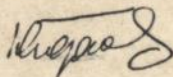


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ МІЖНАРОДНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОЇ
АВІАЦІЇ

На правах рукопису
УДК 621.396.67

БАРАБАНОВ ЮРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ



ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ
ГЕОМЕТРИЧНО СКЛАДНОЇ ФОРМИ РАДІОТЕХНІЧНИХ
ЗАСОБІВ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

Спеціальність: 05.22.13 "Навігація та управління повітряним рухом"

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 1996



00754132 (M)

Тобто виконано в Київському міжнародному університеті цивільної авіації.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Іванов Володимир Олександрович.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Білявський Леонід Степанович,
кандидат технічних наук, доцент
Почерняєв Віктор Миколайович

Провідна організація: Український центр з науково-методичного
забезпечення експлуатації
авіаційної техніки (Укр. ЦЕАТ)

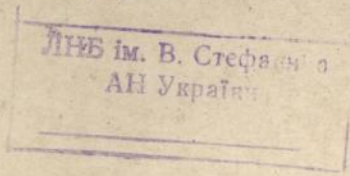
Захист відбудеться 27 червня 1996р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д. 01.35.01 Київського міжнародного університету цивільної авіації за адресою: 252058, м. Київ-58, проспект Космонавта Комарова 1, КМУЦА, конференц-зал.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці університету.

Автореферат розіслано 27 05 1996р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради,
кандидат технічних наук, професор

Р. О. Шевченко.



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність задачі. Засоби повітряного і наземного радіозв'язку складові частини системи управління повітряним рухом. Безперерійність і надійність радіозв'язку на лінії "борт-земля" в значній мірі залежить від характеристик випромінювання відповідних антен, оскільки будь-яка радіолінія починається і закінчується антеною. Знання особливостей цих характеристик дозволяє прогнозувати можливі погіршення радіозв'язку в залежності від змін кутової орієнтації антени рухомого об'єкту, наприклад, літака відносно положення антени, розміщеної на командно-диспетчерському пункті або на другому об'єкті.

Характеристики випромінювання відокремленої антени можуть істотно відрізнятись від характеристик тієї ж антени, встановленої на провідній поверхні геометрично складної форми. Для слабконаправлених антен, наприклад, штирьових, ці різниці більш істотні, ніж для гостронаправлених. Якщо корпус об'єкту, на якому встановлена штирьова антена, має складну форму (літак, автомобіль, ажурна башта), то характеристики випромінювання, наприклад, діаграма напрямку (ДН) звичайно досліджується експериментальним шляхом або розраховується на основі спрощених моделей, в яких корпус об'єкту апроксимується тілами геометрично правильної форми, які не враховують особливості його конструкції.

В першому випадку необхідно мати, на крайні заходи, макет об'єкту і відповідний випробувний полігон з поворотним стендом. При масштабному моделюванні необхідно зменшений макет об'єкту та спеціальна безлунна камера. Звичайно, що такі експериментальні дослідження займають багато часу та виявляються достатньо дорогими.

У другому випадку створюються спрощені математичні моделі, які засновані на класичних методах розв'язання електродинамічних задач. При цьому лише для обмеженого класу задач вдається отримати вирішення в замкнутому вигляді. Однак враховувати характерні особливості корпусу об'єкту і їх вплив на поле випромінювання при такому способі моделювання об'єктів не завжди вдається. Так, наприклад, в ДН можна не виявити наявності інтерференційних провалів, що приводять до порушення стійкості радіозв'язку при еволюціях літака або іншого рухомого об'єкту, усунення у просторі "нулів" і "максимумів" при зміні робочої частоти.

В наш час для розв'язання задач, які зв'язані з випромінюванням і розсіюванням електромагнітних хвиль тілами геометрично складної форми, використовують методи чисельного розв'язання інтегродиференційних рівнянь, отриманих із основних рівнянь електродинаміки - рівнянь Максвелла і граничних умов. При цьому об'єкти геометрично складної форми з встановленою на ньому антеною, замінюється провідною сітковою моделлю або моделлю, утвореною поверхневими площадками визначеної конфігурації, в якій можуть бути враховані всі характерні особливості корпусу. Розв'язання інтегродиференційних рівнянь Галлена або Поклінгтона стосовно до кожного елемента моделі об'єкту, дозволяє знайти розподіл струму по цьому елементу, а по сукупності елементів струму - визначити напруженість електричного поля в точці спостереження.

При чисельному розв'язанні інтегродиференційних рівнянь найбільш перспективним є метод моментів і, зокрема, метод Галеркіна. Слід відмітити, що метод моментів у зрівнянні з відомими евристичними і дифракційними методами дозволяє отримати дуже точні результати. Це пояснюється тим, що системи інтегродиференційних рівнянь точні в принципі, а метод моментів забезпечує пряме чисельне розв'язання цих рівнянь. При цьому апріорне знання форми розв'язання не потрібно. Всі особливості розсіювання хвиль, граничні умови, з'явлення поверхніх і ковзних хвиль, дифракція на ребрах і т.і. враховуються в рівняннях Максвелла і автоматично викаються у чітко сформульовані вирішення методом моментів.

У вітчизняній науково-технічній літературі теоретичні основи методу моментів розроблені достатньо добре. Однак в цій літературі приведені ДН випромінюючих систем, які визначені не розрахунком, а дослідним шляхом. Це свідчить про те, що практична реалізація методу моментів стосовно до випромінюючих об'єктів геометрично складної форми - складна задача, яка до цього часу не розв'язана авторами відомих публікацій. В зарубіжній літературі приведені результати розрахунків ДН складних випромінюючих систем. Розрахунки виконані з використанням метода моментів. Однак в цій літературі відсутні свідчення про процедуру практичної реалізації метода моментів в інженерних розрахунках. Програма розрахунків, яка приводиться в монографії Мітри Р. та інших авторів, при встановленні її на ЕОМ, виявилось що вона непрацездатна. Інші програми не опубліковані, публікуються лише коментарії до них. Програми, засновані на моделюванні тіла у вигляді поверхневих

площадок, мають обмежене застосування з-поза труднощів в уявленні складних об'єктів у вигляді сукупності пластин і необхідності знов утворювати розбивання поверхні для кожної нової частоти. Моделювання поверхні об'єктів складної конфігурації у вигляді провідникової сіткової структури уявляється більш гнучким і не достатньо дослідженим.

