поширенням, як інтерференційні замирання, що погіршують працю ліній зв'язку та умови радіолокаційного виявлення, та різке зростання помилок вимірювання координат джерел випромінювання та цілей. З іншого боку, знання зв'язку характеристик багатопробневих ліній зв'язку з параметрами відбиваючої поверхні дозволяє створювати методи дистанційного визначення стану поверхні розподілу та середовища над нею.

Теорія та методи аналітичного опису багатопробневого поширення ММХ при малих кутах ковзання розроблялись багатьма авторами. До позитивних якостей аналітичного опису процесу розсіювання радіохвиль на поверхні розподілу можна віднести порівняну простоту отримуваних співвідношень та можливість швидкого отримання результатів. Однак припущення, що звичайно приймаються при аналітичному описі розсіювання хвиль (досить часто неконтрольовані), можуть приводити до невірних результатів. Цього можна хоча б частково уникнути, застосовуючи у розрахунках моделювання на ЕОМ, що дозволяє значно зменшити кількість спрощуючих припущень про форму поверхні та врахувати деякі зв'язані з цим ефекти, зокрема, ефекти взаємних затінювань.

Другою перевагою моделювання багатопробневого поширення на ЕОМ є можливість імітації змін у часі та просторі сигналів на вході приймачів зв'язних або радіолокаційних станцій, у тому числі з урахуванням можливого руху як передавача, так і спостерігача. Це дозволяє здійснити імітаційне моделювання на ЕОМ функціонування радіосистеми, що дасть змогу суттєво скоротити проведення коштовних натурних випробувань.

Дисертаційна робота присвячена розробці досить універсального методу моделювання на ЕОМ багатопробневого поширення радіохвиль надвисокочастотного (НВЧ) діапазону над поверхнями моря та суші при висотах кореспондуючих пунктів до одиниць метрів на відстанях між ними в одиниці кілометрів та вивченню з його використанням особливостей багатопробневого поширення радіохвиль.

Дослідження за темою дисертації здійснювались у відповідності з реалізацією комплексної програми "Фундаментальні

дослідження міліметрових та субміліметрових хвиль та їх використання у народному господарстві" у рамках фундаментальних НДР "Дослідження просторово-часових характеристик та розробка розрахункових моделей поля міліметрових радіохвиль над морем при малій висоті кореспондуючого пункта" (номер держреєстрації N 0187.0 067838) та "Дослідження та розробка моделей впливу поширення міліметрових та сантиметрових радіохвиль над поверхнею Землі та їх розсіяння об'єктами на інформаційні властивості сигналів" (номер держреєстрації N 01. 93U042280), здійснюваних відповідно по розпорядженню Президії АН УРСР від 29.12.1986 р. N 451 та по плану Президії НАН України (розпорядження ВФА НАН України, протокол N 5 від 14.09.1992 р.)

СТУПІНЬ ДОСЛІДЖЕНОСТІ ТЕМАТИКИ ДИСЕРТАЦІЇ.

У дисертації докладно проаналізовано існуючі на цей час підходи до створення моделей багатопроменевого поширення над поверхнями моря та суші з різноманітним рельєфом. Зазначено позитивні якості та недоліки кожного з раніш використовуваних підходів. Визначені перспективи розвитку моделей багатопроменевого поширення.

Приведено та докладно проаналізовано експериментальні дані по багатопроменевому поширенню радіохвиль НВЧ діапазону над поверхнями моря та суші. За результатами аналізу експериментальних даних визначено основні механізми взаємодії радіохвиль з реальними поверхнями Землі.

Чималий обсяг досліджень в дисертації стосується вивчення багатопроменевого поширення над морем, де на цей час накопичена значна кількість експериментально встановлених закономірностей, яким не вдалося дати пояснення у межах існуючої теорії. До того ж, при застосуванні моделювання процесів розсіювання радіохвиль поверхнею моря модель стає найбільш цілісною: від моделі самої поверхні та динаміки змін її форми у часі та просторі до характеристик вторинного поля НВЧ радіохвиль над нею.

Поверхні суші приділено менше уваги. З одного боку, моделюванню багатопроменевого поширення над нею присвячено більше праць, ніж над морем, а з іншого боку неминуче доводиться використовувати значні спрощуючі припущення та численні ем-

піричні результати. Внаслідок цього моделювання поширення над сушею дає менше нових фізичних результатів, ніж це має місце при моделюванні процесів розповсюдження над морем.

