

Національний авіаційний університет
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

Терещенко Лідія Юріївна

УДК 004.94 : [656.7.072.51:621.386] (043.5)

ДИСЕРТАЦІЯ

**Метод отримання тіньових зображень об'єктів контролю для
телеметричних доглядових систем**

спеціальністю 05.12.17 – Радіотехнічні та телевізійні системи

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Л.Ю. Терещенко

Науковий керівник - Чепіженко Валерій Іванович, доктор технічних наук, с.н.с.

Київ 2017

АНОТАЦІЯ

Терещенко Л. Ю. Метод отримання тіньових зображень об'єктів контролю для телеметричних доглядових систем. – Кваліфікаційна наукова робота на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктор філософії) за спеціальністю 05.12.17 «Радіотехнічні та телевізійні системи». – Національний авіаційний університет, МОН України. Київ, 2017.

Забезпечення ефективного захисту від тероризму є найскладнішою проблемою, особливо для країн, які мають розвинену мережу повітряного транспорту, з великою кількістю авіаліній та аеропортів. Проблема ускладнюється також непередбаченістю дій терористів. Крім того, важливе значення має наявність уразливих місць (процедури догляду авіапасажирів та їхнього багажу, вантажів і поштових відправлень тощо) у системах авіаційної безпеки, які можуть бути використані зловмисниками.

До основних шляхів підвищення безпеки на авіаційному транспорті є попередження потрапляння на борт літаків небезпечних об'єктів і речовин, вибухових пристроїв та зброї. Це потребує розроблення і комплексного впровадження новітніх методів догляду, виявлення і розпізнавання небезпечних об'єктів контролю.

Дисертація спрямована на вирішення актуальної науково-практичної задачі розроблення і застосування нового методу визначення (візуалізації) внутрішньої структури ОК, що дасть змогу з великою ймовірністю оперативно виявляти небезпечні ОК в реальному масштабі часу, підвищити швидкість виявлення небезпечних речовин у багажу та забезпечить можливість автоматизації цих процесів. Крім того, автоматичне генерування образів небезпечних ОК дає змогу періодично інспектувати операторів служб авіаційної безпеки (САБ).

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що уперше розроблений аналітичний метод отримання тіньових зображень об'єктів

контролю, який за рахунок застосування елементів проекційної геометрії і закону поглинання Бугера дає можливість: проводити аналіз візуалізації внутрішньої структури об'єктів контролю; зменшити вартість процесу виявлення заборонених та небезпечних ОК.

У дисертаційній роботі вперше розроблено аналітичні моделі для опису тіньових зображень простих та складних об'єктів контролю, які за типом джерел опромінювання, схемою розташування об'єктів контролю відносно джерела живлення та екрану дають можливість: оперативно отримувати зображення внутрішньої структури простих і складних об'єктів контролю; формувати бази даних зображень для подальшого використання в апаратно-програмних засобах розпізнавання небезпечних об'єктів контролю.

Метою дисертаційної роботи є розроблення методу отримання тіньових зображень внутрішньої структури ОК для оперативного розпізнавання з високою ймовірністю небезпечних ОК.

Досягнення поставленої мети потребує вирішення таких ієрархічно пов'язаних завдань: провести аналіз існуючих методів виявлення небезпечних ОК; розробити метод отримання оптичного зображення внутрішньої структури ОК; розробити аналітичні моделі оптичних зображень внутрішньої структури ОК різної форми та складності; перевірити та підтвердити достовірність і роботоздатність розроблених в дисертаційній роботі методу та моделей на практичних задачах виявлення небезпечних ОК.

Об'єктом дослідження є процеси ефективного виявлення небезпечних об'єктів контролю.

Предметом дослідження є методи отримання тіньових зображень внутрішньої структури ОК

Методи дослідження ґрунтуються на використанні теорії ймовірностей, математичної статистики, закономірності формування проекційних зображень, статистичного моделювання процесів візуалізації та виявлення сигналів від ОК в обчислювальному середовищі.

Розроблені математичні моделі та процедури можуть бути використані в науково-дослідних та дослідно-конструкторських організаціях та установах під час розроблення нових та вдосконалення існуючих інтроскопічних систем контролю багажу та пасажирів в цивільній авіації, а також в навчальних закладах для підготовки, перепідготовки та підвищення кваліфікації фахівців у галузі експлуатації технічних засобів забезпечення цивільної авіації.

Запропоновані моделі проєкційних трансмісійних прямих візуалізаційних зображень просторових тіл, розташованих у довільних ракурсах стосовно джерела і екрану, служать підґрунтям для розроблення процедур виявлення та візуалізації небезпечних ОК під час проєктування нових та модернізації існуючих технічних засобів забезпечення цивільної авіації.

У першому розділі наведена узагальнена структура Служби авіаційної безпеки України, до складу якої входить органи державного регулювання, суб'єкти авіаційної діяльності, які можуть постраждати від актів незаконного втручання (повітряні судна, аеропорти, аеродроми, підприємства технічного обслуговування та ремонту авіаційної техніки, структурні підрозділи авіаційного департаменту тощо), міжнародні організації цивільної авіації, що регламентують процеси підрозділів САБ, навчальні заклади з підготовки фахівців САБ; підрозділи САБ, які функціонують в суб'єктах авіаційної діяльності; науково-дослідні організації; технічні засоби САБ; заводи-виробники технічних засобів САБ.

У цьому розділі проведений аналіз основних принципів, що регламентують роботу САБ з точки зору проблеми забезпечення цивільної авіації. Цей аналіз засвідчив, що для підтримки заданого рівня безпеки та регулярності польотів у частині забезпечення об'єктів аеропорту від актів незаконного втручання необхідно використовувати спеціальні технічні засоби догляду, які мають постійно оновлюватися та вдосконалюватися.

На основі аналізу характеристики системи авіаційної безпеки України була побудована структурна схема системи забезпечення авіаційної безпеки. Основним регламентуючим документом є Програма національної авіаційної безпеки.

Програма визначає державну політику у галузі авіаційної безпеки і ґрунтується на таких принципах: заходи безпеки мають бути адекватними рівню загрози; жодний цивільний повітряний корабель не може вилітати поза межі повітряного простору країни без дозволу на це; жодна особа не допускається на борт без відповідної підстави і дозволу; жодна особа або транспортний засіб не може увійти до контрольованої зони без дозволу на це; аніякі предмети без проходження процедур контролю не можуть вноситися на борт; авіаційний персонал допускається до робіт лише за проходження ним відповідної підготовки тощо.

Проведений аналіз методів реалізації засобів авіаційної безпеки та класифікації методів контролю випромінювання, який дозволив зробити висновок, що у САБ використовують прилади з датчиками майже всіх діапазонів електромагнітних хвиль та корпускулярного випромінювання, а також новітні газоаналітичні датчики. Крім того були проаналізовані узагальнені схеми контролю з використанням випромінювання; слід зазначити, що найбільшого розповсюдження в інтроскопічних системах набули просвічувальні методи.

Аналіз принципів побудови спеціальних технічних засобів догляду дозволив розробити узагальнену структурну схему інтроскопічної системи, яка має складатися з наступних блоків: джерело випромінювання; об'єкт контролю (ОК); перетворювач “випромінювання – видиме зображення”; перетворювач “випромінювання – електричний сигнал”; перетворювач “електричний сигнал – оптичний сигнал”; автоматичний пристрій прийняття рішення; людина-оператор.

Аналіз літературних джерел у сфері розробки, експлуатації та модернізації інтроскопічних систем, що використовуються у службах авіаційної безпеки, дозволив сформулювати задачу дисертаційного дослідження. Ця задача полягає в отриманні тіней ОК різної форми з подальшою можливістю їхнього програмного (цифрового) перебору або статистичного виявлення у разі адитивної сукупності сигналів та шумових завад, а також створенні бази даних тіней небезпечних ОК, що значно зменшить хибні спрацьовування апаратури у процесі оброблення таких адитивних сукупностей. Така база даних та процедура оброблення безумовно

сприятиме підвищенню ефективності апаратури догляду через підвищення ймовірності правильного виявлення та зменшенню ймовірності хибних тривог.

У другому розділі вперше сформован геометричний метод отримання тіньових зображень об'єктів контролю. Суть методу полягає у отриманні внутрішньої візуалізації ОК за допомогою проекційної геометрії та з урахуванням коефіцієнта поглинання.

Застосовані моделі точкового, лінійного та площинного опромінення, математичне описання яких дає можливість використовувати ці методи у програмно-обчислювальному середовищі. Отримані результати дають можливість працювати з ОК різної складності і форми. На основі аналізу спотворень, які відбуваються з ОК після їх опромінення можна створити базу небезпечних для безпеки ОК і покращити систему виявлення та зменшити ймовірності хибних спрацьовувань систем безпеки.