Таким чином виникає пекуча потреба в розробці доступного способу інженерних розрахунків поля випромінювання штирьових і вібраторних антен, які встановлюються на провідних корпусах таких об'єктів як літак, автомобіль, бронеоб'єкт, ажурна башта, щогла або вишка.

В деяких випадках необхідно враховувати ефект відбиття хвилі від земної поверхні. В монографіях Айзенберга Т. З., Грудинської Г. П., Корсунського Л. М., Фейнберга Е.А. та інших, містяться рекомендації по врахуванню коефіцієнтів відбиття (коефіцієнтів Френеля) для відокремленого вібратора. Задача істотно ускладнюється, якщо випромінююча система містить декілька сотен вібраторів, різним чином орієнтованих в просторі, як, наприклад, в сітковий моделі об'єкту.

Тому розробка методики визначення поля випромінювання антен, які розташовані на об'єктах складної форми на сіткових моделях з використанням метода моментів - актуальна задача, яка зв'язана з отриманням вагомому економічного ефекту, значення якої зростає по мірі збільшення складності РЕС та їх відповідальності при забезпеченні безперебійного зв'язку і електромагнітної сумісності.

Ціль роботи . Це розв'язання науково-технічної задачі, яка міститься в теоретичному обґрунтуванні і практичній реалізації способу розрахунку електричних полів, випромінюваних тілами складної форми, які знаходяться у вільному або наліво обмеженому просторі, на сіткових моделях об'єктів.

На підставі вищевикладеного можна сформулювати задачі дослідження :

1. використовуючи відомий математичний апарат, розробити програму для розрахунків поля, яке створюється сітковою моделлю об'єкту у вільному просторі;

2. розробити спосіб підвищення ефективності розрахунків, які виконуються на ЕОМ, що характеризується обмеженою продуктивністю;

3. розробити спосіб розрахунків ДН антен, які складаються з сукупності елементарних вібраторів;

4. розробити спосіб врахування ефекту відбивання хвиль від земної поверхні;

5. здійснити ряд практичних розрахунків ДН випромінюючих систем складної конфігурації.

Методи дослідження. В роботі використовуються методи чисельного розв'язання інтегродиференційних рівнянь, обчислювальної техніки, математичного аналізу, елементів матричного аналізу, методи математичної теорії поля.

Наукова новизна в дисертаційній роботі.

1. Обґрунтована математична база, яка необхідна для чисельного розв'язання інтегродиференційного рівняння (типу рівняння Поклінгтона) стосовно до трьохмірної сіткової моделі об'єкту. У формі, яка зручна для укладання програми розрахунків на ЕОМ, зображені всі компоненти, які входять в співвідношення, які визначають напруженість електричного поля, що створено сітковою моделлю об'єкту. Ця програма може бути використана для розрахунку ДН випромінюючих систем будь-якої конфігурації, якщо вони можуть бути зображені сітковою моделлю, що запроваджена в пам'ять ЕОМ.

2. Здійснено розрахунок ДН складних випромінюючих систем: поодинокі штир'юва антена та антенна решітка, яка створена штир'ювими антенами біля ажурної башти; директорна антена та антенна решітка, яка створена директорними антенами біля щогли; штир'юва антена, яка розміщена на килі літака; штир'юва антена, що установлена на рухомому об'єкті.

3. Встановлено, що при дослідженні поля протяжних осесиметричних об'єктів, довжина яких перевищує десятки довжин хвиль (λ), для інженерних розрахунків досить врахувати характерні конструктивні особливості фрагменту довжиною $(4-5)\lambda$. Виявлені фрагменти фізляжу літака, які особливо впливають на формування ДН.

4. Вперше отримані співвідношення для розрахунку ДН електричного диполя Герца, який займає в просторі довільне положення.

5. Отримані співвідношення для розрахунку ДН несиметричних випромінюючих систем, в яких одним з вібраторів являється диполь Герца, а другий - ромбічний вібратор, який складається із елементарних випромінювачів. Виявлені характерні особливості ДН, які необхідно враховувати на етапі проектування складних систем.

6. Розроблено спосіб декомпозиції складних випромінюючих систем, що представлені у вигляді сіткової моделі. Показано, що при використанні ортогональних декомпозиційних підмоделей можливо трьохкратне розширення області частот, в якій досліджується випромінювання.

7. Вперше отримані співвідношення, які дозволяють враховувати вплив підстилаючої поверхні на поле випромінювання металевого рухомого об'єкту, на корпусі якого встановлена слабконаправлена антена. Співвідношення утримають комплексні коефіцієнти Френеля для паралельно- і нормально поляризованих хвиль, які складним чином входять в одержані формули для розрахунку напруженості поля.

Положення, що виносяться на захист.

1. Методика чисельного розв'язання рівняння Поклінгтона стосовно до об'ємної сіткової моделі випромінюючої системи, розміщеної в вільному просторі.

2. Обґрунтування рекомендацій по вияву і врахуванню впливу конструктивних особливостей провідних корпусів об'єктів на ДН антен, котрі на них установлені.

3. Спосіб розрахунку поля випромінювання складних об'єктів з використанням декомпозиції на ортогональні підмоделі.

4. Спосіб розрахунку електричного поля елементарних вібраторів, займаючих в просторі довільне положення.

5. Методика врахування впливу підстилаючої поверхні на поле випромінювання антен, встановлених на цільнометалевих корпусах наземних об'єктів.

6. Загальна методика розрахунків поля випромінювання об'єктів геометрично складної форми, які збуджуються вібраторними антенами.

