

**Література**

1. Lauren E. Welbourne, Antony B. Morland, Alex R. Wade "Human colour perception changes between seasons". [Electronic resource]. – Mode of access <http://www.cell.com/current-biology/abstract/S0960-9822%2815%2900724-1>.
2. [Electronic resource]. – Mode of access <http://www.newsru.ua/arch/world/02jul2012/3cveta.html>
3. [Electronic resource]. – Mode of access <http://robocraft.ru/blog/computervision/460.html>
4. [Electronic resource]. – Mode of access <http://www.cyberforum.ru/csharp-beginners/thread1093557.html>
5. Уосермен Ф. Нейрокомп'ютерна техніка: Теорія і практика / Ф. Уосермен. [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://www.victoria.lviv.ua/html/wosserman/>
6. McCulloch W.W., Pitts W. 1943. A logical calculus of the ideas imminent in nervous activiti. Bulletin of Mathematical Biophysics 5. – Pp. 115-33. (Російський переклад: Маккаллок У.С., Пिटтс У. Логическое исчисление идей, относящихся к нервной деятельности. Автоматы. – М. : Изд-во Иностран. лит-ры. – 1956).
7. Pitts W. McCulloch W.W. 1947. How we know universals. Bulletin of Mathematical Biophysics 9. – Pp. 127-47.
8. Rosenblatt F. 1962. Principles of Neurodynamics. – New York : Spartan Books. (Російський переклад: Розенблатт Ф. Принципы нейродинамики. – М. : Изд-во "Мир", 1965).
9. Widrow B. 1961. The speed of adaptation in adaptive control system, paper \*1933-61. American Rocket Society Guidance Control and Navigation Conference.
10. Widrow B. 1963. A statistical theory of adaptation. Adaptive control systems. – New York : Pergamon Press.
11. Widrow B., Angell J.B. 1962. Reliable, trainable networks for computing and control. Aerospace Engineering 21. – Pp. 78-123.
12. Widrow B., Hoff M.E. 1960. Adaptive switching circuits. 1960 IRE WESCON Convention Record. – Part 4. – Pp. 96-104. – New York : Institute of Radio Engineers.

**Грицик В.В. Исследование задачи выбора метода распознавания границ в зависимости от спектральных условий**

Приведены результаты исследования возможности построения методики объективного выбора фильтра нахождения границ путем установления зависимости эффективности метода нахождения контуров уровня освещенности. Исследована устойчивость фильтров поиска контуров к влиянию такого внешнего фактора как свет. Рассмотрены преимущества и недостатки каждого из фильтров. Проведенное исследование является первой частью исследования, что позволит разработать методику объективного выбора оптимального фильтра для бегущих условий. Это позволит полностью автоматизировать процесс поиска контуров, несмотря на влияние такого фактора как освещение. Исследована работа операторов Робертса, Кенни, Собеля, Шцарра. Процедура объективной оценки качества выполняет математический аппарат на базе искусственной нейронной сети (классический однослойный перцептрон).

**Hrytsyk V.V. The study of the Problem of Choosing of Border Detection Method Depending on the Spectral Values**

The aim is to show the results of a study on the possibility of constructing an objective methodology of selection filter by setting limits depending on the efficiency of the method of the paths of light levels. The filter search paths stability to the influence of external factors such as light is considered in this work. The advantages and disadvantages of each filter are compared. The study is the first part of the research that will develop a method of choosing of the optimal objective filter to real time conditions. Results will fully automate the process of finding paths in spite of the influence of such factors as lighting. The works of such operators as Roberts, Kenny, Sobel, and Scharra are studied. The procedure takes an objective assessment of the quality is done by mathematical tools based on artificial neuron network (classic single-layer perceptron).

**Keywords:** border detection method, filter, lighting, artificial neuron network.

**УДК 621.396.6 Проф. В.В. Атаманюк, канд. техн. наук – Національна Академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів**

**МОДЕЛЮВАННЯ ПОЛІВ РОЗСІЮВАННЯ РОЗПОДІЛЕНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ОБ'ЄКТІВ І СЦЕН**

Проаналізовано методи отримання характеристик розсіювання складних радіолокаційних об'єктів. Розглянуто математичну модель радіолокаційних сигналів від мультиспектральної фоноцільової обстановки, заданої у вигляді полігональної моделі. Запропоновано підхід, який ґрунтується на дослідженні поля, розсіяного складним об'єктом на поверхні приймальної апертури як функції несної частоти зондуючого сигналу та координат фрагментів формоутворювальної поверхні. Внаслідок цифрового моделювання отримано характеристики розсіювання складних об'єктів, які мають практичну цінність.