Аналіз методів прямої візуалізації ОК показує, що їм притаманні однотипні операції: опромінення первинним випромінюванням ОК, як тривимірного багатовиду, що знаходиться у конфігураційному просторі (у випадку активного метода), прийом вторинного (розсіяного чи такого, яке пройшло крізь об'єкт) випромінювання, перетворення його в електричний сигнал, обробка та перетворення електричного сигналу в оптичний сигнал.

У другому розділі розглядалися питання математичного опису: джерел випромінювання; параметрів ОК; структури інтроскопічної системи, – що є підґрунтям для побудови аналітичної моделі візуалізації внутрішньої структури ОК рентгенівською доглядовою телевізійною системою.

Для математичного опису джерел випромінювання (ДВ) було введено структуру процесу формування математичних моделей.

Узагальнена концепція побудови тіньових зображень об'єктів різної форми включає процедури:

– вибору типу функцій, які забезпечують із заданим ступенем достовірності відтворення структурних і параметричних властивостей цих функцій з метою

адекватного відображення фізичних особливостей джерел опромінювання та методу сканування;

- аналізу структури ОК та топології його геометричних позицій у полі опромінювання з метою формування векторів вхідних даних (розміри, відстань від джерела випромінювання до ОК, відстань від ОК до приймачів перетворення сигналів випромінювання);

- аналізу впливу структури ОК на оператор перетворення вхідних сигналів, що адекватно відбиваються законом Бугера та правилами проекційної геометрії;

- синтез функцій відгуку (тіньового зображення) та його кодування у псевдокольоровій шкалі.

Третій розділ присвячений побудові аналітичних моделей оптичного зображення внутрішньої структури об'єктів контролю різної форми та складності.

У цьому розділі розроблені аналітичні моделі отримання оптичного зображення внутрішньої структури ОК різної форми та складності та на їх основі проаналізовані спотворення, які набувають зображення в залежності від параметрів системи візуалізації та типу джерел випромінювання. Ці спотворення необхідно враховувати у проектуванні нових більш досконалих інтроскопічних систем.

Побудова аналітичної моделі зводиться до обчислення проективного зображення ізотропного об'єкту у разі гомогенного опромінення точковим джерелом, розташованим на осі симетрії об'єкту перпендикулярно площині зображення (екрану).

Четвертий розділ присвячено практичній реалізації отриманих результатів.

Для підтвердження адекватності та роботоздатності розроблених моделей у роботі були отримані багатовимірні спектри візуалізаційних зображень.

Процедура обробки зображення полягає в використанні тіні об'єкта заданої форми для побудови двовимірного спектру та його наступним використанням під час розробки стандартного спектрального виявлювача запропонованого у роботі. Цей виявлювач є інваріантним щодо місця розташування ОК на робочому полі.

Аналіз спектрів небезпечних та заборонених ОК дозволяє створити відповідну базу даних для подальшого виявлення ОК різної форми та складності.

Для вирішення поставленої задачі на прикладі лінійного фільтра була побудована модель спектрального виявлювача у програмному середовищі *MatLab*. При цьому виявлення відбувається незалежно від розташування ОК та незалежно від його форм та розмірів.

Обрахований спосіб виявлення з використанням фільтрів із різними масками показав високу ефективність.

Моделювання показує, що найпростіші тіла мають тіні з перехідними характеристиками, напівтінями, спотвореннями типу кратера там, де взагалі пласкі опромінюванні площини. Зміна ракурсу опромінення змінює тінь до невпізнанності. Для чіткого достовірного виявлення передбачуваних ОК необхідно автоматизувати процес розпізнавання тіней з урахуванням можливих співвідношень відстаней між джерелом, ОК та екраном-приймачем, ракурсів опромінення тощо.

Ключові слова: рентген; служба авіаційної безпеки; оптичне зображення; тінь тривимірного багатovidу, об'єкт контролю, коефіцієнт поглинання.

Список публікацій здобувача:

1. Терещенко Л.Ю. Побудова аналітичних моделей отримання оптичного зображення внутрішньої структури об'єктів контролю / Семенов О.О./ Електроніка та системи управління: Вісник ІЕСУ.–№1(11).–2007.–С.212-218
2. Терещенко Л.Ю. Моделювання візуалізації внутрішньої структури об'єктів контролю / Семенов О.О./ Електроніка та системи управління: Вісник ІЕСУ.–№1(15).–2008.–С.144-148
3. Tereschenko L. Construction of obtaining optical image analytical models of internal structure controlled objects / Signal Processing Symposium (SPS), 2013/ Publication Year: 2013 , Page(s): 1 - 4
4. Терещенко Л.Ю. Спектральні образи візуалізованих об'єктів простої форми / Вісник інженерної академії України.–№1.–2014.–С.137–141

5. Терещенко Л.Ю. Построение аналитических моделей получения оптического изображения внутренней структуры объекта контроля / Водний транспорт. Збірник наукових праць.–№3(21).–2014.–С.60-65

6. Tereschenko L. Analytical modeling for optical imaging of controlled object's internal structure /Silantieva, I./ Signal Processing Symposium (SPS), 2013/ Publication Year: 2016, Page(s): 1 - 4

7. Терещенко Л.Ю. Теоретичні основи та принципи побудови технічних засобів служби авіаційної безпеки / Семенов О.О., Соломенцев О.В., Заліський М.Ю., Хмелько Ю.М./ навчальний посібник.–2016.

8. Терещенко Л.Ю. Системи і пристрої доглядової техніки та їх експлуатація / Семенов О.О., Соломенцев О.В., Заліський М.Ю., Хмелько Ю.М./ навчальний посібник.–2014.

9. Терещенко Л.Ю. Моделирование оптического зображення внутрішньої структури об'єктів контролю / Чепіженко В.І./ Проблеми інформатизації та управління.–№2(54).–2016.–С.73-81

10. Tereshchenko L. J. Method for optical imaging of the three-dimensional manifold structure / Chepizhenko V. I/ Electronics and Control Systems 2017. N 2(52): 16-19

Матеріали конференцій

Основні положення та результати досліджень доповідалися і обговорювалися на 17 конференціях з них 2 входять до міжнародної наукометричної бази Scopus. Перелік конференцій: Міжнародна НТК «АВІА–2006» (Київ, 2007); VII Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2007» (Київ, 2007); VIII Міжнародна НТК «АВІА–2007» (Київ, 2007); IX Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2009» IX Міжнародна НТК «АВІА–2009» (Київ, 2009); X Міжнародна НТК «АВІА–2011» (Київ, 2011); «Statistical Methods of Signal and Data Processing (SMSDP-2010)»: International Conference, Kiev, Ukraine, October 13-14, 2010, VIII Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2008» (Київ, 2008); IX Міжнародна НК студентів та

молодих учених «Політ–2009» (Київ, 2009); X Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2010» (Київ, 2010); XI Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2011» (Київ, 2011); XII Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2012» (Київ, 2012); на Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів та молодих учених «Проблеми навігації та управління рухом» у 2011р., на IV Всесвітньому конгресі “Авіація у XXI столітті”, на науково-технічній конференції «Проблеми розвитку глобальної системи зв’язку навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM», 2016 р.

ANNOTATION

Tereshchenko L. Yu. A Method for Obtaining Images of Controlled Objects’ Shadows for Telemetric Inspection Systems. – Qualification scientific work with the manuscript copyright.

A thesis for the degree of a Candidate of Engineering Sciences (a Doctor of Philosophy) in the specialty 05.12.17 "Radio-technical and Television Systems". – National Aviation University, Ministry of Education and Science of Ukraine. Kyiv, 2017.

Ensuring effective protection against terrorism is the most difficult issue, especially for countries with a developed air transport network, a large number of airlines and airports. The problem is complicated by unpredictability of terrorists’ actions. In addition, vulnerabilities in aviation security systems (such as procedures for screening airline passengers and their baggage, freight shipments, mail, etc.) that can be exploited by law violators are instrumental.

The main way to improve aviation safety is to prevent hazardous objects and substances, explosive devices and weapons on board aircraft. This requires a comprehensive development and introduction of new methods of screening, detection and identification of dangerous objects under control.

The thesis addresses applied research challenges concerning development and application of a new method of determination (visualization) of the internal structure of the objects under control (OCs), that enables dangerous OCs to be identified with high probability in real time, increases the speed of dangerous substances identification in luggage, and provides automation of these processes. In addition, automatic generation of images of hazardous OCs allows for periodic inspections of aviation security service operators.

Scientific novelty of the results obtained is as follows: for the first time an analytical method for obtaining shadow images of OCs are developed, which, due to the application of elements of projective geometry and the Bouguer law of light attenuation (also known as the Beer–Lambert law), enables to carry out an analysis of the visualization of the OC internal structure and reduce the cost of banned and hazardous OCs identification procedures.

In the thesis, for the first time, analytical models for description of shadow images of COs of simple and complex shapes were developed, which, with the view to the type of radiation sources, the scheme of COs location relative to power supply and screen, give opportunities: to promptly obtain images of the internal structure of simple and complex OCs; to create image databases for further use in soft- and hardware for hazardous COs recognition.