Практична цінність. Обґрунтовані і доведені до практичної реалізації методики розрахунку поля випромінювання і нормованих ДН складних рухомих і стаціонарних випромінюючих систем, які знаходяться у вільному або напівобмеженому просторі. Використання цих методик дозволяє прогнозувати вид ДН складних об'єктів як на етапі проектування, так і на етапі експлуатації без проведення дорогівартіх натурних випробувань.

Впровадження результатів досліджень здійснено :

1. "Методика розрахунку характеристик направленості випромінюючих об'єктів геометрично складної форми " і "Рекомендації по розміщенню антенних

систем діапазона метрових хвиль на ажурній телевізійній башті КРПТЦ" використанні в ОКР "Джип", яка виконана в НДПІ "Союз" м. Харків, 1995р.;

2. "Методика розрахунку ДН диполя Герца, який займає в просторі довільне положення", впроваджена в навчальну дисципліну "Електродинаміка і пристрої НВЧ", яка викладається на кафедрі технічної електродинаміки, КМУЦА, 1996р.

Апробация роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на :

- Звітній науково-технічній конференції університету 1993р. по держбюджетній тематиці (Київ КПЦА, 1994р.);

- II Міжнародній науково-технічній конференції "Методи управління системною ефективністю функціонування електрофікованих і пілотажнонавігаційних комплексів" (Київ, Мін. Освіти України, КПЦА, АНТК ім. О.Антонова, Держ. адм. авіац. транспорту, Аерокосмічна академія України, 1993р.);

- III Міжнародній науково-технічній конференції "Проблеми удосконалення радіоелектронних комплексів і систем, забезпечення польотів"/Аеронавігація - 94/ (Київ, мін. Освіти України, КМУЦА, Транспортна академія України, 1994р.);

- Міжнародній конференції "Теорія і техніка антен". Української національної асоціації "АНТЕНИ"(Харків, 1994р.);

- Міжнародний симпозиум по електро-магнітній сумісності і електромагнітній екології /ЕМС і ЕМЕ-95/ (С. Петербург, 1995р.);

- на Семінарах кафедри технічної електродинаміки (Київ, КМУЦА, 1994-1996р.р.).

Публікації. Основні результати дисертації опубліковані в 4 наукових звітах і 8 друкованих роботах.

Структура і об'єм роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, закінчення, списку використаної літератури, який налічує 90 найменувань, додатка. Загальний об'єм роботи складає 136 сторінок машинописного тексту, 73 малюнка, 7 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність роботи, сформульовані ціль та задачі досліджень, визначені новизна, практична цінність результатів роботи, описана

структура та коротко викладено зміст її розділів, а також основні положення, що вносяться на захист.

В першому розділі дається обґрунтування математичного апарату. Представлена формалізація базових співвідношень, необхідних для розв'язання інтегродиференціальних рівнянь по методу моментів, стосовно по методу Галеркіна. В вигляді придатній для математичного аналізу подані всі елементи, що необхідні для розрахунків значень розсіяного поля \vec{E} . В співвідношеннях введено параметр "a", який враховує радіус елемента сіткової моделі, так, що площа циліндричної поверхні елемента не являється нульовою. При розв'язанні використовується відоме інтегродиференціальне рівняння Поклінгтона для провідника із струмом. При цьому визначення матриці [Z] взаємодії елементів сіткової моделі відбувається в 2 етапи. Напочатку визначаються діагональні елементи матриці Z_{jj} , а потім - недіагональні елементи $Z_{ij}(i \neq j)$.

В першому випадку одержані співвідношення окремо для дійсної і уявної частин складових поля \vec{E}' , у вигляді :

$$\operatorname{Re}(\vec{E}') = -\frac{l\left(\frac{\mu}{\varepsilon}\right)^{\frac{1}{2}}}{4\pi k} \cdot \frac{5}{3} \left[2 - \frac{(\pi a)^2}{3} + \frac{(\pi a)^4}{60} + \frac{(2\pi R)^2((2\pi a)^2 - 8)}{120} \right] \quad (1)$$

$$\operatorname{Im}(\vec{E}') = \frac{l\left(\frac{\mu}{\varepsilon}\right)^{\frac{1}{2}}}{4\pi k} \left[\frac{1}{(2\pi R)^2} + \frac{1}{2} + \frac{(2\pi R)^2}{8} \left(1 - \frac{7(2\pi a)^2}{60} \right) - \frac{(2\pi R)^4}{240} \right] \sin\beta - \left[1 - \frac{(2\pi a)^2}{4} + \frac{7(2\pi a)^4}{480} \right] \ln(\operatorname{tg}\beta), \quad (2)$$

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{1 + \sin\beta + \cos\beta}{1 - \sin\beta + \cos\beta},$$

де $R = [a^2 + (s/2)^2]^{1/2}$ - радіус із центра сегменту до точки на його поверхні; β - кут візування цієї точки. S - довжина сегменту; l - струм в центрі сегменту; $k = 2\pi/\lambda$

Недіагональні елементи матриці [Z], які визначають компоненти поля E'_i і E'_j подані у вигляді :

$$\operatorname{Re}(\vec{E}'_i) = \frac{l\left(\frac{\mu}{\varepsilon}\right)^{\frac{1}{2}}}{4\pi k} \cdot \frac{5}{3} \int_{-s/2}^{s/2} \left[\left(2 - \frac{3(a^2 + \rho'^2)}{r^2} \right) \left(\frac{k \cos(kr)}{r} - \frac{\sin(kr)}{r} \right) - \frac{k^2(a^2 + \rho'^2) \sin(kr)}{r} \right] dl, \quad (3)$$

$$\operatorname{Im}(\dot{E}'_i) = -\frac{j\left(\frac{\mu}{\varepsilon}\right)^{\frac{1}{2}}}{4\pi k} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \left[\frac{k^2(a^2 + \rho'^2) \cos(kr)}{r^3} + \left(2 - \frac{3(a^2 + \rho'^2)}{r^2} \right) \left(\frac{\cos(kr)}{r^3} + \frac{k \sin(kr)}{r^2} \right) \right] dl, \quad (4)$$