**Ключові слова:** складний радіолокаційний об'єкт, розсіювання електромагнітних хвиль, полігональна модель, характеристики розсіювання об'єктів.

**Вступ.** Застосування радіолокаційних засобів є найбільш дієвим підходом для виявлення віддалених об'єктів, вимірювання параметрів руху, а також їх розпізнавання (ідентифікації) незалежно від погодних умов і наявності природного чи штучного освітлення. Серед перерахованих задач, які успішно вирішуються за допомогою радіолокаційних засобів, найбільш складною є задача розпізнавання. Вирішення цієї проблеми пов'язано з дослідженням характеристик розсіювання складних об'єктів і підстильних поверхонь [1-5]. Однак і на сьогодні ця проблема не має прямого та однозначного вирішення. Тому спроби започаткувати нові підходи до пошуків розв'язків зазначеної проблеми є актуальним і важливим як для науки, так і для практики завданням.

**Мета роботи** – проаналізувати відомі методи отримання радіолокаційних характеристик розсіювання складних об'єктів, здійснити пошук нових підходів до можливості застосування математичного моделювання розсіяного ними поля для їх ідентифікації.

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій.** Від самого початку широкого використання радіолокаційних станцій проєктвальники намагаються якомога точніше розв'язати задачу розрахунку характеристик радіолокаційних сигналів, розсіяних різноманітними об'єктами.

Отримання інформації про розсіяне поле можливе в разі використання експериментальних методів. Однак вимірювання параметрів поля у широкому частотному діапазоні (до 10 ГГц), великому динамічному діапазоні (до 60 дБ) та на ділянці простору (кілька метрів) якщо і можливе, то є надзвичайно дорогим. Теоретично поле, розсіяне складним об'єктом, можна визначити шляхом розв'язання рівнянь Максвелла для граничних і початкових умов, які відповідають складному об'єкту – радіолокаційній цілі. В області без джерел повне поле задовольняє таке хвильове рівняння:

$$\nabla^2 U_i(R, t) - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 U_i(R, t)}{\partial t^2} = 0, \tag{1}$$

де:  $U_i(R, t)$  – векторні складові поля,  $i=x, y, z$  – просторовий індекс.

Однак можливість отримання точних рішень обмежена тілами простої форми (сфера, конус, тор та ін.) внаслідок відомих проблем формалізації проце-

су розсіювання електромагнітних хвиль складною поверхнею радіолокаційної сцени [6-8]. Тому для більшості практичних задач єдино можливим рішенням є використання наближених теорій. Розглянемо деякі з них.

Розрахунки, засновані на методах теорії геометричної оптики, використовують представлення розповсюдження електромагнітної енергії у вигляді пучків променів, під час падіння яких на межу розділу середовищ справедливі закони відбивання та заломлення. Ці методи не враховують поляризацію, а також хвильову природу електромагнетизму, а отже, не враховують впливу інтерференції, яка зумовлює флукуаційний характер залежності параметрів поля від ракурсу цілі, характерний для складних об'єктів у короткохвильовій області розсіювання ( $\lambda \ll L_{el}$ , де  $L_{el}$  – характерні розміри об'єкта).

Часто методики розрахунку характеристик розсіювання опираються на допущення, згідно з яким локальна густина струму в кожній точці опроміненої частини об'єкта приймається рівній густині струму в цій точці, так, якби він протікав по нескінченній дотичній площині.

В іншій моделі методи обчислення дифракційного поля елементів геометричної моделі об'єкта представляються в формі об'єктно-орієнтованих класів. Кожний клас використовує інформацію про параметри розсіювача певного типу та методи оцінки розсіяного ним поля. Метод розвивається в напрямі удосконалення системи геометричного моделювання, яка пристосована до рішення задач фізичної теорії дифракції. Розроблено обчислювальні методи для застосування асимптотичних методів фізичної теорії дифракції, таких як методи Кірхгофа та Уфимцева (метод краєвих хвиль). Однак застосувати їх вдається тільки для елементів складного об'єкта, які допускають математичну формалізацію опису їх поверхні.