The thesis objective is to develop a method for obtaining shadow images of the OCs internal structures for operative recognition of hazardous OCs with a high probability.

Achieving this objective requires solving such hierarchically related tasks: conducting an analysis of existing methods for detecting hazardous OCs; developing a method for obtaining an optical image of the OC internal structure; developing analytical models for optical images of the OC internal structure of different forms and complexity; verifying and validating the method and the models developed in the dissertation on the practical problems of detecting hazardous OCs.

The object of the study is the processes of effective identification of hazardous objects under control.

The subject of the study is method for obtaining shadow images of the internal structure of objects under control.

The research methods are based on application of probability theory, mathematical statistics, patterns of projection image formation, statistical simulation of visualization processes and detecting signals from the OCs in the computing environment.

The developed mathematical models and procedures can be used at research and development organizations and institutions when developing new and improving existing introsopic baggage and passenger monitoring systems in civil aviation, as well as in educational institutions for the preparation, retraining and advanced training of specialists in technical civil aviation safety systems.

The proposed models of projection transmissions direct images of spatial bodies located at arbitrary angles relative to the source and screen serve as the basis for developing procedures for the detection and visualization of hazardous OCs during the design of new and modernization of existing civil aviation safety facilities.

The first section provides a general structure of the Ukrainian Aviation Security Service , which includes state regulatory bodies, aviation entities that may be affected by acts of unlawful interference (aircrafts, airports, airfields, aviation maintenance and repair enterprises, structural divisions of the aviation department, etc.), international civil aviation organizations, which regulate the processes of the Aviation Security Service units, educational institutions for the training of Aviation Security Service specialists; Aviation Security Service units operating in aviation activities; research organizations; technical means of Aviation Security Service; manufacturers of Aviation Security Service equipment.

In this section, an analysis of the basic principles governing the work of the Aviation Security Service in terms of the problem of civil aviation security is carried out. This analysis shows that in order to maintain a certain level of safety and regularity of flights in terms of protecting airport facilities from acts of unlawful interference, it is necessary to use special technical means of monitoring which must be constantly updated and improved.

Based on the analysis of the characteristics of Ukraine's aviation safety system, a structural scheme of the aviation security system is constructed. The main regulatory document is the National Aviation Security Program. The program defines the state aviation security policy and applies the following principles: security measures must be adequate to the level of threat; no civilian aircraft can fly beyond the airspace of the country without permission; no person is allowed on board without a suitable reason and permission; no person or vehicle can enter the controlled area without permission; any items without passing control procedures can not be carried on board; aviation personnel is allowed to work only after passing appropriate training, etc.

The analysis of methods of implementation of aviation security and classification of radiation monitoring methods is carried out, which makes it possible to conclude that the Aviation Security Service uses devices with sensors for almost all ranges of electromagnetic waves and corpuscular radiation, as well as the latest gas analytical sensors. In addition, generalized monitoring schemes with the use of radiation are analyzed; it should be noted that the most widespread introscopy systems acquires translucent methods.

The analysis of the principles of constructing special technical means allows to develop a generalized structural scheme of an introsopic system, which should consist of the following blocks: radiation source; object for monitoring (OC); converter "radiation - visible image"; converter "radiation - electric signal"; converter "electric signal - optical signal"; automatic decision maker; operator.

Analyses of the publications on developing, operating and modernizing introsopic systems used in aviation security services allows to formulate research task. This task consists in obtaining shadows of OCs of different shapes with the subsequent possibility of their programmatic (digital) screening or statistical detection in the case of an additive set of signals and noise, as well as the creation of a database of hazardous OCs shadows, which will significantly reduce the false alarms of apparatus while processing such addictive aggregates. Such a database and processing procedure definitely contribute to increasing the efficiency of inspection equipment by increasing the probability of correct detection and reducing the probability of false alarms.

In the second section for the first time methods for obtaining internal visualization of the OC are formed. A principle of the method is to obtain an internal visualization of the OC using the projection geometry and taking into account the absorption coefficient.

Models of point, line and plane irradiation, the mathematical description of which makes it possible to use these methods in the computer environment, are applied. Findings allow working with OCs of different complexity and form. Based on the analysis of the distortions that occur with the OCs after their exposure, it is possible to create a database for hazardous OCs, to improve the detection system and reduce the probability of false positives of security systems.

Analysis of the methods of direct visualization of the OC shows that they have the same type of operation: irradiation of primary radiation OC as a three-dimensional multifold, located in the configuration space (in the case of the active method), reception of secondary (scattered or one that passed through the object) radiation, transformation it into an electrical signal, processing and converting an electrical signal into an optical signal.

In the second section mathematical description of radiation sources, OC parameters, structure of the introsopic system, as the basis for constructing an analytical model of the internal structure visualization by X-ray television surveillance system, are considered.

For the mathematical description of radiation sources, the structure of mathematical models formation is introduced.

Generalized concept for constructing shadow images of objects with various forms includes the following procedures:

- selection of functions that provide with a given degree of reliability the reproduction of the structural and parametric properties of these functions in order to adequately reflect the physical characteristics of the sources radiation and the method of scanning;

- analysis of the OC structure and the topology of its geometric positions in the irradiation field in order to form the input vector (dimensions, distance from the source

of radiation to the OC, the distance from the OC to the receivers of the transformation radiation signals);

- influence analysis of the OC structure on the operator of the input signals transformation, which is adequately reflected by the Bouguer law and the projective geometry rules;

- synthesis of response functions (shadow image) and its encoding on a pseudo-colour scale.

The third section is devoted to development of analytical models for optical imaging of the inner structures of OCs with various forms and complexity.

In this section, analytical models for obtaining an optical image of the internal structure of the OC with different shapes and complexity are developed, and on their basis, distortions that acquire the images depending on the parameters of the visualization system and the type of radiation sources are analyzed. These distortions must be taken into account in designing of new, more advanced introsopic systems.

The construction of an analytical model reduces to the calculation of a projective image of isotropic object in the case of homogeneous irradiation by a point source located on the axis of object symmetry perpendicular to the plane of the image (screen).

The fourth section is devoted to the implementation of the findings.

In order to verify the developed models multidimensional spectra of visualization images are obtained.

Procedure for image processing consists in using a shadow of the object of given shape to construct a two-dimensional spectrum and its subsequent use in developing the standard spectral detector proposed in the research. This detector is invariant with respect to the location of the OC in the working area.

Analysis of the spectra of hazardous and forbidden OCs allows us to create an appropriate database for the further detection of OCs of various shapes and complexity.

In order to solve the problem, a spectral detector model is constructed in the MatLab software environment, using a linear filter. In this case, the detection occurs regardless of the OC location or its shape and size.

The calculated method of detection using filters with different masks has shown a high efficiency.

Simulation shows that the simplest bodies have shadows with transient characteristics, half- shadows, distortions of the crater type, where there are generally flat irradiating planes. Changing view of irradiation changes the shadow unrecognizably. To accurately identify the suggested OCs, it is necessary to automate the process of recognizing shadows, taking into account the possible distances between the source, the O and the receiver screen, the irradiation angles, etc.

Key words: X-ray; aviation security service; optical image; shadow of 3-manifold; absorption coefficient.

ЗМІСТ	17
СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	19
ВСТУП.....	20
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ВНУТРІШНЬОЇ СТРУКТУРИ ОБ'ЄКТІВ КОНТРОЛЮ.....	27
1.1 Аналіз проблеми забезпечення безпеки цивільної авіації. Основні принципи регламентування роботи служби авіаційної безпеки	27
1.2. Характеристика системи авіаційної безпеки України	29
1.3. Методи реалізації засобів авіаційної безпеки. Класифікація методів контролю за видами випромінювання	32
1.5 Постановка задачі дослідження	44
1.6 Висновки до розділу.....	48
2 ОТРИМАННЯ ОПТИЧНОГО ЗОБРАЖЕННЯ ВНУТРІШНЬОЇ.....	50
СТРУКТУРИ ОБ'ЄКТІВ КОНТРОЛЮ.....	50
Формалізація процесів опромінення ОК.....	50
2.1.1 Математичний опис джерел випромінювання	52
2.1.2. Математичний опис параметрів об'єктів контролю	54
2.2 Формалізація процедури отримання оптичного зображення ОК (етапи отримання оптичного зображення)	61
2.3 Побудова аналітичної моделі оптичного зображення внутрішньої структури ОК при використанні точкового джерела випромінювання	64
2.4 Побудова аналітичної моделі оптичного зображення внутрішньої структури ОК при використанні лінійного джерела випромінювання.....	71
2.6 Синтез аналітичної моделі зображення внутрішньої структури ОК, який розташовано зі зсувом відносно осі симетрії точкового джерела випромінювання.....	77
2.6.1 Процедура опромінення ОК.....	77
2.6.2 Дослідження особливостей впливу крайового ефекту на характеристики внутрішньої візуалізації ОК.....	80
2.7 Висновки до розділу.....	83
3 ПОБУДОВА АНАЛІТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОПТИЧНОГО ЗОБРАЖЕННЯ ВНУТРІШНЬОЇ СТРУКТУРИ ОК РІЗНОЇ ФОРМИ ТА СКЛАДНОСТІ.....	85
3.1 Побудова аналітичних моделей отримання оптичного зображення внутрішньої структури довільних об'єктів контролю	85