$$\text{де } r = [\rho'^2 + a^2 + (z' - l)^2]^{\frac{1}{2}},$$

$$\operatorname{Re}(\dot{E}'_p/\rho) = \frac{j\left(\frac{\mu}{\varepsilon}\right)^{\frac{1}{2}}}{4\pi k} \left[\frac{k \cos(kR_2)}{R_2^2} - \frac{k \cos(kR_1)}{R_1^2} + \frac{\sin(kR_1)}{R_1^2} - \frac{\sin(kR_2)}{R_2^2} \right], \quad (5)$$

$$\operatorname{Im}(\dot{E}'_p/\rho) = \frac{j\left(\frac{\mu}{\varepsilon}\right)^{\frac{1}{2}}}{4\pi k} \left[\frac{\cos(kR_1)}{R_1^2} - \frac{\cos(kR_2)}{R_2^2} + \frac{k \sin(kR_1)}{R_1^2} - \frac{k \sin(kR_2)}{R_2^2} \right]. \quad (6)$$

де R_1 і R_2 - відстані між торцями циліндричного сегменту j довжиною S , радіусом a до середини i -го сегменту. Отримані співвідношення використані для визначення розподілу струму на елементах сіткової моделі і визначення складових \dot{E}_p і \dot{E}_p поля в точці спостереження.

В другому розділі здійснюються розрахунки ДН як реалізація математичної моделі електричного поля у вільному просторі, що створюється вібраторними антенами, які встановлені на вертикальних протяжних осесиметричних об'єктах, виконаних із провідних матеріалів. Показано, що істотний вплив на результуюче поле випромінювання чинить фрагмент протяжного об'єкту довжиною не менш 4 λ . Приводяться результати розрахунку ДН для кільцевих антенних решіток, що розміщені навколо ажурної башти і шогли великої протяжності при уявленні випромінювачів у вигляді системи поодиноких вертикальних вібраторів і системи слабконаправлених директорних антен. Розроблена сіткова модель літака (рис. 1а); приведені результати розрахунків ДН антени, що розміщена на його килі. Результати розрахунку добре співпадають з експериментальними даними, які були отримані в АНТК ім. О. Антонова. Виявлені фрагменти сіткової моделі літака, що істотно впливають на формування ДН. До цих фрагментів відносяться киль і стабілізатор спільно з антеною.

В третьому розділі приведені загальні і часткові співвідношення, що одержані, які характеризують електричне поле елементарного електричного вібратора, який займає довільне положення у просторі. Складові електричного поля в сферичній системі координат $[r, \theta, \phi]$ в загальному вигляді записуються наступним чином

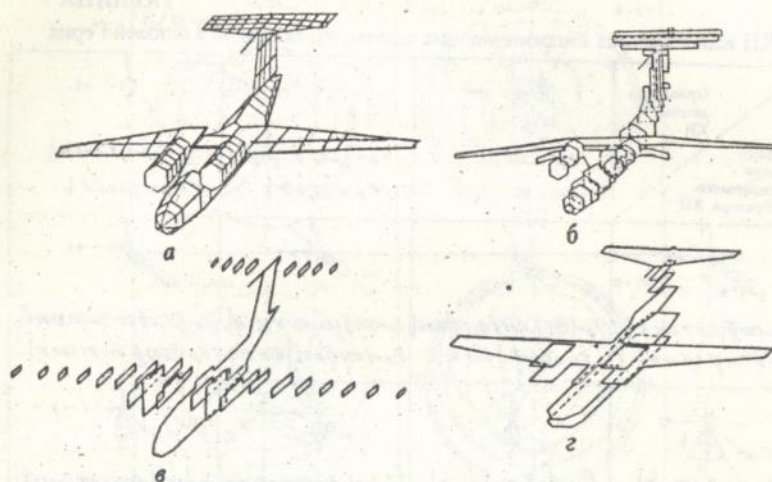


Рис. 1. Сіткова модель літака

а-повна сіткова модель; б, в, г-декомпозиційні підмоделі

$$\dot{E}_r = A \left[B - \left(1 - \frac{3}{\beta r} + i \frac{3}{\beta^2 r^2} \right) \right] r_1 \left[\sin \theta, \sin \theta \cos(\varphi_2 - \varphi) + \cos \theta, \cos \theta \right] - r_2 \left[\sin \theta, \sin \theta \cos(\varphi_1 - \varphi) + \cos \theta, \cos \theta \right] \quad (7)$$

$$\dot{E}_\theta = AB \left[r_1 \left[\sin \theta, \cos \theta \cos(\varphi_2 - \varphi) - \cos \theta, \sin \theta \right] - r_2 \left[\sin \theta, \cos \theta \cos(\varphi_1 - \varphi) - \cos \theta, \sin \theta \right] \right], \quad (8)$$

$$\dot{E}_\varphi = AB \left[r_1 \sin \theta, \sin(\varphi_2 - \varphi) - r_2 \sin \theta, \sin(\varphi_1 - \varphi) \right] \quad (9)$$



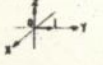








$$A = \frac{i e^{-i\varphi} \beta^2}{4\pi \cos \theta}, \quad B = -1 - \frac{1}{\beta r} + \frac{1}{\beta^2 r^2}, \quad C = \cos(\tilde{r}, \tilde{\lambda}) \left(-1 - \frac{3}{\beta r} + \frac{3}{\beta^2 r^2} \right), \quad \beta = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$\dot{E}_r, \dot{E}_\theta, \dot{E}_\varphi$ - складові напруженості електричного поля, яке створюється електричним диполем Герца в точці спостереження $P(r, \theta, \varphi)$; r_1, r_2 - радіус-вектори, які проведені із початку системи координат до кінців диполя; $\varphi_1, \varphi_2, \theta_1, \theta_2$ - кути, що визначають просторове положення кінців диполя.

