

Інститут радіофізики та електроніки  
ім. О.Я. Усикова  
Національної Академії Наук України

УДК 621.371. (260); 551.510.52 На правах рукопису

Кабанов Валентин Олександрович

*Кабанов*

**СТРУКТУРА КОЕФІЦІЄНТА ЗАЛОМЛЕННЯ АТМОСФЕРИ  
ТА ДІАГНОСТИКА УМОВ ПОШИРЕННЯ УКХ  
НАД МОРЕМ**

01.04.03 - радіофізика

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата фізико-математичних наук

*ф*

Харків - 1996

AB 35.249

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

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
Тургенев Іван Сергійович

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,  
головний науковий співробітник  
ІРЕ НАН України Кульомін Геннадій  
Петрович;

доктор фізико-математичних наук,  
зав. відділом РІ НАН України  
Ямпольський Юрій Моїсійович.

Провідна організація: Харківський технічний університет радіоелектроніки, кафедра радіотехнічних систем.

Захист відбудеться " 3 " грудня 1996р. о 10 год.  
на засіданні спеціалізованої вченої ради  
Д 02.29.01 в Інституті радіофізики та електроніки  
ім. О.Я.Усикова НАН України (310085, Харків, вул.  
Академіка Проскури, 12, конференц-зала).

З дисертацією можна ознайомитись в науковій бібліотеці ІРЕ НАН України.

Автореферат розіслано "30" 10. 1996р.

В.о. вченого секретаря  
спеціалізованої ради  
доктор фіз.-мат. наук

Сіренко Ю.К.

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00739723 (V)

AB - 35.943

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Ефективність роботи радіосистем різного призначення в значній мірі залежить від умов поширення радіохвиль в реальному середовищі. Тому однією з важливих задач, маючих велике практичне значення для підвищення надійності радіотехнічних систем, працюючих над морем, є діагностика умов поширення. Широке впровадження в практику мореплавання нових радіоелектронних засобів потребує детального вивчення особливостей поширення радіохвиль в різноманітних умовах їх практичного використання.

Найбільш істотний вплив на поширення ультракоротких радіохвиль має неоднорідність тропосфери. З одного боку, вона може приводити до значного збільшення дальності радіозв'язку і радіолокаційного виявлення об'єктів. З другого боку, неоднорідність тропосфери викликає ряд небажаних явищ, які затруднюють роботу радіосистем і обмежують об'єм передаваної по лініям зв'язку інформації.

При наявності розвинутих методів розрахунку поля радіосигналу задача діагностики може бути зведена до знаходження просторового розподілу коефіцієнта заломлення атмосфери або, в наближенні сферично-шарової атмосфери, висотного профілю  $n(h)$ . На цьому принципі будується більшість методів діагностики умов поширення. Але результати теорії не відбиваються у простих формулах, і кожний конкретний випадок потребує самостійних і до того ж громіздких розрахунків. Через складність процесів, що відбуваються у атмосфері, лишається актуальним рішення основної задачі - знаходження зв'язку між характеристиками сигналу і будовою тропосфери.

Дисертаційна робота виконана в ІРЕ НАН України за планом науково-дослідних робіт Інституту в межах ряду НДР, у тому числі: "Шлюп-ГВ", "Зонд", "Траекторія-ГВ", "Горизонт".

Метою дисертаційної роботи є отримання відомостей про структуру коефіцієнта заломлення в приводному шарі атмосфери, розробка рекомендацій по вдосконаленню контактних методів діагностики умов поширення ультракоротких радіохвиль над морем і перевірка можливості створення неконтактного методу діагностики по радіояскравій температурі.

Завдання досліджень: створення малогабаритних приладів (НВЧ-рефрактометрів) для дослідження діелектричних власти-

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

востей атмосфери і розробка універсальної методики вимірювання висотного розподілу коефіцієнта заломлення; проведення вимірювань просторово-часового розподілу коефіцієнта заломлення в прикордонному шарі атмосфери над морем і визначення його впливу на поширення радіохвиль; перевірка можливості створення пасивного дистанційного методу діагностики по радіоєскравій температурі атмосфери.

Методологія. Поставлена задача досягається за допомогою експериментальних досліджень.