МЕТА ТА ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.

При розробці моделі ставились дві задачі. По-перше, поглибити уявлення про особливості багатопроменевого поширення при дуже малих кутах ковзання за рахунок моделювання змін просторового положення, орієнтації та кривизни відбиваючих елементів з одночасним урахуванням їх взаємних затінь. По-друге, розробити придатний для практичного використання при аналізі роботи радіосистем метод моделювання, оснований на уточнених уявленнях про радіофізику явищ.

Основні завдання дисертації є такі:

1. Обґрунтування та розробка методу моделювання на ЕОМ розсіювання радіохвиль міліметрового діапазону (ММД) реальними поверхнями при малих кутах ковзання.

2. Вивчення методом моделювання просторово-часових властивостей перевипромінюючих елементів поверхні та використання цих властивостей для пояснення експериментально встановлених закономірностей, для яких не знайдено обґрунтування при інших підходах.

3. Розвиток уявлень про механізм відбиття радіохвиль ММД реальними поверхнями.

4. Створення пакету прикладних програм для моделювання на ЕОМ впливу багатопроменевого поширення при малих кутах ковзання на структуру вторинного поля та функціонування радіосистем.

НАУКОВА ТА ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ РОБОТИ складається з наступного:

1. Розроблена та реалізована на ЕОМ модель розсіювання радіохвиль НВЧ діапазону при малих кутах ковзання, яка дозволяє уточнити механізм розсіювання радіохвиль на шорсткуватій поверхні.

2. Одержано нові дані по розподіленням дзеркальних елементів на трасі поширення та по впливу затінь на ці розподілення, у тому числі з урахуванням кривизни Землі.

3. З'ясовано деякі особливості спектру флуктуацій сигналів при багатопроменовому поширенні над морем та уточнено

межі застосування використовуваних зараз теоретичних методів: методу дотичної площини та методу дифракції радіохвиль на напівнескінченному екрані.

4. Розроблено пакет прикладних програм, який може використовуватись при створенні моделей впливу багатопроменевого поширення над поверхнею на роботу радіотехнічних систем, в тому числі при русі одного або обох кореспондуючих пунктів.

ОСОБИСТИЙ ВНЕСОК ЗДОБУВАЧА.

Особистий внесок здобувача міститься у розробці методів вирішення поставлених у роботі задач, створенні необхідного програмного обчислювального комплексу, проведенні чисельного експерименту та аналізу отриманих результатів.

АПРОБАЦІЯ РОБОТИ ТА ПУБЛІКАЦІЇ.

Матеріали дисертації доповідались на обласній науковій конференції молодих вчених та спеціалістів (Харків, 1989 р.), Всесоюзній школі по поширенню ММ та СубММ хвиль у атмосфері (Н. Новгород 1991 р.), Міжнародній конференції "Фізика і техніка ММ і СубММ хвиль" (Харків, 1994 р.).

За результатами дисертації опубліковано 9 друкованих праць.

СТРУКТУРА ТА ОБСЯГ ДИСЕРТАЦІЇ.

Дисертація складається з вступу, трьох розділів, основних результатів досліджень та списку використаної літератури. Вона викладена на 141 сторінці машинописного тексту, до неї входять 41 малюнок, 13 таблиць та список літератури з 71 найменувань.

МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ.

Основним методом дослідження у дисертації було моделювання на ЕОМ фізики розсіювання радіохвиль шорсткуватими поверхнями з теоретичним обґрунтуванням моделювання та з наступним використанням модельних даних для вивчення особливостей багатопроменевого поширення. Були також використані методи математичної фізики та числові методи.

СТУПІНЬ ДОСТОВІРНОСТІ ОТРИМАНОЇ ІНФОРМАЦІЇ.

Результати погоджуються з даними, одержаними раніш як теоретико-розрахунковими, так і експериментальними методами. Отримані результати поширили та доповнили існуючі уявлення щодо механізму розсіювання радіохвиль.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ.

У ВСТУПІ показана актуальність розробки моделі багато-променевого поширення хвиль НВЧ при малих кутах ковзання. Сформульовані наукова новизна та практична цінність одержаних результатів, надана структура та короткий огляд змісту дисертації.

В ПЕРШОМУ РОЗДІЛІ проведено порівняльний аналіз відомих з літературних джерел моделей багатопроенового поширення радіохвиль. Показано, що перевагу при моделюванні необхідно віддавати моделям, які відтворюють радіофізичний еквівалент траси з врахуванням профілю поверхні розподілу.