В табл.1 приведено часткові співвідношення, які визначають характеристики направленості (ХН) систем, в яких один із вібраторів - диполь Герца, а другий - ромбічний вібратор із сторонами ромба 0.5l. Знак (+) або (-) визначає орієнтацію диполя вздовж або протележно відповідній координатній осі.

ТАБЛИЦЯ 1

ХН асиметричних випромінюючих систем, які складені з діполей Герца

Орієнтація диполя, ХН Орієнтація ромбичного вібратора, ХН	 $F_{\theta} = \sin \theta $ $F_{\varphi} = 0$	 $F_{\theta} = \cos \varphi \cos \theta $ $F_{\varphi} = \sin \varphi $	 $F_{\theta} = \sin \varphi \cos \theta $ $F_{\varphi} = \cos \varphi $
 $F_{\theta} = \cos \frac{\alpha}{2} \cos \varphi \cos \theta $ $F_{\varphi} = \cos \frac{\alpha}{2} \sin \varphi $	 $F_{\theta} = \cos \frac{\alpha}{2} \cos \varphi \cos \theta \sin \theta $ $F_{\varphi} = \cos \frac{\alpha}{2} \sin \varphi $	 $F_{\theta} = (\cos \frac{\alpha}{2} \pm 1) \cos \varphi \cos \theta $ $F_{\varphi} = (\cos \frac{\alpha}{2} \pm 1) \sin \varphi $	 $F_{\theta} = (\cos \frac{\alpha}{2} \cos \varphi \mp \sin \varphi) \cos \theta $ $F_{\varphi} = \cos \frac{\alpha}{2} \sin \varphi \mp \cos \varphi $
 $F_{\theta} = \cos \frac{\alpha}{2} \sin \theta $ $F_{\varphi} = 0$	 $F_{\theta} = (\cos \frac{\alpha}{2} \pm 1) \sin \theta $ $F_{\varphi} = 0$	 $F_{\theta} = \cos \frac{\alpha}{2} \sin \theta \mp \cos \varphi \cos \theta $ $F_{\varphi} = \sin \varphi $	 $F_{\theta} = \cos \frac{\alpha}{2} \sin \theta \mp \sin \varphi \cos \theta $ $F_{\varphi} = \cos \varphi $

Приведені співвідношення придатні для попередньої оцінки ДН окремих фрагментів сіткової моделі об'єкту складної конфігурації. А також, в цьому розділі зображені ДН осесиметричних антен типу "поодинокий вібратор-ромб", що розраховані методом моментів. На відміну від результатів попереднього параграфу, ці елементи випромінюючої системи сумірні з довжиною хвилі λ .

В четвертому розділі приведено спосіб декомпозиції складних випромінюючих систем, що представлені у вигляді сіткової моделі. При дослідженні поля випромінювання на основі методу моментів при використанні ВОМ, із збільшенням частоти виникає необхідність пропорційного збільшення густини сіткової структури об'єкту, а значить і кількості елементів N , які формують поле випромінювання об'єкту. Однак, таке збільшення числа N потребує відповідного збільшення об'єму пам'яті ВОМ, яка використовується при розрахунках, і супроводжується збільшенням накопиченої помилки.

Для розширення частотних можливостей сіткового моделювання і послаблення

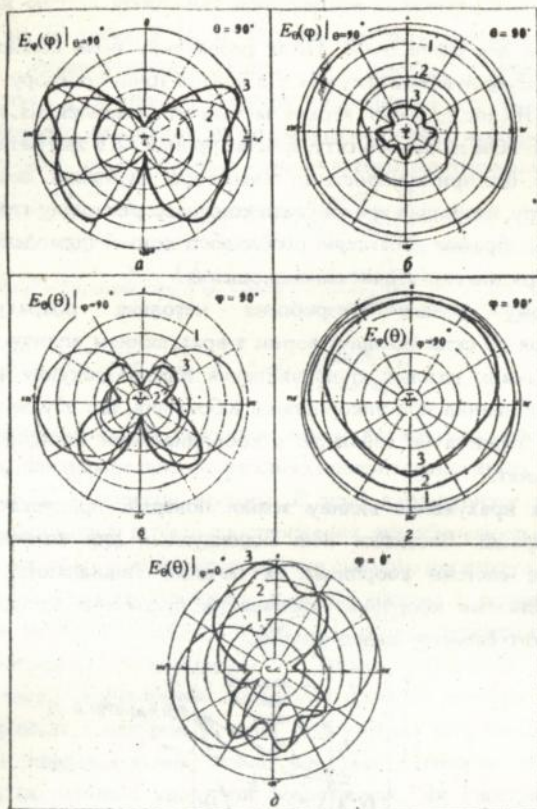


Рис.2. ДН випромінюючої системи "антена-фіюзеляж літака АН-74", які розраховані з способу декомпозиції для умов: 1- $f=2,0\text{МГц}$; 2- $f=8,0\text{МГц}$; 3- $f=18,6\text{МГц}$

вказаних недоліків, які є в ЕОМ будь-якого типу, використано спосіб декомпозиції сіткової моделі об'єкту на ортогональні підмоделі.

Ця можливість виникає із властивостей векторів, які визначаються своїми проекціями і, зокрема, рівності $\vec{j} = \vec{j}_x + \vec{j}_y + \vec{j}_z$, де $\vec{j}_x, \vec{j}_y, \vec{j}_z$ - відповідні складові частини щільності струму в елементах сіткової моделі. Аналогічним чином через свої проєкції визначається результуюче поле \vec{E} . Таким чином, сіткова модель об'єкту, наприклад літака, може бути зображена у вигляді сукупності трьох підмоделей (рис.1б,в,г). Кількість елементів N в кожній підмоделі може

бути граничним для даної ЕОМ. Після розрахунку поля кожної підмоделі, провадиться підсумовування векторів E в кожній точці простору і отримання результуючої ДН (рис.2.). Тому верхня частота випромінювання, на якій може бути досліджено поле даного об'єкту, зростає принаймні в три рази.