Наукова новизна. За допомогою розроблених дисертантом рефрактометрів та нетрадиційних способів зондування вперше одержані систематичні дані про структуру коефіцієнта заломлення в півторакілометровому шарі атмосфери над морем. Крім того, що ці дані являють собою самостійний інтерес, вони були використані для порівняння з результатами радіофізичних вимірювань і можуть бути корисні при подальшому розвитку теорії поширення радіохвиль в привидному шарі. Проведені численні синхронні радіо- та метеовимірювання, які дозволили наочно продемонструвати вплив різних метеорологічних ситуацій на умови поширення радіохвиль і кількісно оцінити ділянку атмосфери, суттєву при поширенні. Проведені дослідження радіоєскрової температури атмосфери у маловивченому діапазоні кутів місця, близьких до напрямку на горизонт. Визначені параметри залежності  $T_p(\theta)$ , найбільш чутливі до атмосферної рефракції і добре корелюючі з умовами поширення на контрольній трасі. Запропоновано простий спосіб оцінки умов поширення, заснований на відносних вимірюваннях  $T_p$  атмосфери поблизу напрямку на горизонт.

Достовірність і обґрунтованість одержаних в роботі результатів обумовлюється: значним обсягом експериментальних даних та відповідністю розрахункових і дослідних результатів; застосуванням при обробці експериментальних даних відомих методів статистичної радіофізики; чіткою фізичною інтерпретацією результатів досліджень.

Практична значимість виконаних досліджень полягає в тому, що розроблені прилади і методика вимірювань дозволяють знімати неперервні висотні профілі коефіцієнта заломлення від морської поверхні до кількох тисяч метрів. Одержані таким способом дані значно точніші за радіозондові і становлять

великий практичний інтерес, як для подальшого розвитку теорії тропосферного поширення радіохвиль, так і для рішення прикладних задач. Наприклад, визначення помилок пов'язаних з рефракцією при траекторних вимірюваннях орбіт супутників.

Запропонований радіометричний метод оцінки умов поширення базується на відносних вимірюваннях радіояскравої температури, що підвищує його точність і спрощує практичну реалізацію.

Результати дисертаційної роботи використані при виконанні ряду науково-дослідних робіт, які проводились ІРЕ НАН України в басейні Чорного моря, серед них: "Шлюп-ГВ", "Зонд", "Траектория-ГВ", "Горизонт".

Апробація роботи. Основні результати досліджень по темі дисертаційної роботи знайшли своє відображення у докладах на республіканській школі-семинарі "Автоматизація проектування радио-техн. систем" (Харків, 1982), на Міжнародному симпозиумі URSI (Бельгія, 1983), на XV, XVI і XVII Всесоюзних конференціях по поширенню радіохвиль (Алма-Ата, 1987; Харків, 1990; Ульяновськ, 1993).

Публікації. По темі дисертації опубліковано 20 наукових праць, з яких 7 статей, один препринт, 1 авторське свідоцтво, 4 звіти про НДР, 7 тезисів доповідей.

Основні положення та результати які виносяться на захист.

1. Розроблена методика рефрактометричних досліджень структури коефіцієнта заломлення атмосфери за допомогою вертольота, яка дозволяє оперативно одержувати безперервні висотні профілі  $N$  від морської поверхні до кількох тисяч метрів, а також апаратура для проведення досліджень.

2. Досліджена просторова структура коефіцієнта заломлення у прикордонному шарі атмосфери над морем. Відзначена велика ймовірність існування інверсійних шарів і їх низьке розташування в літні місяці, що є основною причиною аномально високих рівней радіосигналу на загоризонтних трасах.

3. Поле радіосигналу на приземних трасах прямої видимості у більшості випадків визначається середнім градієнтом коефіцієнта заломлення в шарі, суттєвому при поширенні, висота якого обмежена розмірами  $6^i \dots 8^i$  зони Френеля для середини траси.

4. Досліджено вплив умов поширення на радіояскраву температуру у зоні малих кутів місця. Показано, що для діагности-

ки умов поширення найбільш інформативним є кутомісцевий профіль яскравої температури при вертикальній поляризації. Запропоновано простий оперативний метод оцінки умов поширення, заснований на відносних вимірюваннях яскравої температури, що підвищує точність методу і спрощує його практичну реалізацію.