3.1.1 Візуалізація внутрішньої структури паралелепіпеду при використанні точкового джерела випромінювання	85
3.1.2 Модель візуалізації внутрішньої структури кулі	94
3.1.3 Модель візуалізація внутрішньої структури конусу	97
3.1.4 Модель візуалізації внутрішньої структури циліндру	101
3.2 Модель отримання зображення внутрішньої структури ОК складної форми	105
3.3 Побудова аналітичних моделей отримання оптичного зображення внутрішньої структури ОК при використанні лінійного та площинного джерел випромінювання.....	112
3.3.1 Розробка методу сканування ОК при використанні джерела випромінювання лінійної геометрії. Візуалізація внутрішньої структури паралелепіпеду.....	112
3.4 Побудова аналітичних моделей отримання зображення внутрішньої структури ОК, який розташовано зі зсувом відносно осі симетрії точкового джерела випромінювання.....	116
3.4.1 Аналіз зображень внутрішньої структури об'єктів контролю	116
3.4.2 Отримання зображення внутрішньої структури об'єкта контролю, який розташовано зі зсувом відносно осі симетрії точкового джерела випромінювання.....	117
3.5 Візуалізація внутрішньої структури багат шарового ОК.....	122
3.6 Програми моделювання отримання зображення.....	127
3.7 Висновки до розділу.....	133
4 СПЕКТРАЛЬНА ОБРОБКА ТІНЕЙ ОБ'ЄКТІВ КОНТРОЛЮ.....	136
4.1 Застосування перетворення Фур'є для двовимірного випадку ..	136
4.2 Фільтрація зображення в частотній області	136
4.3. Стійкий до розташування ОК на полі екрану алгоритм виявлення сигналів візуалізаційних систем.....	140
4.3 Спектральний виявлювач	146
4.4 Фільтрація зображень.....	149
4.6 Фільтрація деталей зображення та виділення їх контурів.....	151
4.7 Лінійні та нелінійні фільтри	156
4.8 Висновки до розділу.....	160
ВИСНОВКИ.....	162
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	164

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ВПС	–	Всесвітня поштова спілка
ГВ	–	Гама-випромінювання
ДВ	–	Джерело випромінювання
ДК	–	Доглядовий контроль
ЕМВ	–	Електромагнітне випромінювання
ЕМХ	–	Електромагнітні хвилі
ЕОМ	–	Електроннообчислювальна машина
IATA	–	Міжнародна організація повітряного транспорту
ІКАО	–	Міжнародна організація цивільної авіації
Інтерпол	–	Міжнародна організація карної поліції
КРАА	–	Координаційна Рада асоціацій аеропортів
МФ	–	Медіанний фільтр
НАУ	–	Національний авіаційний університет
НВ	–	Нейтронне випромінювання
ОВ	–	Оптичне випромінювання
ОК	–	Об'єкт контролю
ПК	–	Персональний комп'ютер
РВ	–	Рентгенівське випромінювання
РМС	–	Рада митного співробітництва
РХК	–	Радіохвильовий контроль
САБ	–	Служба авіаційної безпеки
ТЕ	–	Технічна експлуатація
ТЗ	–	Технічні засоби
ТМК	–	Тепловий метод контролю
ТО	–	Технічне обслуговування
ФВЧ	–	Фільтр високочастотний
ФНЧ	–	Фільтр низькочастотний
ЦА	–	Цивільна авіація
FAA	–	Федеральна служба авіації
SMSDP	–	Statistical Methods of Signal and Data Processing (SMSDP-2010)

ВСТУП

Актуальність теми. Значне зростання кількості авіаційних перевезень в європейському повітряному просторі за останні десятиліття тісно пов'язане з необхідністю удосконалення існуючих технічних систем забезпечення цивільної авіації. Істотне збільшення пасажирських перевезень в європейській мережі повітряних маршрутів безпосередньо впливає на підвищення імовірності терористичних актів на повітряному транспорті [13]. Як наслідок, наземні доглядові системи зазнають значних перевантажень оперативного обслуговування потоків об'єктів контролю (ОК).

Забезпечення ефективного захисту від тероризму є найскладнішою проблемою, особливо для країн, які мають розвинену мережу повітряного транспорту, з великою кількістю авіаліній та аеропортів. Проблема ускладнюється також непередбаченістю дій терористів. Крім того, важливе значення має наявність уразливих місць (процедури догляду авіапасажирів та їхнього багажу, вантажів і поштових відправлень тощо) у системах авіаційної безпеки, які можуть бути використані зловмисниками.

Основним шляхом підвищення безпеки на авіаційному транспорті є попередження потрапляння на борт літаків небезпечних об'єктів і речовин, вибухових пристроїв та зброї. Це потребує розроблення і комплексного впровадження новітніх методів догляду, виявлення і розпізнавання небезпечних ОК [13, 25].

Теоретичні дослідження щодо визначення і аналізу структури ОК проводили такі відомі вчені, як: А.Білецький, В.Хандецький, Е.Шрюфер, В.Єпіфанов, І.Прокопенко, Е.Гусев, В.Сухоруков, Е.Вайнберг, С.Маєвський, Л. Щербак, Р. Гонсалес, Р. Вудс, О. Семенов, та інші.

Аналіз наукових публікацій засвідчив, що найбільш ефективними методами догляду виявлення і розпізнавання небезпечних ОК є трансмісійні мультиенергетичні прямі рентгенівські методи [41]. Вони забезпечують достовірне виявлення небезпечних ОК. Однак, ці методи є складними, їх

реалізація в доглядових системах має значні витрати матеріальних ресурсів, вони працюють не достатньо ефективно за умови динамічних ОК. При високій ймовірності правильного виявлення до 0,99, мають високу ймовірність хибних спрацьовувань 0,1...0,4.

Таким чином, на теперішній час існує актуальна науково-практична задача розроблення і застосування нових методів візуалізації внутрішньої структури ОК, що дозволить з високою ймовірністю оперативно та правильно виявляти небезпечні ОК в реальному масштабі часу, підвищити швидкість виявлення небезпечних речовин у багажу та забезпечити можливість автоматизації цих процесів. Крім того, автоматичне генерування образів небезпечних ОК дає змогу періодично інспектувати операторів САБ.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами

Дисертаційна робота безпосередньо пов'язана з науковими дослідженнями, які проводяться на кафедрі авіаційних радіоелектронних комплексів Навчально-наукового Інституту аеронавігації електроніки та телекомунікацій Національного авіаційного університету та спрямовані на підвищення результативності та ефективності функціонування виявлювачів сигналів небезпеки за допомогою систем доглядової техніки. Тема роботи пов'язана з державною програмою авіаційної безпеки цивільної авіації, затвердженою законом України № 1965-VIII від 21 березня 2017 р.

Основні наукові результати отримано в рамках таких науково-дослідних робіт:

1. Стійкі методи і алгоритми обробки сигналів в інформаційно-вимірювальних системах. Шифр 492-ДБ08 (Державної реєстрації № 0108U004062);

2. Стійкі методи і алгоритми обробки сигналів в інформаційно-вимірювальних системах, що використовують порядкові статистики. Шифр 716-ДБ11 (Державної реєстрації № 0111U002320);

3. Формування систем управління якістю вищих навчальних закладів. Шифр 400-ДБ07 (Державної реєстрації № 0106U002741).

4. Кафедральна НДР №13/08.01.03 «Інформаційні технології радіоелектронних пристроїв, систем та комплексів».

5. Кафедральна НДР № 75 / 22.01.03 «Інформаційні технології в системах радіотехнічного забезпечення польотів».

Мета і завдання дослідження

Метою дисертаційної роботи є розробка методу отримання тінювих зображень внутрішньої структури об'єктів контролю для підвищення ефективності виявлення небезпечних ОК у телеметричних доглядових системах.

Для досягнення вищенаведеної мети в рамках цієї роботи необхідно розв'язати такі задачі:

- провести аналіз існуючих методів виявлення небезпечних ОК;
- розробити геометричний метод отримання оптичного зображення внутрішньої структури ОК;
- розробити аналітичні моделі тінювих зображень внутрішньої структури ОК різної форми та складності;
- перевірити та підтвердити достовірність і придатність розроблених в дисертаційній роботі методу та моделей на практичних задачах виявлення небезпечних ОК.

Об'єктом дослідження є процеси ефективного виявлення небезпечних об'єктів контролю.