Показано, що при використанні генератора збудження, який введено в сіткову структуру, необхідно враховувати коефіцієнт розподілу струму штатної антени, який відображає характерні особливості кожної підмоделі. Для цього коефіцієнту одержано евристичне співвідношення.

В п'ятому розділі розроблена методика розрахунку поля випромінювання об'єктів складної форми з врахуванням впливу підстилаючої поверхні. Отримані загальні співвідношення для розрахунку комплексних коефіцієнтів відбивання при використанні вібраторів, що збуджують хвилі, у яких площина падіння не співпадає з координатними площинами базової системи координат.

Методика врахування впливу земної поверхні припускає здійснення наступних операцій. Вводяться нові індивідуальні для кожного елемента сіткової моделі системи координат, їх початки співпадають з центрами елементів. Ці системи координат визначають положення площини падіння хвилі для кожного елемента моделі (рис.3.).

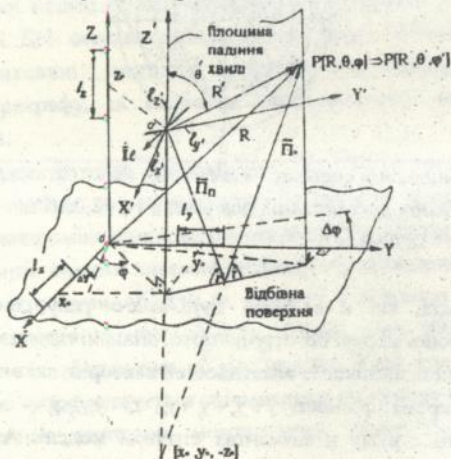


Рис. 3. Положення елементарного елемента з струмом в новій системі координат

В новій системі координат проводиться розкладання моментів струму сегменту $\dot{I}l$ на їх проекції $\dot{I}l_x, \dot{I}l_y, \dot{I}l_z$, які лежать в площинах нормально і паралельно-поляризованої хвилі. Ці проекції моментів струму, перераховуються у відповідні системи координат і використовуються для отримання формул, придатних до розрахунку проекції вектора напруженості електричного поля, що створюється кожним елементом сіткової моделі:

$$\dot{E}_x = E_x \sqrt{1 + \rho_x^2 + 2\rho_x \cos \Phi_x} \exp \left[i \left(\psi_x + \arctg \frac{\rho_x \sin \Phi_x}{1 + \rho_x \cos \Phi_x} \right) \right] \quad (10)$$

$$\dot{E}_y = E_y \sqrt{1 + \rho_y^2 + 2\rho_y \cos \Phi_y} \exp \left[i \left(\psi_y + \arctg \frac{\rho_y \sin \Phi_y}{1 + \rho_y \cos \Phi_y} \right) \right] \quad (11)$$

$$\dot{E}_z = E_z \sqrt{1 + \rho_z^2 + 2\rho_z \cos \Phi_z} \exp \left[i \left(\psi_z + \arctg \frac{\rho_z \sin \Phi_z}{1 + \rho_z \cos \Phi_z} \right) \right] \quad (12)$$

де $\dot{\rho}_x, \dot{\rho}_y, \dot{\rho}_z$ - коефіцієнти, які складним чином враховують відомі коефіцієнти Френеля $\dot{\rho}_{\parallel}, \dot{\rho}_{\perp}$ для паралельно і нормально поляризованої хвилі,

E_{ix}, E_{iy}, E_{iz} - проекції вектора \dot{E} , який характеризує первісне поле елемента сіткової моделі в точці спостереження, яке обчислюється по методичці, викладеної в першому розділі дисертації для вільного простору.

Остаточні обчислення вказаних проекцій вектора \dot{E} результуючого поля, яке враховує падаючу і відбиту хвилю в точці спостереження здійснюється згідно з програмою, розробленою на основі результатів, викладених в першому розділі. Перетворення отриманих проекцій вектора \dot{E} в сферичну систему координат з центром у точці підключення стороннього генератора збудження і підсумовування полів від всіх сегментів сіткової моделі здійснюється як останній крок при розрахунках. Як ілюстрація, на рис.5. приведені результати розрахунку нормованої ДН штатної антени, яка установлена на корпусі бронеоб'єкту - командно-штабній машині, сіткова модель якої зображена на рис.4. Розрахунками установлено, що форма ДН змінюється при зміні частоти сигналу, який випромінюється штатною антеною.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Обґрунтована математична база, що необхідна для чисельного розв'язання інтегродиференційного рівняння (типу рівняння Поклінгтона) в застосуванні до просторової сукупності елементів сіткової моделі. В формі зручній до складання програми розрахунків на ЕОМ, подані всі компоненти

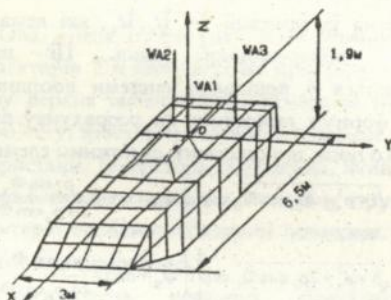


Рис.4. Сіткова модель корпусу бронюб'єкту з шпирьовими антенами

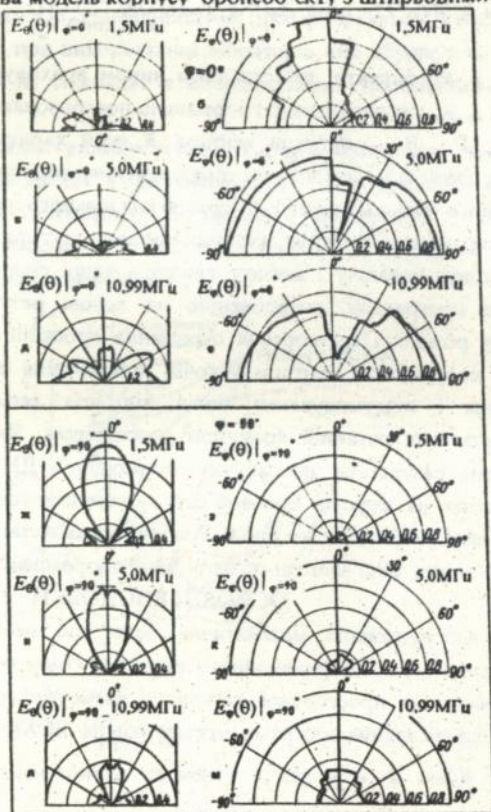


Рис.5. (Див. також сторінку 15)