Особистий внесок автора. Проведені рефрактометричні дослідження структури коефіцієнта заломлення в прикордонному шарі атмосфери над морем. Отримані систематичні дані про хвилеводи випаровування та припідняті тропосферні шари. Створені оригінальні НВЧ - рефрактометри і універсальна методика вимірювань просторово-часових характеристик коефіцієнта заломлення. Дана кількісна оцінка висоти шару атмосфери, суттєвого при поширенні радіохвиль. Досліджено вплив умов поширення на радіояскраву температуру поблизу напрямку на горизонт. Запропоновано простий оперативний метод оцінювання умов поширення, заснований на відносних вимірюваннях яскравої температури.

Структура та обсяг дисертації. Робота складається з вступу, 5 розділів і висновків. Вона містить 104 сторінки основного тексту, 49 рисунків, дві таблиці і список використаних літературних джерел з 66 найменувань на 8 сторінках. Повний обсяг дисертації складає 161 сторінку.

#### СТИСЛИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі проаналізовано стан проблеми, відображена актуальність роботи, сформульовані мета і задачі досліджень, наукова новизна і практичне значення, положення, винесені на захист, наведена анотація змісту дисертації по розділам.

У першому розділі викладені короткі відомості з теорії поширення УКХ в приводному шарі атмосфери. Приведено порівняння точних рішень геометричної оптики з наближеними. Показано, що заміна лінійного профіля коефіцієнта заломлення  $n$  нелінійним з тим же перепадом  $\Delta n$  на заданій висоті  $h$  може призвести до змінювання розрахункового висотного розрізу поля. В обмеженій області висот, при довільному змінюванні  $n$  з висотою, умови поширення можуть бути описані моделлю з лінійним профілем  $n(h)$ . Розглянуті методи розрахунку поля при наявності припіднятих тропосферних шарів.

Другий розділ присвячено аналізу способів вимірювання ко-

ефіцієнта заломлення атмосфери та його висотних розподілів. Надан стислий огляд контактних методів вимірювання коефіцієнта заломлення і приведені міркування про доцільність їх використання. Показано, що для вивчення тонкої структури коефіцієнта заломлення і таких явищ, як хвилеводи випаровування та тропосферні шари, потрібні радіорефрактометри. Тут же дається опис оригінальних конструкцій НВЧ-рефрактометрів і розглянута методика рефрактометричних вимірювань. Вперше для дослідження просторової структури коефіцієнта заломлення атмосфери було використано вертоліт, що істотно розширило можливості дослідження нижнього шару атмосфери і дозволило вимірювати безперервні висотні розподіли  $n$  практично від морської поверхні до кількох тисяч метрів. Оптимальна довжина підвіски рефрактометра та режим польоту вибирались на основі спеціально проведених досліджень впливу повітряного потоку від вертольота на результати вимірювань. Відзначено, що у ряді випадків ефективним засобом для піднімання рефрактометра на декілька сотень метрів може служити прив'язна куля-зонд або невеликий аеростат.

У третьому розділі подані результати рефрактометричних досліджень пограничного шару атмосфери над морем. За допомогою розроблених приладів та методики вимірювань одержані систематичні дані про структуру коефіцієнта заломлення до висоти 1,5 км.

На основі багаторічних досліджень у сорокаметровому діапазоні висот визначені характеристики приводного шару атмосфери. За цей час проведено біля 900 сеансів вимірювань висотних залежностей  $N(h)$  і часових  $N(t)$  на фіксованих висотах, де  $N = (n - 1)10^6$  - індекс рефракції. По залежностям  $N(h)$  визначались середні по висоті градієнти індекса рефракції  $\Delta N/\Delta h$ , а по залежностям  $M(h) = N(h) + (h/a)10^6$  ( $a$  - радіус Землі) параметри  $h_1$  та  $\Delta M$ , які характеризують хвилевід випаровування. Гістограми розподілів величин цих параметрів приведені у дисертації. В більшості випадків висота інверсії знаходиться у межах 0...5 метрів над рівнем моря, а значення  $\Delta M$  у 60% випадків не перевищують  $2M$ -од. У середньому зростання  $M$ -дефіциту супроводжується збільшенням  $h_1$ , але чіткого зв'язку між цими параметрами не спостерігається.