Перспективним є теоретичний підхід, який використовує методи геометричної теорії дифракції. Він представляє собою розвиток геометричної оптики з урахуванням явища дифракції електромагнітних хвиль. Розсіяне складним об'єктом поле у конкретній точці спостереження  $U(R, \varphi)$  видається сумою  $n$  векторних полів деяких локальних центрів розсіювання  $U_i(R, \varphi)$  (блискачух точок) з відповідними фазовими і амплітудними співвідношеннями, які враховують відстань до кожного центра  $R$  та його ракурс  $\varphi$

$$U(R, \varphi) = \sum_{n=1}^N U_i(R, \varphi) \exp[i(\omega t - 2kR_i)]. \quad (2)$$

Одним із пріоритетних напрямів розвитку принципів і методів локаційного виявлення та розпізнавання цілей на фоні підстильних поверхонь та наявності завад є розроблення нових досконаліших методів математичного моделювання розсіювання і випромінювання електромагнітних хвиль складними об'єктами.

**Виклад основного матеріалу.** Сучасний рівень розвитку обчислювальних пристроїв і систем автоматизованого проектування (САПР) дає змогу використовувати для рішення задач математичного моделювання розсіювальних і випромінювальних характеристик об'єктів складної геометричної форми моделі, які засновані на представленні зовнішньої поверхні об'єкта у вигляді сукуп-

ності однотипних елементів, що дає змогу з інженерною точністю створити віртуальний образ практично будь-якого фоноцільового сюжету.

Основою такого методу є підходи, розвинені у 3D моделюванні оптичних зображень складних об'єктів. У сучасних САПР 3D-модель об'єкта конвертується у т. зв. полігональну модель, яка представляє собою кінцеву сукупність однотипних плоских елементарних відбивачів (полігонів) з певним набором електродинамічних властивостей, кількість і форма яких може бути різною. Для прикладу, на рис. 1 наведено полігональну модель сфери. Це дає змогу синтезувати геометричну модель об'єкта, який спостерігається, практично будь-якої форми.

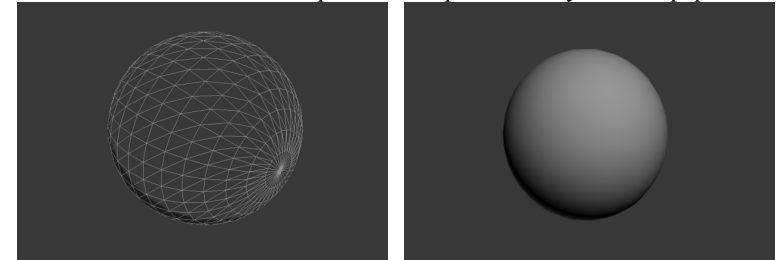


Рис. 1. Сфера та її полігональна модель

До основних переваг таких моделей можна віднести наявність бібліотеки готових об'єктів та спеціалізованого програмного забезпечення з генерації їх 3D моделей. Однак їх недоліками є обмежені можливості досягнення високої точності апроксимації зовнішнього образу об'єкта, які потребують великих затрат на опис складної радіолокаційної цілі, а також на розв'язання задачі машинними методами. Додатково, похибки результатів, отриманих за допомогою фізичної оптики, швидко ростуть по мірі відхилення від напряму дзеркального відбивання. Найчастіше досліджується результуюче поле в одній точці простору, що дає змогу отримувати діаграми зворотного розсіювання (випромінювання) складних об'єктів, або їх часові залежності від динаміки руху.

Перспективним видається підхід, який базується на дослідженні поля, розсіяного складним об'єктом на поверхні приймальної апертури як функції несної частоти зондуючого сигналу та координат фрагментів формоутворювальної поверхні. Такий підхід дає змогу отримати широкий клас локаційних характеристик, зв'язаних з геометричною формою об'єкта, а отже, дає змогу проводити мультиспектральний аналіз електромагнітного поля, яке формується об'єктами складної конфігурації. Поле в кожній точці спостереження видається сумою полів, розсіяних (випромінених) однотипними елементарними поверхнями (наприклад, трикутниками), які формують поверхню цілі, з урахуванням їх діаграми зворотного розсіювання (ДЗР).

Недоліком такого підходу є неточне відновлення фазової структури поля на поверхні, однак зберігається зв'язок енергетичних локаційних характеристик з геометричною формою об'єкта та значно зменшується об'єм обчислень. Запропонований метод математичного моделювання є адекватною альтернативою експериментальним дослідженням, не має обмежень за умовами спостереження і може застосовуватись для відпрацювання технічних рішень на початкових ета-

пах проектування локаційних систем, а також допускає каталогізацію цілей та підстильних поверхонь.