Предметом дослідження є методи отримання тінювих зображень внутрішньої структури ОК

Методи дослідження ґрунтуються на використанні теорії ймовірностей, математичної статистики, закономірності формування проєкційних зображень, статистичного моделювання процесів візуалізації та виявлення сигналів в обчислювальному середовищі.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- Уперше розроблений аналітичний метод отримання тінювих зображень об'єктів контролю, який за рахунок застосування елементів проєкційної геометрії і закону поглинання Бугера дає можливість:

- проводити аналіз візуалізації внутрішньої структури об'єктів контролю;
- зменшити вартість процесу виявлення заборонених та небезпечних ОК;
- Уперше розроблено аналітичні моделі для опису тінювих зображень простих та складних об'єктів контролю, які за типом джерел опромінення, схемою розташування об'єктів контролю відносно цього джерела та екрану дають можливість:
 - оперативно отримувати зображення внутрішньої структури простих і складних ОК;
 - формувати бази даних зображень для подальшого використання в апаратно-програмних засобах розпізнавання небезпечних ОК.

Практичне значення одержаних результатів

Розроблені математичні моделі та процедури можуть бути використані в науково-дослідних та дослідно-конструкторських організаціях та установах під час створення нових та вдосконалення існуючих інтроскопічних систем контролю багажу та пасажирів в цивільній авіації, а також в навчальних закладах для підготовки, перепідготовки та підвищення кваліфікації фахівців у галузі експлуатації технічних засобів авіаційної безпеки.

Запропоновані моделі проєкційних трансмісійних прямих візуалізаційних зображень просторових тіл, розташованих у довільних ракурсах стосовно джерела і екрану, служать підґрунтям для розроблення процедур виявлення та візуалізації небезпечних ОК під час проєктування нових та модернізації існуючих технічних засобів убезпечення цивільної авіації.

Отримані моделі доцільно використовувати в сучасних системах доглядової техніки як програмне забезпечення, що сприятиме більш ефективному виявленню ОК.

На основі результатів досліджень розроблений програмний комплекс для комп'ютерного моделювання процесів і обрахування ймовірнісних характеристик виявлення сигналів під час проєктування технічних засобів убезпечення цивільної авіації.

Результати роботи отримали практичне втілення у методично-навчальному забезпеченні таких дисциплін, як «Теоретичні основи та принципи побудови технічних засобів доглядової техніки», «Методи математичного моделювання», «Системи і пристрої доглядової техніки», «Статистична обробка сигналів», які викладаються на кафедрі авіаційних радіоелектронних комплексів Навчально-наукового Інституту аеронавігації електроніки та телекомунікацій Національного авіаційного університету.

Основні наукові положення використані під час проведення науково-дослідних та дослідницько-конструкторських робіт у частині розробки нових та модернізації існуючих рентгенівських доглядових систем та систем неруйнівного контролю, в виробництві яких бере участь «Науково-виробниче об'єднання Телеоптик».

Планується також використати наукові положення, які розроблені у роботі, під час проведення дослідницько-конструкторських робіт по розробці спільно з фірмою Orimtech ltd. (США) нового покоління комплексів неруйнівного контролю на основі промислових роботів, що підтверджується відповідним Актом впровадження.

Особистий внесок здобувача

Основні положення та наукові результати дисертації опубліковані в 9 наукових працях, з них: 2 навчальних посібниках, 7 наукових статей у фахових виданнях, а також у матеріалах 17 науково-технічних конференцій, конгресів та семінарів.

Основні положення представлені в дисертації отримані автором самостійно. У роботах, виконаних у співавторстві здобувачеві належать отримані вирази і програми формування багатовимірної тіні напівпрозорого ОК, який має форму паралелепіпеда. Ці програми дозволяють моделювати процеси візуалізації внутрішньої структури ОК в трансмісійних інтроскопічних системах. Моделювання показує, що найпростіші тіла мають тіні з перехідними характеристиками, напівтінями, спотвореннями типу кратера там, де взагалі пласкі опромінюванні площини [1]; отримані вирази і програми формування

багатовимірної тіні напівпрозорих ОК, які мають форму кулі, конуса та циліндра. Ці програми дозволяють моделювати процеси візуалізації внутрішньої структури ОК в трансмісійних інтроскопічних системах. [2]; розроблені математичні моделі, що описують процеси формування зображення внутрішньої структури ОК складної форми в інтроскопічній техніці. Розглянутий ОК представляє собою кулю, в середині якої розташована інша куля [5]; розроблені спектральні проекції внутрішніх структур ОК простих форм, які змодельовані у попередніх працях[3]; розроблені математичні моделі, що описують процеси формування зображення внутрішньої структури об'єктів контролю складної форми в інтроскопічній техніці з використанням зсуненого точкового джерела опромінювання. Розглянутий ОК представляє два окремих паралелепіпеди[6,7]; розроблен математичний апарат за допомогою якого будуються тіні об'єктів контролю[8].

Апробація результатів дисертації

Основні положення та результати досліджень доповідалися і обговорювалися на 17 конференціях з них 2 входять до міжнародної наукометричної бази Scopus. Перелік конференцій: Міжнародна НТК «АВІА–2006» (Київ, 2007); VII Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2007» (Київ, 2007); VIII Міжнародна НТК «АВІА–2007» (Київ, 2007); IX Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2009»; IX Міжнародна НТК «АВІА–2009» (Київ, 2009); X Міжнародна НТК «АВІА–2011» (Київ, 2011); International Conference «Statistical Methods of Signal and Data Processing (SMSDP–2010)» (Kiev, Ukraine, 2010); VIII Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2008» (Київ, 2008); IX Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2009» (Київ, 2009); X Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2010» (Київ, 2010); XI Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2011» (Київ, 2011); XII Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2012» (Київ, 2012); Всеукраїнська науково-практична конференція студентів та молодих учених «Проблеми навігації та управління рухом» (Київ, 2011р.); IEEE Conference Signal Processing Symposium (SPS), (Poland, 2013); IV Всесвітній конгрес (Київ, рік); «Авіація у XXI столітті», науково-технічна конференція «Проблеми розвитку

глобальної системи зв'язку навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM», (Київ, 2016 р.); IEEE Conference Signal Processing Symposium (SPS), (Poland, 2016).

Публікації

Основний зміст дисертації опубліковано у 10 друкованих роботах: з них шість у фахових наукових виданнях, дві у науково-метричній базі Scopus, дві в навчальних підручниках та 17 в матеріалах наукових конференцій .

Структура та обсяг роботи

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел. Загальний обсяг роботи складає 170 сторінок, 132 рисунків, 2 таблиці та 62 літературних джерела.

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ВНУТРІШНЬОЇ СТРУКТУРИ ОБ'ЄКТІВ КОНТРОЛЮ

Сучасні технології виявлення внутрішньої структури об'єктів контролю (ОК) дозволяють вирішити великий спектр проблем у багатьох сферах діяльності людини. До цих сфер належать:

- неруйнівний контроль;
- служба авіаційної безпеки (САБ);
- митний контроль;
- медичне обстеження;
- промислові галузі.

Існуючі технології виявлення внутрішньої структури ОК засновані на використанні електромагнітного опромінення. В більшості своїй вони ґрунтуються на методах обробки зображень.

Аналіз цих методів показує, що останнім часом розроблено багато методів виявлення небезпечних ОК у технічних засобах виявлення, але мало уваги приділяється аналізу візуалізації внутрішньої структури ОК.

Аналіз внутрішньої структури може значно підвищити ефективність виявлення небезпечних ОК та надати можливість автоматизувати цей процес та спростити виявлення ОК для людини-оператора.

1.1 Аналіз проблеми забезпечення безпеки цивільної авіації. Основні принципи регламентування роботи служби авіаційної безпеки

Застосування технічних засобів виявлення у службах авіаційної безпеки (САБ) відіграє значну роль в убезпеченні авіаційного транспорту.

Прогноз ІКАО підвищення інтенсивності польотів у Європі до 2025 року на рис. 1.1 показує значне зростання польотів, що призведе до значного зростання терористичної діяльності. В свою чергу накладає необхідність посиленого захисту

у САБ, вирішення проблеми при збільшенні пасажиропотоку невелику затримку часу при догляді багажу. Все це потребує вдосконалення систем догляду.

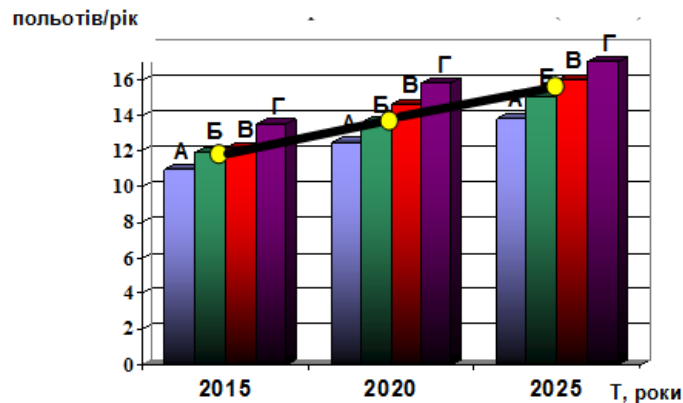


Рис. 1.1 Прогноз підвищення інтенсивності польотів

Боротьба з тероризмом – це застосування превентивних заходів, виявлення загрози і потім її нейтралізація. Ефективна система виявлення і нейтралізації загроз може стати основою попередження тероризму. Деякі технології виявлення вже добре устоялися, інші ще знаходяться в стадії розвитку. Область, на яку спрямована більшість технічних програм у сфері безпеки, належить виявленню та визначенню вибухових та наркотичних речовин і холодної та вогнепальної зброї.