Для визначення флуктуаційних характеристик коефіцієнта

заломлення використовувались записи  $N(t)$  на фіксованих висотах. Середньоквадратичне відхилення величини  $N$  обчислювалось за співвідношенням

$$\delta_N = \left[ \int_{f_1}^{f_2} S_N(f) df \right]^{1/2},$$

де  $S_N(f)$  - оцінка енергетичного спектру  $N(t)$ , а  $f_1$  та  $f_2$  - граничні частоти спектру, які визначаються тривалістю реалізації та постійною часу реєструючого пристрою. У половині всіх випадків  $\delta_N$  не перевищує 0,16N-од. Квазімаксимальні значення флюктуацій коефіцієнта заломлення лежать у межах 12N-од літом та 4N-од зимою. У переважній більшості випадків інтенсивність флюктуацій з висотою падає, хоча мають місце випадки зворотної залежності.

Енергетичний спектр флюктуацій коефіцієнта заломлення  $S_N(f)$  розраховувався за допомогою Фур'є - перетворення автокореляційних функцій досліджуваних процесів. Вільність експериментальних спектрів мають нахили, близькі до  $-5/3$ , а показники ступеня лежать у межах від  $-1,4$  до  $-1,8$ .

Експериментальні значення параметра  $C_N$  (структурної функції коефіцієнта заломлення) лежать у межах від 0,005 до 0,13N-од·см $^{-1/3}$ .

До теперішнього часу статистика припіднятих тропосферних шарів заснорана переважно на радіозондових вимірюваннях. Тому систематичні відомості про такі утворення, одержані за допомогою НЧ- рефрактометрів, можуть становити великий інтерес. Приведені у дисертації дані відносяться до протяжних і сталих утворень з середнім градієнтом у шарі не нижче критичного.

Як показали вимірювання, в межах перших 1,5км над морською поверхнею одночасно може існувати один, зрідка два стійких шари. Максимальна кількість шарів спостерігається влітку та восени. Однак розподіли шарів по висотам для цих сезонів виявляються суттєво різними (рис.1). В літні місяці шари розташовуються поблизу поверхні води (нижче 600 метрів), а на висоті, близькій до 1,5км, можуть з'являтися шари другого ярусу. Для осіннього сезону характерна відсутність шарів на

малих висотах і більш рівномірний їх розподіл в іншому діапазоні висот. Це може служити основною причиною відміни умов поширення у відзначені сезони.

Поява закритичних шарів, як правило, не пов'язана з ростом N-дефіциту в усьому півторакілометровому шарі атмосфери, а відбувається завдяки перерозподілу величини коефіцієнта заломлення по висоті. Тому шари з великими негативними градієнтами супроводжуються висотними інтервалами з пониженою і навіть субрефракцією.

Уявлення про спостережувані в окремих дослідках градієнти N на різних ділянках висотного профілю дає таблиця, а сезонні зміни градієнтів для тих же інтервалів висот приведені в дисертації у вигляді графіків.

Результати досліджень показують, що зміни профілю N(h) на різних ділянках слабкорельовані, що не дозволяє розповсюдити дані про відому частину профіля на сусідню ділянку або більш великий шар атмосфери. Незважаючи на велику різноманітність конкретних висотних розподілів, профілі N(h), усереднені за великі періоди часу, добре узгоджуються з моделлю стандартної атмосфери. Сезонні зміни середнього градієнта N для всього півторакілометрового шару практично відсутні.

Таблиця.