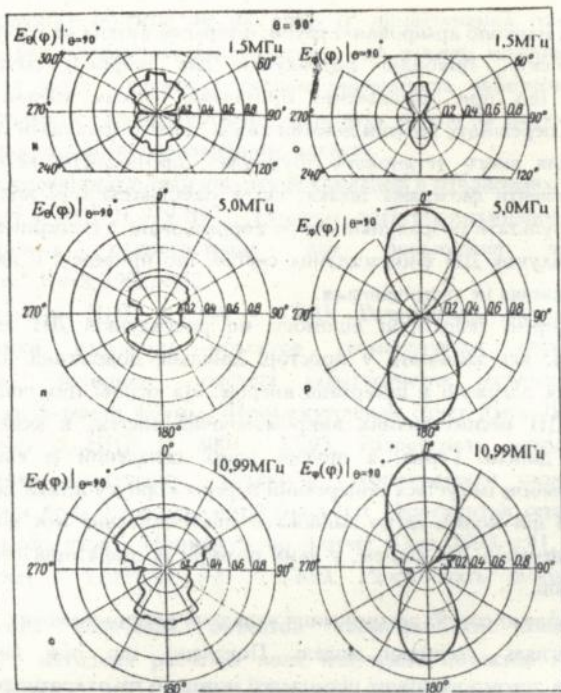


Рис.5. (Продовження) ДН шпирьової антени, яка розташована на бронеоб'єкті.

вхідні у співвідношення, що визначають напруженість результуючого електричного поля, яке створюється сітковою моделлю випромінюючого об'єкту. Розв'язання тестових задач з використанням розробленої програми, показали збіг отриманих результатів з результатами експерименту і розрахунків, що виконані в зарубіжних роботах з використанням програм TUD, AMP, RAE, тексти яких у відомих публікаціях відсутні. Розроблена програма може бути використана для розрахунку ДН випромінюючих об'єктів будь-якої конфігурації, якщо вони можуть бути подані сітковою моделлю, що заповнена в пам'ять ЕОМ.

2. Здійснено кількісний розрахунок ДН складних випромінюючих систем типу: вібратор або система вертикальних вібраторів, розміщених навколо ажурної башти; директорна антена або система директорних антен,

розташованих навколо армірованої труби; штирєва антена на корпусі літака і рухомого об'єкту. Виконані розрахунки для широкої смуги частот. Установлено, що при дослідженні протяжних осесиметричних об'єктів, довжина яких перевищує десятки довжин хвиль, досить врахувати особливості фрагменту, біля якого установлен збуджувач, протяжністю всього (4-5) λ . Виявлені фрагменти фюзеляжа літака, які в найбільшій мірі впливають на форму ДН. Результати розрахунків добре коррельовані з експериментальними даними. Розрахунок ДН вищезгаданих систем, що приведені в дисертації, у відомих публікаціях не зустрічаються.

3. Розширені теоретичні відомості по розрахунках ДН електричних диполів Герца, які займають у просторі довільне положення. Ці загальні співвідношення одержані в дисертації вперше. На основі цих співвідношень розраховані ДН несиметричних випромінюючих систем, в яких одним із вібраторів є диполь Герца, а другий ромб, складений із елементарних вібраторів. Ромбом імітується поперечний переріз корпусу літака під штатним вібратором. В цій моделі легко змінювати співвідношення між поперечними розмірами. Одержані ДН систем, у яких розміри їх вібраторів співвимірні з довжиною хвилі.

4. Розроблено спосіб декомпозиції складних випромінюючих систем, що подані у вигляді сіткової моделі. Показано, що при використанні ортогональних декомпозиційних підмоделей можливо трьохкратне розширення області частот, в якій досліджуються випромінювання. Результати розрахунків з використанням способу декомпозиції добре співпадають з розрахунками для повної сіткової моделі.

5. Вперше отримані співвідношення, які дозволяють врахувати вплив підстилаючої поверхні на поле випромінювання цільнометалевого рухомого об'єкту на корпусі якого встановлено слабконаправлену антену. Співвідношення містять коефіцієнти Френеля для паралельно та нормально-поляризованих хвиль. Ці коефіцієнти входять рівноправно в отримані співвідношення для довільного елемента сіткової моделі у визначеній композиції.

Таким чином, в дисертації розроблен і доведен до практичної реалізації спосіб розрахунку поля випромінювання і нормованих ДН складних рухомих і стаціонарних випромінюючих систем, які знаходяться у вільному або напіввільному просторі. Використання цього способу дозволяє прогнозувати

вид ДН складних об'єктів як на етапі їх проектування, так і на етапі експлуатації без проведення дороговартіх і не завжди можливих натурних іспитів. Крім того, з'являється реальна можливість забезпечити потрібні перешкодостійкість і електромагнітну сумісність систем за рахунок реалізації принципу просторово-поляризаційного захисту.

Основні результати дисертації викладені в публікаціях:

1. Отчет о НИР N 929-B92. "Решение электродинамических проблем в информационных радиосистемах для повышения эффективности эксплуатации", Киев, 1992.-с.57.

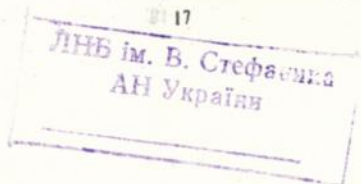
2. Отчет о НИР N 300 - ГБ93. Разработать методику расчета характеристики излучения объектов геометрически сложной формы. "Разработка методики расчета характеристик излучения объектов геометрически сложной формы: /Промежуточный отчет, Киев, 1993.-с.33.