Важливим чинником розроблення систем виявлення є необхідність якнайбільше автоматизувати процеси в цих системах. Останні мають потребу в спостереженні та керуванні з боку людини в тій чи іншій формі. У багатьох системах межі можливостей техніки розширюються, щоб довести рівень необхідної участі людини до мінімуму. В ідеальному випадку участь людини повинна бути обмежена підтвердженням правильного виявлення. Однак у багатьох випадках обмежені можливості техніки і передбачуваність робочих характеристик апаратури роблять періодичну участь людини доцільним. Необхідність автоматизації особливо важлива, коли потрібно оглядати велику кількість об'єктів, наприклад, під час догляду багажу в аеропортах чи автомашин, що перетинають кордон.

Пошук шляхів підвищення безпеки в авіації завжди пов'язаний з певними компромісами. Якщо такий пошук починається на ранньому етапі розроблення, то може виявитися, що обраний варіант не зовсім підходить для застосування надалі обраних засобів контролю окремих зон і не задовольняє комерційним вимогам. Для застосування адекватних засобів убезпечення залишаються обмежені можливості. Етапи процесу контролю пов'язані з виявленням небезпечних об'єктів контролю в спеціально створених зонах контролю.

Найбільш поширений метод у системах САБ є метод заснований на використанні електромагнітного опромінення. До електромагнітних хвиль, які використовуються в інтроскопах для виявлення небезпечних ОК належать рентгенівські хвилі (X-хвилі). Однак цей підхід має ряд недоліків, які суттєво обмежують його можливості виявлення в ОК небезпечних предметів.

Особливості реалізації цього метода в обладнанні полягає у тому, що після опромінення ОК рентгенівськими променями отримується внутрішня структура візуалізації цих об'єктів, тобто тіні ОК.

Проблема є актуальною і вимагає вдосконалення технічних засобів служби САБ, знаходження нових методів обробки інформації. Вирішення проблеми веде к підвищенню забезпечення безпеки

1.2. Характеристика системи авіаційної безпеки України

Для убезпечення польотів в Україні у кожному аеропорті створена служба авіаційної безпеки САБ, яка взаємодіє із багатьма структурами правопорядку держави.

Узагальнена структурна схема такої взаємодії САБ подана на рис. 1.2

На рис 1.2 представлені:

- органи державного регулювання;
- суб'єкти авіаційної діяльності, які можуть постраждати від актів незаконного втручання (повітряні судна, аеропорти, аеродроми, підприємства

технічного обслуговування та ремонту (ТОiP) авіаційної техніки АТ, структурні підрозділи авіаційного департаменту тощо) рис. 1.2;

- міжнародні організації цивільної авіації, що регламентують процеси підрозділів САБ;
- навчальні заклади з підготовки фахівців САБ;
- підрозділи САБ, які функціонують в суб'єктах авіаційної діяльності;
- науково-дослідницькі організації;
- заводи-виготовлювачі технічних засобів САБ .

Система САБ є функціонально повною і достатньо ефективною з точки зору забезпечення польотів від актів незаконного втручання. Дії терористів постійно змінюються, вони, як правило, непередбачувані, тому САБ повинна постійно вдосконалюватися.

Координування дій на міжнародному рівні у сфері САБ виконують відповідні структури ІКАО та міжнародні нормативні документи.

Програма національної авіаційної безпеки набула юридичної сили на підставі Повітряного кодексу України та Указу Президента “Про положення про Державну службу з нагляду за забезпеченням безпеки авіації України”.

Національна програма базується на ряді правових актів країни: Кримінальний кодекс України; Кодекс України про адміністративні правопорушення; закони України про міліцію; про зовнішньоекономічну діяльність; про підприємство; про міжнародні договори тощо.

Програма визначає державну політику у галузі авіаційної безпеки і ґрунтується на певних принципах.

Для координації дії на державному рівні створено державний комітет з нагляду за забезпеченням цивільної авіації.

В кожному аеропорту створено комітет з авіаційної безпеки, головним завданням якого є надання консультацій у розробленні та координації заходів та процедур безпеки в аеропорту. Його повноваження стосуються впровадження національної програми авіаційної безпеки в аеропорту та здійснення нагляду та

контролю за її реалізацією. Цей комітет крім всього складає перелік уразливих точок аеропорту, а також графіки перевірки стану безпеки об'єктів аеропорту.



Рис. 1.2 Структурна система забезпечення авіаційної безпеки: ІКАО – Міжнародна організація цивільної авіації; IATA – Міжнародна організація повітряного транспорту; Інтерпол – Міжнародна організація карної поліції; КРАА – Координаційна Рада асоціацій аеропортів; ВПС – Всесвітня поштова спілка; РМС – Рада митного співробітництва.

Технічні засоби САБ необхідно узгоджувати з питаннями регулювання потоків пасажирів, багажу, ручної поклажі, вантажів, що переміщуються у процесі авіаційних перевезень. У аеропортах розрізняють стерильні, контрольовані та зони обмеженого доступу.

Система авіаційної безпеки України повинна мати надійні недорогі технічні засоби контролю, які з високим ступенем ймовірності у неперервному режимі забезпечила би виявлення небезпечних ОК.

1.3. Методи реалізації засобів авіаційної безпеки. Класифікація методів контролю за видами випромінювання

Реалізація засобів авіаційної безпеки полягає у застосуванні методів виявлення небезпечних об'єктів під час їх опромінення електромагнітними хвилями різних діапазонів. Технічні підрозділи САБ невпинно поповнюються новітніми зразками обладнання і в першу чергу радіоелектронними пристроями неруйнівного контролю. Ці пристрої розроблені за результатами теоретичних досліджень останніх років. У САБ використовують прилади з датчиками майже всіх діапазонів електромагнітних хвиль та корпускулярного випромінювання, а також новітні газоаналітичні датчики тощо.

Для посилення боротьби з тероризмом впроваджуються нові технології. Зазвичай без систем, здатних здійснювати догляд авіапасажирів та їхнього багажу без нарікань з боку пасажирів, будуть збільшуватися затримки в аеропортах внаслідок ручного догляду. Авіалінії змушені будуть скоротити обсяг польотів. На жаль, сучасні системи виявлення на основі рентгенівської техніки, комп'ютерної томографії та спектроскопії рухомих іонів мають певні недоліки. Деякі з цих систем можуть виявити добре заховані вибухові речовини, але їх впровадження потребує значних коштів. До того ж вони мають високий рівень помилкових тривог (0,2...0,4).

До всіх пасажирів, їхньої ручної поклажі і багажу в аеропортах застосовуються процедури з метою контролю на безпеку з використанням

металошукачів, рентгенівського та іншого обладнання і засобів там, де вони існують, а за їх відсутністю або несправності – вручну.

Переваги систем, що створюють зображення, у порівнянні з системами, які мають лише світлову чи звукову індикацію і якими не можна відтворити внутрішню структуру ОК, полягають у забезпеченні високої пропускної спроможності, високої ймовірності виявлення небезпечних та заборонених предметів, якщо інспектор-оператор зможе підтримувати зосередженість. Деякі рентгенівські системи містять сигнальні пристрої, щоб привертати увагу інспектора-оператора до ОК з певною щільністю і розмірами. У системах серії СТХ, що виготовляються компанією Inc Vision Technologies, використовується комп'ютерне томографування СТ – сканування в поперечному перерізі для виявлення усього, що виглядає схожим на бомбу у пасажирів і в багажі в аеропортах. СТ – сканування (чи томографування) є медичною технологією, що дозволяє бачити крізь ОК. Вона широко використовується в аеропортах і на ділянках перетинання кордону розвинених країн. Застосування такого обладнання вимагає великих коштів, що є великою проблемою для країн, які знаходяться у стадії розвитку.

Задача виявлення небезпечних об'єктів полягає у візуалізації внутрішньої структури ОК попереднім скануванням іонізуючим або іншим проникним опроміненням ОК, отримання тінювих зображень з цифровим по-піксельним перетворенням даних для подальшого аналізу масивів, класифікування та надання отриманої інформації оператору або автоматизованій системі керування в зручній для них формі.

Різноманітність ОК, широкий спектр параметрів, за якими проводиться контроль, багатоваріантність умов, які підлягають обліку при практичній реалізації оперативного огляду, визначили велику кількість методів та засобів контролю, які знайшли застосування на практиці. Серед них велику роль, якщо не головну, грають методи, засновані на використанні ЕМВ.