Діапазон висот, м	2... 100	100... 500	500... 1000	1000... 1500	2... 500	2... 1000	2... 1500
$\overline{g}_N, N\text{-од/м}$	-0,053	-0,052	-0,035	-0,028	-0,052	-0,044	-0,038
$(-g_N)_{\min}$	-0,01	-0,006	+0,011	+0,019	-0,011	-0,023	-0,022
$(-g_N)_{\max}$	-0,25	-0,155	-0,081	-0,084	-0,134	-0,072	-0,056
$\sigma_{gN}, \text{Нод/м}$	0,039	0,038	0,019	0,02	0,031	0,013	0,009

В четвертому розділі приведені результати сумісних метеорологічних радіовимірювань. Тривалі серії експериментів, проведені на приводних трасах, дозволили зробити висновок, що поле радіосигналу в межах прямої видимості поблизу поверхні розділу

носить інтерференційний характер і в більшості випадків може бути описане за допомогою дволучової моделі у рамках концепції еквівалентного радіуса Землі. Синхронні метео- і радіовимірювання дали можливість експериментально визначити шар атмосфери, який ефективно бере участь у поширенні радіохвиль, і показали важливість узгодження висоти зондування з параметрами траси. Виявилось, що середній градієнт у шарі, суттєвому при поширенні, мало відрізняється від ефективного градієнта, визначеного безпосередньо з радіовимірювань, і отже може використовуватись для розрахунку поля радіосигналу в рамках концепції еквівалентного радіуса Землі. По експериментальним даним висота суттєвої області для приводних трас прямої видимості обмежена розмірами  $6^1 \dots 8^1$  зони Френеля для середини траси і орієнтовно може бути визначена таким чином

$$h_c = (h_1 + h_2 + \sqrt{(6 \dots 8) \lambda R})/2,$$

де  $h_1$  і  $h_2$  - висоти кореспондуючих пунктів;  $\lambda$  - довжина хвилі;  $R$  - протяг траси.

Синхронні вимірювання дистанційних залежностей поля радіосигналу і висотних розподілів коефіцієнта заломлення дозволили виділити і проаналізувати ситуації, коли переважаючим на трасі був один з можливих механізмів поширення. Виявлена різниця в поширенні радіохвиль сантиметрового та дециметрового діапазонів при наявності припіднятого шару, що може служити поясненням переваги сантиметрових хвиль в ближній загоризонтній області, відзначене в багатьох експериментах.

П'ятий розділ присвячено неконтактному методу діагностики умов поширення, заснованому на вимірюванні радіояскравості температури атмосфери поблизу напрямку на горизонт.

Зв'язок між радіояскравістю температурою і метеорологічними характеристиками атмосфери відбивається інтегральним рівнянням переносу

$$T_{\text{я}} = \int_0^{\infty} T(l) \cdot v(l) \cdot \exp \left[ - \int_0^l v(l') dl' \right] dl,$$

де  $T(l)$  та  $v(l)$  - термодинамічна температура і коефіцієнт пог-

ливання атмосфери уздовж траєкторії променя. Залежність  $T_y$  від довжини хвилі входить у даний вираз через коефіцієнт поглинання. Підвищена рефракція та інші механізми, які сприяють далекому поширенню радіохвиль, повинні приводити до зростання довжини шляху  $l$  в межах ефективно поглинаючого шару атмосфери  $i$ , отже, до підвищення  $T_y$  за рахунок радіотеплового випромінювання віддалених від місця прийому ділянок простору. Розрахунок показує, що при хвилеводному поширенні зростання  $T_y$  може бути дуже значним. Однак  $T_y$  залежить від багатьох факторів (в першу чергу від коефіцієнта поглинання середовища), урахування впливу яких надто складна задача, яка потребує знання просторового розподілу метеопараметрів атмосфери. Тому основним завданням експериментальних досліджень було знаходження зв'язку радіояскравої температури з умовами поширення.

Внаслідок тривалих спостережень були знайдені параметри залежності яскравої температури від кута місця, добре корелюючі з рівнем радіосигналу на загоризонтній трасі. Одним з таких параметрів, по якому упевнено можна судити про хвилеводне поширення, є різниця кутомісцевих градієнтів  $T_y$  у зоні малих додатних і від'ємних кутів. Практично параметр визначається по відносним вимірюванням яскравої температури у трьох точках кутомісцевого профіля  $T_y(\theta)$ . Вільш складний параметр, емпіричний вираз для якого приведено у дисертації, визначається по вимірюванням у чотирьох точках профіля.