3. Отчет о НИР N 300 - ГБ93. Разработать методику расчета характеристики излучения объектов геометрически сложной формы. "Исследование поля излучения ортогональных фрагментов сеточной модели излучающих объектов". /Промежуточный отчет, Киев, 1993.-с.41.

4. Отчет о НИР N 300 - ГБ93. Разработать методику расчета характеристики излучения объектов геометрически сложной формы. "Разработка методики расчетов поля излучения объектов геометрически сложной формы с учетом влияния подстилающей поверхности". /Заключительный отчет, Киев, 1995.-с.47.

5. Барабанов Ю.Н. Исследование поля излучения системы антенна-фюзеляж самолета. //Тез. докл. -II Международная научно-техническая конференция "Методы управления системной эффективностью функционирования электрифицированных и пилотажно-навигационных комплексов" .Киев, Мин. Образования Украины, КИИГА, АНТК им. О.Антонова, Гос. адм. авиац. транспорта, Аэрокосмическая академия Украины, 1993.-с.95;

6. Иванов В.А., Барабанов Ю.Н., Соловьев А.В. Способ решения интегрального уравнения электромагнитного поля для проволочных антенн. //Тез. докл. -II Международная научно-техническая конференция " Методы управления системной эффективностью функционирования электрифицированных и пилотажно-навигационных комплексов". Киев, Мин.



Образования Украины, КИИГА, АНТК им. О.Антонова, Гос. адм. авиац. транспорта, Аэрокосмическая академия Украины, 1993.-с.88;

7. Барабанов Ю.Н., Иванов В.А., Скачков С.А. Диаграммы направленности системы вертикальных вибраторов, размещенных на ажурной башне. //Тез. докл. -III Международная научно-техническая конференция "Проблемы совершенствования радиоэлектронных комплексов и систем, обеспечения полетов" /Аэронавигация-94/ Киев, Мин. Образования Украины, КМУГА, Транспортная академия Украины, 1994.-с.65;

8. Барабанов Ю.Н., Иванов В.А., Чекед И.В. Учет влияния земли в сеточной модели объекта геометрически сложной формы. //Тез. докл. -III Международная научно-техническая конференция "Проблемы совершенствования радиоэлектронных комплексов и систем, обеспечения полетов" /Аэронавигация-94/ Киев, Мин. Образования Украины, КМУГА, Транспортная академия Украины, 1994.-с.63-64;

9. Барабанов Ю.Н., Иванов В.А. Ортогональная система сеточных моделей объектов геометрически сложной формы. //Тез. докл. -III Международная научно-техническая конференция "Проблемы совершенствования радиоэлектронных комплексов и систем, обеспечения полетов" /Аэронавигация-94/ Киев, Мин. Образования Украины, КМУГА, Транспортная академия Украины, 1994.-с.64-65.

10. Барабанов Ю.Н., Соловьев А.В. Расчет поля излучения самолетных антенн с учетом влияния фюзеляжа. /Сб.трудов N5, Киев: НИЦ управления и связи при КВИУС, 1993 г. -с.181-184.

11. Барабанов Ю.Н., Иванов В.А. Характеристики направленности элементарного вибратора в моделях проволочных излучающих систем. /Сб.трудов N6, Киев: НИЦ управления и связи при КВИУС, 1993. -с.172-180.

12. Барабанов Ю.Н., Иванов В.А., Ильницкий Л.Я. Особенности расчета диаграмм направленности излучающих систем геометрически сложной формы. / Сб. научных докл. С.Петербург, Международный симпозиум по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии /ЭМС и ЭМЭ-95/, 1995. -с.9-10;

13. Иванов В.А., Барабанов Ю.Н. Поле излучения фрагментов сеточной модели объектов геометрически сложной формы. /Тез. докл. Отчетной научно-технической конференции университета за 1993 г. по госбюджетной тематике. К.: КМУГА, 1994. -с.31.

Аннотация

Барабанов Ю.Н. *Исследование поля излучения объектов геометрически сложной формы радиотехнических средств управления воздушным движением.* Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.13.- *Навигация и управление воздушным движением.* Киевский международный университет гражданской авиации. г. Киев. 1996.

В работе приведены результаты теоретических исследований и численных расчетов поля излучения сложных систем типа "вибраторная антенна-проводящий корпус объекта, на котором она установлена". В основе исследований лежит способ сеточного моделирования объектов геометрически сложной формы. При решении исходного интегродифференциального уравнения используется метод моментов, в частности, метод Галеркина. Разработана методика учета влияния на результирующее поле параметров подстилающей поверхности. Полученные соотношения и методики пригодны для осуществления инженерных расчетов.

Annotation

Barabanov Y.N. *A field radiation research of geometrically complicated form objects of air traffic radio control facilities.* The applicant's dissertation for Technical Science Candidate degree Speciality of 05.22.13.- *Navigation and Air Traffic Control.* Kiev's International University of a Civil Aviation, Kiev, 1996.

In the work results has been described of theoretical researches and numerical accounts of a complex systems field radiation such as " a monopole antenna - conducting case of object are adduced, on which it is established ". In the basis of researches there is a way grid's simulation of objects of the geometrically complicated form. At the decision initial integral of a equation a method of moment, in particular, method Galerkin's is used. A technique of the account of influence on a resulting field of parameters ground plane of a surface is developed. The received parities and technique are suitable for realization in the engineering accounts.

Ключеві слова: діаграма напрямку, метод моментів, сіткова модель, вібратор.

Підписано до друку 23.05.96. Формат 60x84/16. Папір друкарський.
Офсетний друк. Ум.фарбовідб.6. Ум.друк.арк.1,16. Обл.вид.арк.1,25.
Тираж 100 прим. Замовлення № 122-І. Ціна . Вид. № 214/Ш.

Видавництво КМУЦА.
252058. Київ-58, проспект Космонавта Комарова, І.

436585

AB 35.206