Наведено експериментальні дані по поширенню радіохвиль НВЧ діапазону та зроблено оцінку впливу на нього процесів в нижніх шарах тропосфери, зокрема, опадів. Показано, що реальна дальність використання хвиль даного діапазону практично обмежена досяжними потенціалами існуючих джерел випромінювання. Ця дальність обмежена відстанями 7...10 км. На розглянутих дальностях у точці прийому переважають ефекти, викликані впливом поверхні розподілу. Тропосферні спотворення сигналів до дальностей 7...10 км складають не більш ніж 8...10 процентів від загального рівня спотворень.

З'ясовано, що теорія, заснована на методі Кірхгофа, вірно описує властивості вторинного поля над поверхнею. Це наявність дзеркальної (когерентної) та дифузної (некогерентної) компонент та залежність інтенсивності цих компонент від висоти шорсткуватості та куту ковзання у широкому діапазоні змінень параметрів.

Це дає підставу при створенні моделей розсіювання міліметрових хвиль при малих кутах ковзання використовувати метод Кірхгофа для розрахунку вторинного поля. Для морської поверхні, яка характеризується електричною рідністю та характерним розміром шорсткуватості, значно перевищуючим довжину радіохвилі, можливо застосування модифікації методу

Кірхгофа - методу дотичної площини.

За результатами аналізу експериментальних даних вказані основні механізми взаємодії радіохвиль НВЧ діапазону з реальними поверхнями Землі. Задля області малих кутів ковзання, коли затінення значні, в деяких випадках виникає необхідність врахування у формуванні вторинного поля дифракційного механізму. В цьому випадку відбивна трактовка формування вторинного поля та дифракційний механізм повинні враховуватись одночасно.

У ДРУГОМУ РОЗДІЛІ обґрунтовано основні алгоритми, закладені в основу моделі, та наведено важливі результати, одержані у ході моделювання. Одержано дані по затіненням як для у середньому рівних випадкових поверхонь, так і для поверхонь, які враховують кривизну Землі. Наведено та проаналізовано дані по розподілу дзеркальних елементів вздовж траси та поперек неї, розподілу їх висот, нахилів, середньої кривизни. Виявлено раніш ніде не відзначене збільшення концентрації перевипромінюючих дзеркально елементів поверхні на кінцевих ділянках траси. Наведені траскторні характеристики дзеркальних елементів: амплітуди просторових переміщень, їх середнє перебування у освітленому просторі (" час життя"), середні висоти відбиваючих елементів поверхні. Підтверджено висновки теоретичних досліджень про зсув у бік гребнів морських хвиль шару відбиваючих елементів та одержано кількісні характеристики їх переміщень за "час життя". Встановлено, що час перебування відбиваючих елементів у освітленому просторі, тобто коли вони не є затіненими як з боку випромінювача, так і з боку приймача, є суттєво менший порівняно з повним часом існування відбиваючого елемента. Наслідком цього є поява досить крутих фронтів елементарних імпульсів перевипромінювання відповідаючим митям виходу відбиваючих елементів поверхні з тіні та заходу до неї.

Стосовно моделювання багатопроменевого поширення радіохвилі над сушею розроблен алгоритм по вибору кроку дискретизації поверхні при реалізації на ЕОМ синтезу багатопроменевого сигналу в точці прийому. З'ясовано, що крок дискретизації поверхні повинен вибиратися як компроміс з двох суперечливих вимагаль: для скорочення обчислюваних витрат він повинен бути як можна більшим, але з іншого боку він повинен

складати не більш напівширини зони Френеля з найбільшим ураховуванням номером.