Розглянемо докладніше отримання розсіяного об'єктом поля за цим методом. У системі координат, зв'язаній зі спостерігачем (рис. 2), елемент об'єкта характеризується:

- а) формою (трикутник, ребро і т. ін.);
- б) геометричними розмірами;
- в) координатами центра елемента –  $(x_i, y_i, z_i)$ ;
- г) орієнтацією елемента – нормаллю до елемента  $n_i$ ;
- д) залежно від форми і розмірів елемента йому приписується індивідуальна діаграма зворотного розсіювання –  $\sigma_i(\alpha_i, \beta_i, \lambda)$ , де  $\alpha_i, \beta_i$  – проекції кута між напрямом на елемент від довільної точки простору  $(x, y, z)$  і нормаллю до елемента  $n_i$ ;  $\lambda$  – довжина зондувальної хвилі. У разі врахування поляризаційних ефектів  $\sigma_i(\alpha_i, \beta_i, \lambda)$  представляє собою поляризаційну матрицю розсіювання.

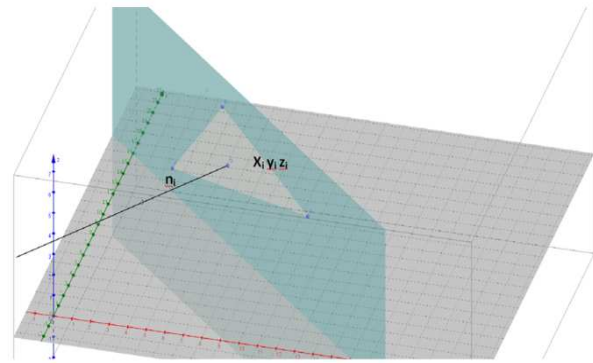


Рис. 2. Задавання параметрів елементарної поверхні у системі координат, пов'язаній зі спостерігачем

Під час формування поля некогерентних сигналів, наприклад в інфрачервоному діапазоні, окремому елементу 3D моделі об'єкта спостереження приписується певна температура або відповідна інтенсивність випромінювання.

Для довільної точки простору  $(x, y, z)$  потрібно визначити:

- а) відстань від даної точки до центру елемента

$$R_i = [(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2]^{1/2}; \quad (3)$$

- б) проекції кутів  $(\alpha_i, \beta_i)$  між вектором  $R_i$  і нормаллю до поверхні елемента  $n_i$  через параметри  $(x, y, z)$ ,  $(x_i, y_i, z_i)$  і  $n_i$ ;
- в) додаткові параметри, зв'язані з особливими характеристиками елемента (наприклад, характеристики поглинаючого покриття і т. ін.).

На основі експортованих параметрів елементів із 3D моделі в просторово когерентному випадку для виділеної області простору формується напруженість електромагнітного поля

$$E(x, y, z) = A/R_i^2 \sigma_i(\alpha_i, \beta_i, \lambda) \exp\{2\mu R_i + i[2kR_i - \omega t]\}, \quad (4)$$

де:  $A$  – амплітуда зондувальної хвилі;  $\mu$  – коефіцієнт поглинання електромагнітної хвилі в атмосфері;  $k$  – хвильове число,  $\omega$  – кругова частота зондувального сигналу;  $t$  – час. Поля інтенсивностей в некогерентному випадку формуються в деякій області картинної площини з урахуванням поглинання випромінювання в атмосфері і описуються рівнянням

$$I_i = I_{0i} \exp\{\mu(\lambda), R_i\}, \quad (5)$$

де  $I_{0i}$  – інтенсивність випромінювання, яка приписується  $i$ -тому елементу 3D моделі.

**Результати комп'ютерного моделювання.** На основі запропонованого методу проведено комп'ютерне моделювання деяких об'єктів. Нижче (рис. 3-7) наведено кілька прикладів:

- залежність ЕПР куба від ракурсу спостереження для трьох частот;
- залежність ЕПР системи з двох кубів від ракурсу спостереження;
- візуальне зображення складного об'єкта та його полігональна модель;
- залежність ЕПР складного об'єкта від ракурсу спостереження у полярних координатах.