На підставі проведених досліджень запропоновано простий спосіб діагностики по радіояскравому випромінюванню атмосфери. Результати перевірки даного методу подані на рис.2, де по вертикальній осі відкладені значення ефективного градієнта  $g_{ne}$ , визначені по радіовимірюванням, а по горизонталі аналогічні значення, отримані з радіометричних вимірювань. Коефіцієнт кореляції між порівнюваними величинами перевищує 0,7. При усередненні експериментальних даних по дням вимірювань коефіцієнт кореляції досягає значення 0,81. Варто відмітити, що розкид значень  $g_{ne}$ , визначених різними способами, частково пов'язан з тим, що для порівняння використовувалась фіксована траса, в той час, як  $T_y$  визначає інтегральні умови поширення вздовж вибраного напрямку.

Розглянутий метод базується на відносних вимірюваннях ра-

діюючої температури і дозволяє оцінювати умови поширення без притягнення відомостей про основні метеопараметри атмосфери, що може мати велике значення для оперативної діагностики умов поширення радіохвиль.

У висновках приведені такі основні результати дисертаційної роботи.

1. Створені малогабаритні НВЧ-рефрактометри для дослідження діелектричних властивостей атмосфери. В процесі роботи над приладами розроблена оригінальна система термокомпенсації для відкритого вимірювального резонатора, яка дозволяє підвищити точність вимірювань і зменшити габарити приладу.

2. Вперше для рефрактометричних вимірювань було використано вертоліт, що істотно розширило можливості досліджень нижнього шару атмосфери. Проведені дослідження границь впливу повітряного потоку від вертольота, результати яких дозволяють вибрати довжину підвіски рефрактометра та режим польоту, необхідні для одержання невикривлених даних про структуру коефіцієнта заломлення атмосфери.

3. За допомогою розроблених автором рефрактометрів і методики вимірювань вперше докладно досліджена структура коефіцієнта заломлення атмосфери в півторакілометровому шарі атмосфери над морем. Одержані відомості про вертикальний розподіл коефіцієнта заломлення, його мінливість і сезонні відмінні, а також статистика хвилеводів випаровування та піднятих тропосферних шарів.

4. Проведені численні синхронні метео- та радіовимірювання. Відзначено протилежний характер сезонних змін множника послаблення на загоризонтній трасі в міліметровому діапазоні хвиль в порівнянні з більш довгохвильовими діапазонами. На прикладі дистанційних залежностей показано вплив різних механізмів поширення на рівень радіосигналу у сантиметровому і дециметровому діапазоні хвиль. Виділені і проаналізовані ситуації, коли переважаючим на трасі був один із можливих механізмів поширення. Дана кількісна оцінка висоти шару атмосфери, суттєвого при поширенні.

5. Досліджена можливість використання власного радіотеплового випромінювання атмосфери у зоні кутів для діагностики умов поширення. Знайдені параметри кутомісцевої залежності радіюючої температури, чутливі до атмосферної

рефракції і добре корелюючі з умовами поширення на контрольній трасі. Як приклад практичної реалізації дистанційного пасивного методу діагностики запропоновано простий спосіб оцінки умов поширення по параметрам кутомісцевої залежності  $T_{\theta}$  при вертикальній поляризації.

Основні публікації по темі дисертаційної роботи.