В деяких випадках ОК стає людина, яка є біологічним об'єктом із специфічними вимогами на параметри доглядового контролю (ДК), у першу

чергу, із жорстким обмеженням експозиції – часу та сили опромінення радіо- або рентгенівськими хвилями.

Ефективність розв'язання задач ДК істотно залежить від довжини використаного випромінювання. На одній довжині хвилі ОК прозорий, на іншій – повністю відбиває промені. У першому випадку легко виявляються непрозорі включення, у другому – нескладно оцінити якість поверхні.

Робота САБ базується на певних методах формування зображення. Класифікація цих методів наведена на рис 1.3.

Залежності відбиття, поглинення, розсіювання, які отримані при зміні спектра випромінювання, дозволяють судити про склад порошків, склад нафти та нафтопродуктів, структуру пластмас і полімерів, концентрації часток у розчинах.

Внаслідок взаємодії оптичного випромінювання із речовиною ОК змінюється просторово-часовий розподіл амплітуди, фази, поляризації, ступеня когерентності ЕМХ. Зміни виявляються в інтерференції, дифракції, заломленні, відбитті, розсіянні, дисперсії хвиль. Можливі також зміни характеристик ОК – механооптичних, магнітооптичних, акустооптичних, фотопровідності тощо. Завдяки великому обсягу інформації про ОК, яка переноситься ОВ (оптичне випромінювання), стає можливим розв'язати великий круг практичних задач.

Практично у всіх видах контролю випромінюванням використовують однакові фізичні засади для побудови приладів та систем. Майже у всіх діапазонах ЕМХ використовують єдині явища взаємодії та закони поширення у середовищах. Але, насамперед, цікавий для потреб служби авіаційної безпеки тепловий вид контролю, за допомогою якого можна перевірити внутрішню структуру об'єкта. Теплові методи контролю дозволяють вирішити великий спектр виявлення, але не дають змоги виявити непрозорі для цих хвиль внутрішні структури ОК. Для вирішення цієї проблеми застосовують радіаційні методи контролю.

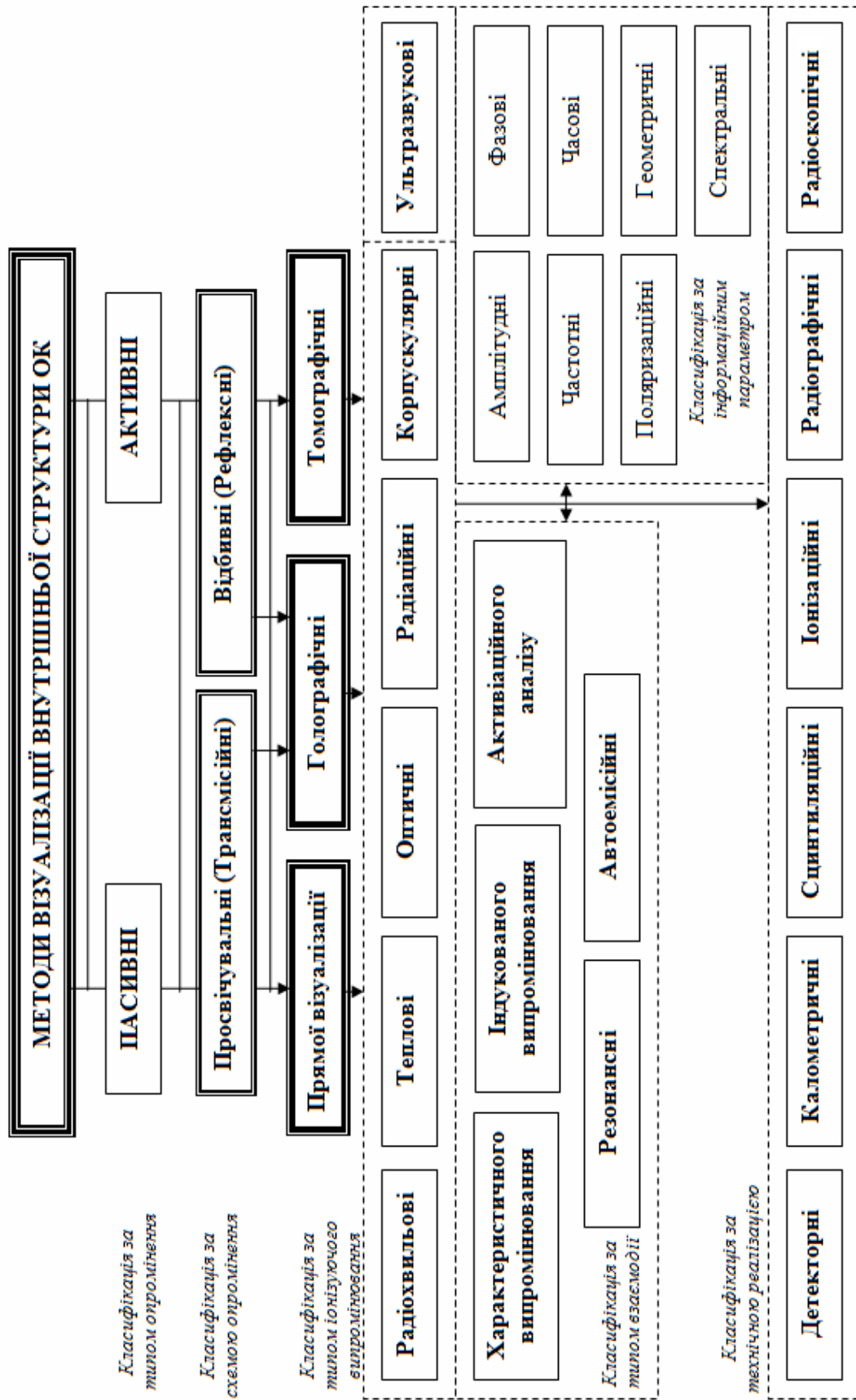


Рис. 1.3 Особливості взаємодії іонізуючого випромінювання з об'єктом контролю

Однією з основних ознак радіаційних методів є тип використаного детектору. При реєстрації випромінювання радіографічною плівкою чи зарядженими напівпровідниковими пластинами метод має назву “радіографічний”. Якщо радіаційне зображення ОК перетворюється в світлове за допомогою радіаційно-оптичних перетворювачів, то метод називається радіоскопічним. Переважна область застосування радіаційних методів – інтроскопія ОК.

В процесі радіаційного контролю використовують головним чином три види іонізуючого випромінювання: рентгенівське випромінювання (РВ), гамма-випромінювання (ГВ), нейтронне випромінювання (НВ). Джерелами РВ у промисловості є прискорювачі електронів (рентгенівські апарати, мікротрони, бетатрони, лінійні прискорювачі тощо) та джерела бета-випромінювання. Для отримання ГВ використовують в основному радіоактивні джерела. Джерелами нейтронів є ядерні реактори, радіонуклідні джерела та прискорювачі заряджених частинок (генератори).

Найпоширенішим видом контролю є радіаційний контроль. Його переваги у проникній спроможності, оперативності, можливості обробки сигналів цифровими методами та засобами. Рентгенівські інтроскопи займають провідне положення щодо забезпечення безпеки на авіаційному транспорті, але вони мають й великі перспективи з удосконаленням та покращанням своїх показників [18 – 21], [24,25,38,55]. У першу чергу це стосується імовірнісних показників виявлення небезпечних об’єктів, на сьогодні вони ще далекі від ідеалу: ймовірність правильного виявлення майже одиниця, але ймовірність хибного спрацьовування 0,2...0,3.

Поява швидкісних ЕОМ (електроннообчислювальні механізми), які здатні в реальному масштабі часу опрацьовувати потік інформації від датчиків рентгенівських приймачів, дала змогу застосувати багаторозрядне (два байта) аналого-цифрове перетворення, збільшити кількість рентгенівських датчиків до 1000 і більше, використати обробку зображення за поверхнею та об’ємом – 2D та 3D. У світі є багато фірм, які спеціалізуються на розробці рентгенівської апаратури, це насамперед Siemens, Philips, Heimann, Astrophysics тощо. Компанія

InVision Technologies Inc. адаптувала складні методи медичної комп'ютерної томографії для виявлення вибухівки. Щоб задовольнити вимоги чинних стандартів FAA (Федеральна служба авіації США) та ІКАО, розроблені інтроскопи СТХ 5000 працюють в автоматичному режимі, з високою ефективністю виявляють всі класи вибухівки і підказують оператору про можливу загрозу.

Аналіз методів контролю випромінюванням дозволяє зробити висновки про наявність функціональних елементів, які присутні в радіохвильових (РХК), оптичних (ОМК), теплових методах (ТМК) та радіаційному контролі. Природою всіх цих типів контролю є електромагнітне випромінювання з різною частотою та довжиною хвилі. Цей висновок базується на двох положеннях: природа ЕМВ єдина, принципи відокремлення корисної інформації на фоні завад однакові і служать основою для складання узагальненої схеми контролюючих засобів (рис. 1.4).