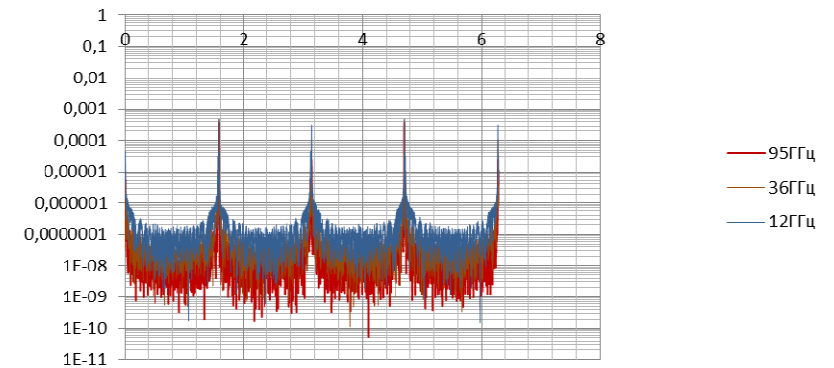


Рис. 3. Залежність ЕПР куба від ракурсу спостереження для трьох частот

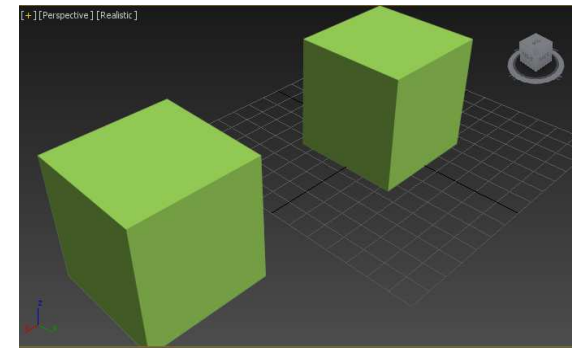


Рис. 4. Система з двох кубів

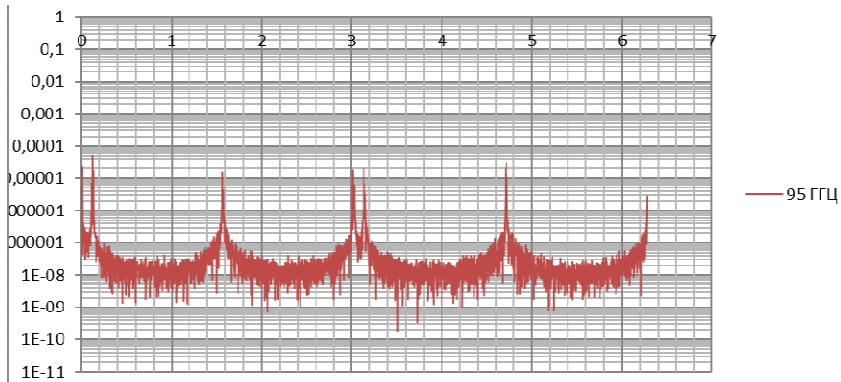


Рис. 5. Залежність ЕПР системи з двох кубів від ракурсу спостереження

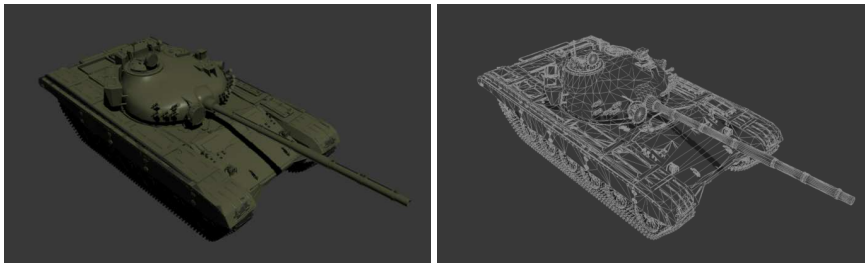


Рис. 6. Складний радіолокаційний об'єкт та його полігональна модель

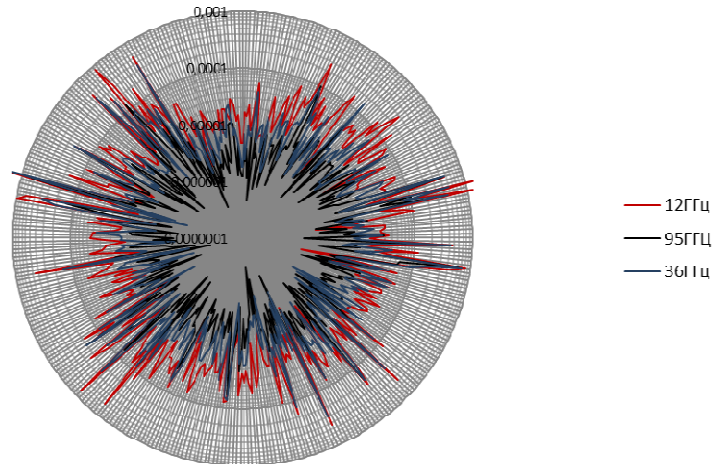


Рис. 7. Залежність ЕПР складного радіолокаційного об'єкта від ракурсу спостереження у полярних координатах