1. Дорфман Н.А., Кабанов В.А., Кивва Ф.В., Тургенев И.С. Статистические характеристики показателя преломления в приводном слое атмосферы. - Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. - 1978, Т.14, №5, 549-552.
2. Дорфман Н.А., Кабанов В.А., Кивва Ф.В., Тургенев И.С. Рефрактометрические измерения показателя преломления атмосферы в приводном слое. - Радиотехника (Харьков), 1980, вып.52, с.91-93.
3. Кабанов В.А., Тургенев И.С. Рефрактометрические измерения с помощью вертолета. - Радиотехника (Харьков), 1980, вып.52, с.94-97.
4. Кабанов В.А., Тургенев И.С. Рефрактометрические исследования слоистых метеообразований над морем. - Радиотехника (Харьков), 1980, вып.55, с.99-100.
5. КОРТУНОВ В.А., КАБАНОВ В.А., КИВВА Ф.В., ТУРГЕНЕВ И.С. Частотная зависимость уровней СВЧ-сигналов на приводной трассе. - Распространение и дифракция радиоволн в мм. и субмм. диапазонах. Сб. научн. трудов ИРЭ АН Украины. - Киев: Наукова думка, 1984, с.52-63.
6. Кабанов В.А., Майков Г.Г., Сеницкий В.В., Тургенев И.С., Хоменко С.И. Исследование распространения радиоволн на морских трассах. - Распространение и дифракция радиоволн в мм. и субмм. диапазонах. Сб. научн. трудов ИРЭ АН Украины. - Киев: Наукова думка, 1984, с.64-72.
7. Кабанов В.А., Майков Г.Г., Сеницкий В.В., Хоменко С.И. Диагностика рефракционных свойств приводного слоя атмосферы контактными и неконтактными методами. - Радиофизические методы и средства для исследований окружающей среды в миллиметровом диапазоне: Сб. науч. трудов ИРЭ АН Украины. - Киев: Наукова думка, 1988, с. 101-108.
8. Кабанов В.А. Термостабильный резонатор. - Авторское свидетельство СССР №1415286, МкЛЗ НО1 Р7/06, опубли. 8.04.1988, приор. 18.06.1986.

9. Кабанов В.А., Кивва Ф.В., Кортунов В.А., Синицын В.Г., Тургенев И.С. О роли инверсионных слоев при распространении УКВ-сигналов над морем. - В кн.: Материалы Респ. школы-семинара "Автоматизация проектирования радио-техн. систем", Харьков, 1982, ч.4, 490-498. - Библиогр.: Бназв. - Рукопись деп. в ВИНТИ 29 июня 1983г., №3489, 83 ДЕП.
10. Kabanov V.A., Kivva F.V., Kortunov V.A., Sinitsin V.G., Tourgenev I.S. Effect of "anomalous" tropospheric M-profiles over the sea on SHF field strengths. Ursi Commission F 1983 Symposium, Louvain, Belgium, June 1983, p.47.
11. Кабанов В.А. Диагностика условий распространения радиоволн по радиотепловому излучению атмосферы. - Отчет о НИР "Исследование распространения декаметровых, метровых и сантиметровых радиоволн над вволнованной морской поверхностью с учетом рефракции в приводном слое атмосферы". N ГР 01870067837, ИРЭ АН Украины, Харьков, 1990, с.142-162.
12. Кабанов В.А. Оценка условий распространения радиоволн по радиотепловому излучению атмосферы. - В кн.: XVI Все-союзная конференция по распространению радиоволн: Тез. докл. Харьков, 1990, ч. II, с. 66.
13. Кабанов В.А. Результаты рефрактометрических исследований слоистых метеобразований над морем. - Отчет о НИР "Разработка принципов и создание комплексов дистанционного зондирования атмосферы и морской поверхности в ДКМ и СВЧ диапазонах для решения задач загоризонтной радиолокации, экологии и океанографии" (книга II). N ГР 0192427979, ИРЭ НАН Украины, Харьков, 1993, с.21-32.
14. Кабанов В.А. Инженерный метод диагностики условий распространения радиоволн по радиотепловому излучению атмосферы. - Отчет о НИР "Разработка принципов и создание комплексов дистанционного зондирования атмосферы и морской поверхности в ДКМ и СВЧ диапазонах для решения задач загоризонтной радиолокации, экологии и океанографии" (книга II). N ГР 0192427979, ИРЭ НАН Украины, Харьков, 1993, с.52-58.

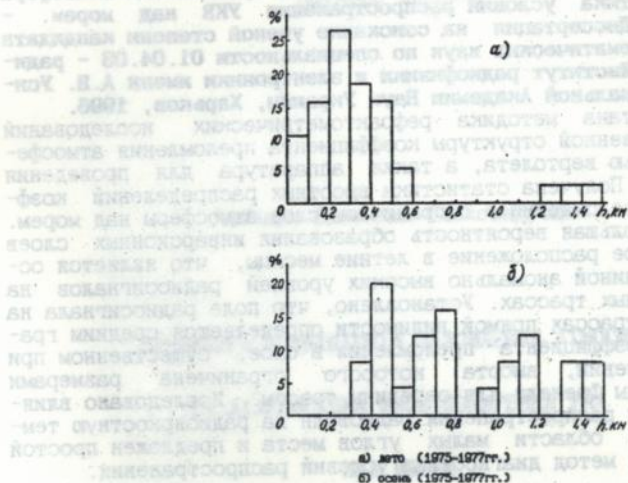


Рис. 1.