У ТРЕТЬОМУ РОЗДІЛІ проведено порівняльний аналіз даних моделювання з теоретико-розрахунковими даними та результатами експериментальних досліджень. Показано, що результати моделювання знаходяться в доброму збігу по формі "блискучої" поверхні з вже існуючими теоретичними та експериментальними даними. Зроблено докладне пояснення механізму виникнення бімодальної структури як у функції освітлення поверхні, так і у розподілу дзеркальних елементів вздовж траси поширення радіохвилі. На підставі даних моделювання траєкторій дзеркальних елементів дано пояснення деяких особливостей спектру флукутацій сигналів при багатопроменевому поширенні над морем. Це закон спадання спектру у його високочастотній області та слабка залежність ширини спектру від несучої частоти сигналу. З'ясовано, що спектр можна уявити як комбінацію двох складових: частотнонезалежної та частотнозалежної. Частотнонезалежна складова спектру обумовлена перевіпромінюванням від середньої частини траси та дає домінуючий внесок у сумарний сигнал. Вона є результат усереднення спектрів, близьких до спектрів прямокутних імпульсів, та залежить тільки від законів розподілення їх амплітуд та тривалостей. Спадання спектральної щільності за межами енергійної частини спектру повинно відбуватися по закону F^{-n} , $n \geq 2$. Доведено, що показники ступеню, більш вищі, ніж $n = 2$ означають, що fronti імпульсів мають кінцеву ширину, зумовлену дифракційними ефектами при проходженні відбиваючим елементом межі за-тінку. Складова спектру, створена перевіпромінюванням від кінцевих частин траси, залежить від несучої частоти, бо вона утворена сигналами від поверхні розподілу з великими амплітудами змінення фаз. Ступінь залежності повного спектру флукутацій від несучої частоти визначається співвідношенням інтенсивностей першої, частотнонезалежної, та другої, частотнозалежної, складових. Перевага при малих кутах ковзання першої складової, створюваної більшою частиною траси за винятком її кінцевих зон, приводить до відсутності чітко вираженої залежності повної форми спектру від несучої частоти.

Отримані дані про середню кривизну поверхні у негативних дзеркальних елементах та про їх нахили дозволили обгрун-

тувати застосування двох протилежних за припущенням математичних методів опису елементарних сигналів від елементів поверхні: методу дотичної площини, коли елемент вважається слабо викривленим (майже плоским), або, навпаки, коли елемент замінюється півплощиною, на межі якої відбувається дифракція радіохвиль. Доведено, що при малих висотах кореспондуючих пунктів для отримання значень елементарних сигналів від кінцевих ділянок траси можна застосовувати метод дотичної площини. Для центральних ділянок траси доцільно застосовувати метод дифракції радіохвиль на напівнескінченному екрані.

В останньому розділі сформульовані ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ:

1. У дисертації вирішена задача обґрунтування та розробки методу моделювання на ЕОМ багатопроменевого поширення радіохвиль, поєднуючого моделювання форми поверхні розподілу та радіофізичні процеси розсіювання на неї міліметрових та сантиметрових радіохвиль при малих кутах ковзання. Метод може бути застосований при моделюванні процесу поширення радіохвиль як на морі, та і на суші з різноманітним рельєфом місцевості при мінливих по трасі характеристиках ґрунту та рослинного покриву.

2. Розроблено та реалізовано у вигляді прикладних програм алгоритми моделювання, які можуть служити базовими при створенні моделей впливу багатопроменевого поширення над поверхнею на дію радіотехнічних систем, у тому числі при русі одного або обох кореспондуючих пунктів.

3. Методами моделювання вивчені властивості перевипромінюючих елементів поверхні та вплив їх взаємних затінь:

а) отримані ймовірності затінь приймача, розташованого на малій висоті над поверхнею або безпосередньо на ній, у тому числі з врахуванням кривизни Землі;

б) визначена протяжність ділянок, котрі є достатніми при оцінці затінення низькорозташованих кореспондуючих пунктів;

в) одержано розподілення дзеркальних елементів як уздовж траси поширення, так і поперек неї з урахуванням та без урахування затінення. Відзначено бімодальність структури розподілення дзеркальних елементів уздовж траси при малих

кутах ковзання, яка зв'язана з виглядом функції освітлення елементів поверхні на трасі поширення радіохвиль. Разом із зменшенням кутів ковзання відбувається трансформація розподілення з одномодальної з максимумом в середній частині траси (для симетричної траси) у бімодальну з максимумами поблизу її кінців;

г) отримано розподілення висот незатінених дзеркальних елементів уздовж траси поширення. Показано, що при зниженні висот кореспондуючих пунктів відбувається зростання середніх висот дзеркально відбиваючих елементів шорсткуватої поверхні, котрі у 2...3 рази можуть перевищувати значення ефективною висоти шорсткуватостей;

д) для поверхні моря одержані характеристики траєкторій дзеркальних елементів: тривалість "часу життя", максимальні (у середньому) переміщення дзеркальних елементів у вертикальному напрямку та уздовж траси поширення;