**Висновки.** Запропоновані методи математичного моделювання характеристик розсіювання цілей і вхідних сигналів РЛС різного призначення є адекватною альтернативою натурним і напівнатурним дослідженням у широкому діапазоні радіохвиль.

На основі полігональної моделі розподіленої радіолокаційної сцени можна отримати аналітичні співвідношення, що дають змогу обчислювати параметри розсіяного електромагнітного поля в різних точках простору, ЕПР опромінюваної ділянки сцени, частотні та імпульсні характеристики розсіювання. Розроблена методика математичного моделювання не має обмежень за дальністю і може застосовуватися для розрахунку вхідних сигналів радіолокаційних систем і характеристик розсіювання складних об'єктів.

У багатьох практично важливих випадках можливий достатньо точний розрахунок розсіяного складними об'єктами поля, що дає змогу проводити моделювання мультиспектральної фоноцільової обстановки.

### Література

1. Electromagnetic Wave Scattering by Aerial and Ground Radar Objects / Edited by Oleg I. Sukharevsky – CRC Press Taylor & Francis GRoUp. – 2015.
2. Штагер Е.А. Рассеяние радиоволн на телах сложной формы / Е.А. Штагер. – М.: Изд-во "Радио и связь", 1986. – 184 с.
3. Ufimtsev, P. 1996. Comments on diffraction principles and limitations of RCS Reduction techniques / P. Ufimtsev // Proceedings of the IEEE. – Vol. 84(12). – Pp. 1830-1851.
4. Борзов А.Б. Математическая модель рассеяния электромагнитных волн на объектах сложной формы / А.Б. Борзов, А.В. Соколов // Электромагнитные волны & электронные системы: сб. науч. тр. – 1998. – № 10. – С. 39-54.
5. Антифеев В.Н. Физические модели радиолокационных полей рассеяния объектов сложной формы / В.Н. Антифеев, А.Б. Борзов, В.Б. Сучков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2003. – 61 с.
6. Небабин В.Г. Методы и техника радиолокационного распознавания / В.Г. Небабин, В.В. Сергеев. – М.: Изд-во "Радио и связь", 1984. – 152 с.
7. Юсеф Н.Н. Эффективная площадь отражения сложных радиолокационных целей / Н.Н. Юсеф // ТИИЭР: сб. науч. тр. – 1989. – Т. 77, No. 5. – С. 100-112.
8. Lee S.W. "Cpatch overview", description of capability of code Cpatch developed by DEMACO / S.W. Lee, J.E. Baldauf, and R.A. Kipp, 1994. – Pp. 182-183.
9. Song J.M. Multilevel fast multipole algorithm for electromagnetic scattering by large complex objects / J.M. Song, C.C. Lu and W.C. Chew // IEEE Trans. on Antennas and Propagation. – 1997. – Vol. 45, № 10. – Pp. 1488-1493.
8. Volakis J. Finite Element Method for Electromagnetics / J. Volakis, A. Chatterjee, and L. Kempel // Piscataway, NJ, IEEE Press., 1998. – Pp. 130-132.
10. Shyh-Kang Jeng. Near-field scattering by physical theory of diffraction and shooting and bouncing Rays / Jeng. Shyh-Kang // IEEE TRans. on Antennas and Propagation. – 1998. – Vol. 46, № 4. – Pp. 551-558.
11. Ling H. "Shooting and bouncing Rays: Calculating the RCS of an arbitrarily shaped cavity" / H. Ling, R.C. Chou and S.W. Lee // IEEE TRans. Antennas and Propagation. – Vol. 37. – Pp. 194-205, Feb. 1989.