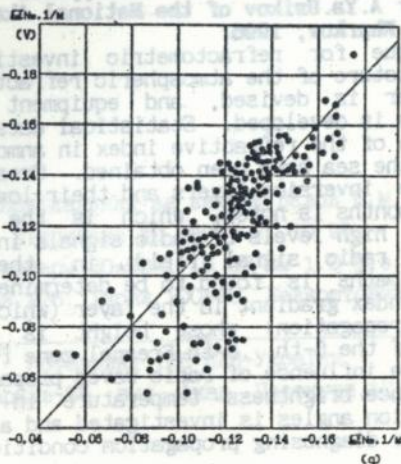


Рис. 2.

**Кабанов В.А. Структура коэффициента преломления атмосферы и диагностика условий распространения УКВ над морем. - Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 - радиофизика. Институт радиофизики и электроники имени А.Я. Усикова Национальной Академии Наук Украины, Харьков, 1996.**

Разработана методика рефрактометрических исследований пространственной структуры коэффициента преломления атмосферы с помощью вертолета, а также аппаратура для проведения измерений. Получена статистика высотных распределений коэффициента преломления в пограничном слое атмосферы над морем. Отмечена большая вероятность образования инверсионных слоев и их низкое расположение в летние месяцы, что является основной причиной аномально высоких уровней радиосигналов на загоризонтных трассах. Установлено, что поле радиосигнала на приземных трассах прямой видимости определяется средним градиентом коэффициента преломления в слое, существенном при распространении, высота которого ограничена размерами  $6\sqrt{\lambda}$ ... $8\sqrt{\lambda}$  зоны Френеля для середины трассы. Исследовано влияние условий распространения радиоволн на радиояркостную температуру в области малых углов места и предложен простой оперативный метод диагностики условий распространения.

**Кабанов V.A. The structure of the atmospheric refractive index and diagnostics of USW propagation over the sea. - Manuscript. A dissertation for the Candidate's degree in physics and mathematics (speciality 01.04.03 - radiophysics). Institute of Radiophysics and Electronics named after A.Ya.Usikov of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkov, 1996.**

A technique for refractometric investigations of the spatial structure of the atmospheric refractive index using a helicopter is devised, and equipment for conducting measurements is developed. Statistical data on the altitude distribution of the refractive index in atmospheric boundary layer over the sea have been obtained. Great probability of forming the inversion layers and their low position during the summer months is noted, which is the main cause of anomalously high levels of radio signals in the overhorizon paths. The radio signal field in the line-of-sight overground paths is found to be determined by the average refractive index gradient in the layer (which is essential in the propagation) whose height is limited by the dimensions of the  $6\sqrt{\lambda}$ ... $8\sqrt{\lambda}$  Fresnel zone for the middle of the path. The influence of radio waves propagation condition on the radiance brightness temperature in the region of small elevation angles is investigated and a straightforward technique for diagnosing propagation conditions is suggested.

**Ключові слова:** коефіцієнт заломлення, поширення радіохвиль, діагностика, рефрактометр, радіояскрава температура.

Наукове видання

Кабанов Валентин Олександрович

СТРУКТУРА КОЕФІЦІЄНТА ЗАЛОМЛЕННЯ АТМОСФЕРИ

ТА ДІАГНОСТИКА УМОВ ПОШИРЕННЯ УКХ

НАД МОРЕМ

Відповідальний за випуск Белов Е.М.

Підписано до друку 21.10 96.

Формат паперу 60\*90\*1/16 Об'єм 1.0 фіз.д.л.

Заказ №76. Тираж 100екз. Безкоштовно.

---

Ротапринт ІРЕ НАН України  
Харків-85, вул. Акад. Проскури, 12.

440901



Abp. 2. 17

440901

Ar 35.949  
**AB 35.949**