е) оцінені розподілення кривизни незатінених дзеркальних елементів уздовж траси поширення. Показано, що при збільшенні висот кореспондуючих пунктів відбувається деяке зменшення середньої кривизни дзеркальних елементів, обумовлене "включенням в працю" крім елементів дзеркального відбиття з найбільш високих вершин шорсткуватостей, де значення кривизни найбільше, ще й елементів дзеркального відбиття розташованих на вершинах шорсткуватостей з меншими висотами, де значення кривизни менше;

ж) отримано розподілення нахилів незатінених дзеркальних елементів уздовж траси поширення. З'ясовано, що максимальні (у середньому) нахили незатінених дзеркальних елементів, розташованих на кінцевих ділянках траси, можуть значно (в 2...3 рази) перевищувати середньоквадратичне значення нахилів для даної поверхні.

4. Дано пояснення особливостей спектрів флуктуацій сигналів при багатопроменевому поширенні над морем. Встановлено, що при малих кутах ковзання домінуючий вплив на форму спектрів справляє амплітудна модуляція, зумовлена виходом відбиваючих елементів з зони тіні й заходженням їх у цю зону, що надає елементарним сигналам вигляду імпульсів з крутими фронтами. Із застосуванням модельних даних по траєкторіям відбиваючих елементів оцінена фазова модуляція елемен-

тарних сигналів та її вплив на форму спектру флуктуацій сигналів при багатопроменевому поширенні над морем.

5. Для сухопутних трас розроблені алгоритми формування їх радіофізичних моделей, що містять у собі знаходження незатінених перевипромінюючих ділянок траси, побудову математичної моделі згладженого рельєфу із застосуванням сплайн-функцій, врахування змінень відбиваючих властивостей поверхонь під впливом шорсткуватості ґрунту та рослинного покриву на ньому.

6. Обґрунтовано застосування у моделюванні відбивань від суші інтегрального рівняння Гріна у поєднанні з методом Кірхгофа при заданні поля на поверхні, що дозволяє врахувати мінливість коефіцієнтів відбиття на трасі у межах істотної для відбиття зони. Сформульовано вимоги до вибору, що кроку інтегрування як компромісу з двох суперечливих вимог: для скорочення обчислюваних витрат він повинен бути як можна більшим, але з іншого боку він повинен складати не більш напівширини зони Френеля з найбільшим урахуванням номером.

7. На основі одержаних даних про розподілення середньої кривизни елементів поверхні, які беруть участь у перевипромінюванні поля, показано, що при малих висотах кореспондуючих пунктів отримання значень елементарних сигналів від кінцевих ділянок траси можливо з застосуванням методу дотичної площини. Для центральних ділянок траси доцільно застосування методу дифракції радіохвиль на напівнескінченному екрані.

Основні результати роботи наведені у таких публікаціях:

1. Логвинов Ю.Ф. Затенения источника случайной поверхностью // Распространение радиоволн миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов: Сб. науч. тр. - Харьков: Ин-т радиофизики и электроники АН УССР, 1989. - С. 76 - 82.
2. Логвинов Ю.Ф., Педенко Ю.А., Разказовский В.Б. Дифракционная модель многолучевого распространения над неровной поверхностью при малых углах скольжения // Изв. вузов. Радиофизика. - 1996, - Т. 39, N 5. - С. 547 - 558.
3. Логвинов Ю.Ф., Педенко Ю.А., Разказовский В.Б. Влияние затенений на спектр флуктуаций ММВ при многолучевом распространении над морем // Распространение радиоволн миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов: Сб. науч. тр. -

Харьков: Ин-т радиофизики и электроники НАН Украины, 1995.
- С. 17 - 30.