### Атаманюк В.В. Моделирование распределённых радиолокационных объектов и сцен

Выполнен анализ методов получения характеристик рассеяния сложных радиолокационных объектов. Рассмотрена математическая модель радиолокационных сигналов от мультиспектральной фоноцельовой обстановки, заданной в виде полигональной модели. Предложен подход, который базируется на исследовании поля, рассеянного сложным объектом на поверхности приемной апертуры как функции несущей частоты зондирующего сигнала и координат фрагментов формирующей поверхности. В результате цифрового моделирования получены характеристики рассеяния сложных объектов имеющие практический интерес.

**Ключевые слова:** сложный радиолокационный объект, рассеяние электромагнитных волн, полигональная модель, характеристики рассеяния объектов.

**Atamanyuk V.V. Modeling of the Scattering Fields of Distributed Radio-location Objects and Scenes**

The analysis of methods for characterizing the scattering of complex radar objects is done. A mathematical model of the radiolocation signals from multispectral target-background scene that defined as a polygonal model is considered. The approach, based on investigation of the field scattered by complex object on the surface of receiving aperture as a function of carrying frequency of probing signal and fragments of the formatting surface coordinates is proposed. Scattering characteristics of complex objects having practical Importance are obtained by modelling.

**Keywords:** complex radiolocation object, scattering of electromagnetic waves, polygonal model, characteristics of scattering objects.

УДК 674.[09+093]

Проф. Ю.І. Грицюк, д-р техн. наук – НУ "Львівська політехніка"; доц. С.І. Коширець, канд. техн. наук – НЛТУ України, м. Львів

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РОЗМІРНО-ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛОД ХВОЙНИХ ПОРІД НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИХОДУ РАДІАЛЬНИХ ПИЛОМАТЕРІАЛІВ**

Проведено двофакторний дисперсійний аналіз ефективності виходу радіальних пиломатеріалів під час розкрявання колод хвойних порід розвальню-сегментним та розвальню-сегментно-кутовим способом для різних розмірних груп діаметрів колод за різних коефіцієнтів еліптичності поперечного перерізу колоди. При цьому враховано ще й такі фактори, як кривизна та довжина колоди. Результати проведеного дослідження свідчать про те, що із збільшенням розмірної групи діаметрів колод змінюється еліптичності поперечного перерізу дедалі більше впливає на вихід радіальних пиломатеріалів у бік збільшення для розвальню-сегментно-кутового способу. Щодо розвальню-сегментного способу розкряю, то ефект досліджуваних факторів має зворотний характер.

**Ключові слова:** двофакторний дисперсійний аналіз, якісний фактор, способи розкряю колод на пиломатеріали, еліптичність поперечного перерізу колоди, ефективність виходу радіальних пиломатеріалів.

У попередній нашій роботі [1] обґрунтовано актуальність цієї тематики досліджень та з'ясовано, що на зміну значень ефективності виходу радіальних пиломатеріалів кожен з якісних факторів впливає не поодинокі, а у сукупності разом. Це означає, що для більш змістовної постановки самої задачі та значно конструктивнішого аналізу її фізичного змісту доцільно використовувати не одні, а хоча б двофакторний дисперсійний аналіз. Тому спробуємо дослідити зміну значень ефективності виходу радіальних пиломатеріалів залежно від еліптичності поперечного перерізу колод та їх розмірної групи діаметрів для розвальню-сегментного та розвальню-сегментно-кутового способу розкряю. Якісним фактором *A* тут є еліптичність поперечного перерізу колоди ( $k^e$ ), а якісним фактором *B* – розмірна група діаметрів колод. Кількість рівнів варіювання кожного фактора дорівнює  $m = k = 4$ . Загальна кількість проведених спостережень становила  $N = m \cdot k \cdot n = 160$ . Як відгуки спостережень кожного з дослідів експерименту приймемо кількісний показник – ефективність виходу радіальних пиломатеріалів, значення якого визначається відношенням об'єму отриманих радіальних пиломатеріалів до об'єму розкряної колоди [3], записують у відсотках.

Табл. 1. Результати статистичного оброблення експериментальних даних – ефективності виходу радіальних пиломатеріалів при розвальню-сегментному способі розкряю

№ колоди	Розрахункові групи діаметрів колод, см				36 <sup>-1</sup> ...40 <sup>-1</sup> , см				42 <sup>-1</sup> ...46 <sup>-1</sup> , см							
	24 <sup>-1</sup> ...28 <sup>-1</sup> , см		30 <sup>-1</sup> ...34 <sup>-1</sup> , см		36 <sup>-1</sup> ...40 <sup>-1</sup> , см		36 <sup>-1</sup> ...40 <sup>-1</sup> , см		42 <sup>-1</sup> ...46 <sup>-1</sup> , см		42 <sup>-1</sup> ...46 <sup>-1</sup> , см					
	0,90... 0,95	1,00... 1,05	1,05... 1,10	1,10... 1,15	0,90... 0,95	1,00... 1,05	1,05... 1,10	1,10... 1,15	0,90... 0,95	1,00... 1,05	1,05... 1,10	1,10... 1,15				
<b>Результати числового експерименту – ефективність процесу розкряю колод на радіальні пиломатеріали, %</b>																
1	47,40	45,15	43,09	43,56	50,30	48,97	47,19	44,81	49,86	49,40	47,43	46,68	49,19	47,02	44,87	42,71
2	45,51	45,33	44,48	43,15	49,23	47,96	47,94	45,24	51,11	48,35	47,06	45,10	49,25	46,43	46,30	44,09
3	47,68	45,10	43,39	43,66	50,29	48,36	47,01	43,97	51,10	49,84	48,80	46,23	50,39	47,99	47,00	43,43
4	47,80	44,71	44,46	42,54	49,66	48,48	46,43	46,09	51,67	49,60	47,89	47,14	46,79	47,90	44,88	43,61
5	47,40	46,03	43,35	42,48	48,49	48,45	46,17	46,01	48,92	50,22	47,49	44,94	47,74	47,33	44,47	42,87
6	45,27	45,18	44,38	42,00	49,21	47,70	47,22	45,75	49,45	49,34	48,19	45,58	50,05	45,80	45,87	45,75
7	47,08	45,52	44,30	41,84	48,47	49,28	47,39	45,74	50,62	47,97	48,97	46,10	47,90	45,68	44,54	44,07
8	45,57	45,97	43,95	42,93	50,25	49,45	46,22	44,02	49,22	48,17	47,32	46,02	47,01	48,14	46,26	44,92
9	46,28	44,59	43,50	43,52	48,31	48,83	47,41	46,39	50,82	48,51	48,69	45,50	50,10	46,99	46,24	43,05
10	47,77	46,31	44,49	42,77	50,63	48,51	47,77	44,97	51,34	49,04	48,38	46,69	49,99	47,58	46,71	43,47
<b>Показники статистичного оброблення експериментальних даних</b>																
min	45,27	44,59	43,09	41,84	48,31	47,70	46,17	43,97	48,92	47,97	47,06	44,94	46,79	45,68	44,47	42,71
max	47,80	46,31	44,49	43,66	50,63	49,45	47,94	46,39	51,67	50,22	48,97	47,14	50,39	48,14	47,00	45,75
r	2,53	1,72	1,40	1,82	2,31	1,75	1,77	2,41	2,75	2,26	1,91	2,20	3,60	2,46	2,53	3,03
K	46,78	45,39	43,94	42,84	49,48	48,60	47,08	45,30	50,41	49,04	48,02	46,00	48,84	47,08	45,71	43,80
D <sub>e</sub>	1,03	1,03	0,32	0,41	0,75	0,30	0,38	0,72	0,94	0,58	0,46	0,52	1,86	0,77	0,88	0,90
σ <sub>e</sub>	1,02	0,57	0,55	0,64	0,87	0,55	0,62	0,85	0,97	0,76	0,68	0,72	1,36	0,88	0,94	0,95
V <sub>e</sub>	2,17%	1,25%	1,26%	1,50%	1,75%	1,12%	1,32%	1,87%	1,93%	1,56%	1,42%	1,56%	2,79%	1,87%	2,05%	2,17%
P <sub>e</sub>	0,32	0,18	0,17	0,20	0,27	0,17	0,20	0,27	0,31	0,24	0,22	0,23	0,43	0,28	0,30	0,30
T <sub>e</sub>	0,69%	0,40%	0,40%	0,47%	0,55%	0,36%	0,42%	0,59%	0,61%	0,49%	0,45%	0,49%	0,88%	0,59%	0,65%	0,69%
P <sub>н</sub>	0,63	0,35	0,34	0,40	0,54	0,34	0,38	0,53	0,60	0,47	0,42	0,45	0,84	0,55	0,58	0,59

Примітка: Довжина колоди – 3,0 м. Кривизна осі колоди – 0...4 %. Рівень значущості – 0,05