4. Логвинов Ю.Ф., Педенко Ю.А., Разсказовский В.Б. Дифракционная модель многолучевого распространения над неровной поверхностью при малых углах скольжения // Распространение радиоволн миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов; Сб. науч. тр. - Харьков: Ин-т радиофизики и электроники НАН Украины, 1995. - С. 3 - 16.
5. Исследование пространственно-временных характеристик и разработка расчетных моделей поля миллиметровых радиоволн над морем при малой высоте корреспондирующего пункта. Отчет по НИР "Ранец" (заключ.), ИПЭ АН УССР, Рук. темы В.Б. Разсказовский. -N ГР 0.187.0 667838; Инв. N 02.92. 0005214. - Харьков, 1991.
6. Логвинов Ю.Ф. Моделирование статистики точек зеркального отражения на морской трассе // IY Всесоюзная школа по распространению миллиметровых и субмиллиметровых волн в атмосфере, Нижний Новгород, 3-10 сентября 1991 г.: Тезисы докладов / АН СССР и др.; Редкол.: Н.А. Арманд (отв.ред.) и др. - Нижний Новгород: Научно-исследовательский радиофизический институт, 1991. - С. 88-89.
7. Logvinov Y.F., Pedenko Y.A., Razskazovsky V.B. More precise model of millimeter wave fluctuation on multipath propagation over sea. International simposium "Physics and engineering of millimeter and submillimeter waves". Conference proceedings, vol.3, June 7-10 1994, Kharkov, Ukraine. ((632-636))

ABSTRACT

Logvinov J.F. The simulation in the tasks concerned the propagation of UHF radiowaves over real surfaces. The thesis is a manuscript.

The thesis for a competition of Ph.D. in physics and mathematics, speciality 01.04.03 - radiophysics, Usikov Institute of radiophysics and electronics of NAS of Ukraine, Kharkov, 1997.

The task of substantiating and elaboration of method linked with simulation of millimeter radiowaves scattering by practical surfaces under low grazing angles have been

solved in the thesis by the use of electronic computer.

The influence of mutual shadowing of roughness on some characteristics of illuminating reradiating elements are learned by the methods of simulation of sea surface as three-dimensional function of space coordinates and time: probability of shadowing, distribution of specular points, their heights, slopes and curvatures. The bimodality of distribution of specular points along a trace under low grazing angles, which is linked with the kind of function of illumination of the elements displaced on surface, have been marked.

The amplitude and phase modulation of elementary signals and their influence on the shape of spectra of signal fluctuations under multipath propagation over sea have been estimated by use of simulation data apply to trajectories of reflecting elements. It have been showed that under low grazing angles the shape of spectra may be explained by influence of the amplitude modulation caused by going out of reflecting elements from behind the shadow and stopping at it. It allows to explain the negligibility dependence of shape and width of spectra versus wavelength.

АННОТАЦИЯ.

Логвинов Ю.Ф. Моделирование в задачах многолучевого распространения радиоволн СВЧ над реальными поверхностями. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 - радиопизика. - Институт радиопизики и электроники им. Усикова А.Я. НАН Украины, Харьков, 1997.

В диссертации решена задача обоснования и разработки метода моделирования поля СВЧ, переизлученного реальными неровными поверхностями, и исследования на его основе особенностей флуктуаций сигналов при многолучевом распространении над морем миллиметровых и сантиметровых радиоволн.

Методами моделирования морской поверхности как трехмерной функции пространственных координат и времени изучено влияние взаимных затенений неровностей трассы на свойства освещенных переизлучающих элементов: вероятности затенений, распределе-

4 32471

ния зеркальных элементов. Их высота, расстояние к центру. Угломечена бимодальность распределения зеркальных точек вдоль трассы при малых углах скольжения, которая связана с видом функции освещенности элементов поверхности.

С использованием модельных данных о траекториях отражающих элементов оценены амплитудная и фазовая модуляция элементарных сигналов и их влияние на форму спектра флуктуаций сигналов при многолучевом распространении над морем. Показано, что при малых углах скольжения форма спектра объясняется влиянием амплитудной модуляции, обусловленной выходом отражающих элементов из тени и заходом в неё. Это позволяет объяснить экспериментально установленную слабую зависимость формы и ширины спектра от длины волны.

Ключові слова: багатопроменеве поширення, міліметрові хвилі, малі кути ковзання, шорсткувата поверхня поділу.

Наукове видання

ЛОГВІНОВ Юрій Федорович

МОДЕЛЮВАННЯ У ЗАДАЧАХ БАГАТОПРОМЕНЕВОГО ПОШИРЕННЯ
РАДІОХВИЛЬ НВЧ НАД РЕАЛЬНИМИ ПОВЕРХНЯМИ

Отв. за выпуск Горошко Е.Е.

Подп. в печ. 13.05.97. Формат 60x84/16.

Бум. офс. Офс. печ. Усл.-печ. л. 1, 0. Уч.-изд. л. 1, 0.

Тираж 100 экз. Зак. 31. Без цены.

Ротапринт ИРЭ НАН Украины
Харьков-85, ул. Академика Проскуры, 12