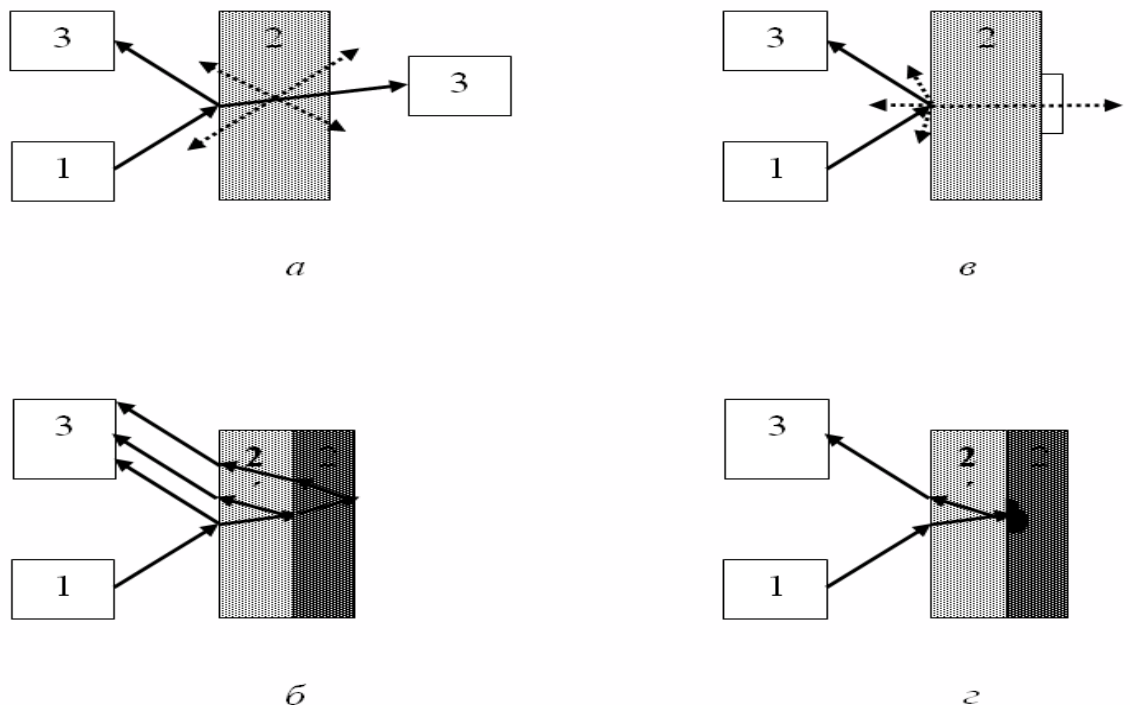


Рис. 1.4 Узагальнені схеми контролю з використанням випромінювання: а – контроль прозорих ОК; б – контроль непрозорих ОК із прозорим покриттям; в – контроль непрозорих ОК; г – контроль багат шарових ОК. 1 – джерело випромінювання; 2 – ОК; 3 – приймач

До всіх схем рис. 1.4 включені джерело випромінювання – 1, приймач – 3, розташування яких відносно ОК – 2 має декілька варіантів.

За умови достатньо великого відношення сигнал/шум тип розподілу – нормальний, релеєвський, райсівський тощо, зазвичай, не впливає на ефективність процедур виявлення сигналу небезпечного локалу ОК.

Доза опромінення рентгенівських установок, які зазвичай використовуються для просвічування багажу не перевищує 0,15 мР.

Таким чином сучасні методи контролю об'єктів опроміненням повинні відповідати вимогам:

- забезпечувати високу розділову здатність і велику проникну спроможність з метою спостереження предметів з матеріалів різної густини від легких пластмас, тканин й скла до масивних металевих об'єктів. Особливо це стосується таких предметів і матеріалів, як мідний дріт діаметром 0,1 мм (38 калібр USA), давати щонайменше 14 градацій сірого і забезпечувати догляд скрізь сталеві стінки товщиною 10 мм. У той же час воно має не засвічувати фотоплівку;
- формувати повне зображення будь-якого ОК без обрізаних кутів;
- використовувати цифрову пам'ять;
- забезпечувати миттєву автоматичну обробку зображення об'єкта, опроміненого рентгенівською трубкою та отримувати чітке зображення на телевізійних системах відображення інформації ОК під час безперервного руху стрічки транспортера;
- зображення на телевізійному екрані зберігається до отримання зображення від нового об'єкту або доки подається напруга живлення;
- регульовану корекцію градацій повинна забезпечувати збільшення градієнту контрастності об'єктів різної товщини з матеріалів різної густини;
- повинні використовуватись методи збільшення чіткості контурів всіх об'єктів електронним збільшенням будь-якої частини зображення на телевізійній системі відображення інформації;

– не допускати розмивання контурів зображення на телевізійній системі відображення інформації при електронному збільшенні об’єкту під час його руху

Для визначення напрямків удосконалення технічних засобів (ТЗ) САБ розглянемо узагальнену структурну схему контролю випромінювання.

Для реалізації цього принципу можна запропонувати узагальнену телевізійну структурну схему, що наведена на рис. 1.5.

Поруч із джерелом випромінювання 1 та ОК 2 вона містить пристрої перетворення енергії випромінювання 3, 4, блок подання інформації оператору 5, автоматичний пристрій прийняття рішення 6.

У більшості випадків рішення про ОК приймається оператором 7.

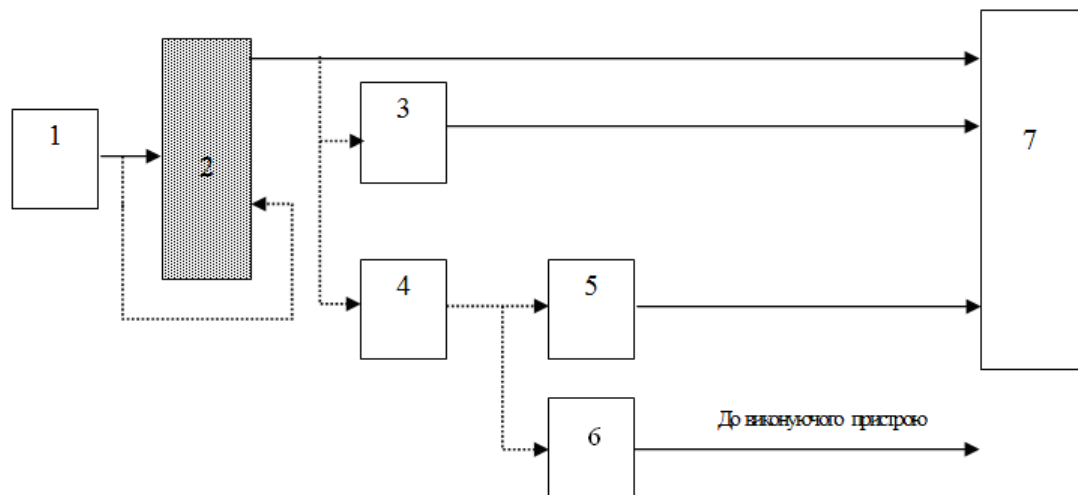


Рис. 1.5 Телевізійна структурна схема контролю випромінюванням:

1 – джерело випромінювання; 2 – ОК; 3 – перетворювач “випромінювання – видиме зображення”; 4 – перетворювач “випромінювання – електричний сигнал”; 5 – перетворювач “електричний сигнал – оптичний сигнал”; 6 – автоматичний пристрій прийняття рішення; 7 – оператор

Можливості контролю істотно розширюються з уведенням до системи “ОК – око оператора” перетворювача 3 “випромінювання – видиме зображення”. В простішому випадку таким перетворювачем може бути оптична лінзова система, яка дозволяє змінювати мірило зображень ОК. На відміну використання гнучких

волоконних світловодів для передачі світлового поля з недосяжних для безпосереднього спостереження місць. До цього ж типу слід віднести детектори невидимих випромінювань: фоточутливу плівку, радіаційнооптичні прилади, флуоресцентні екрани, іонізаційні камери, сцинтиляційні перетворювачі.

На рис. 1.5. представлено перетворювач електромагнітного випромінювання в електричний сигнал 4 і електричний сигнал у видиме зображення 5. Існуючі перетворювачі, чутливі не тільки до світла, але й до невидимих випромінювань: інфрачервоного, рентгенівського, ультрафіолетового тощо. Це дозволило різко збільшити номенклатуру ОК та підвищити достовірність контролю. Швидкість обробки ОК ще більше зростає, якщо до системи ввести автоматичний пристрій прийняття рішення 6.

Обладнання для забезпечення ЦА може застосовуватися лише за наявності сертифікату типу, який видається Державіаслужбою. Як обов'язковий для рентгенівського обладнання застосовується затверджений і зареєстрований у Держстандарті України галузевий стандарт ГСТУ 54.001-95 [36], який містить мінімальні загальнотехнічні вимоги до такого обладнання.

Незалежно від місця розташування кожна одиниця доглядового обладнання має бути відкаліброваною згідно з встановленим стандартом. Мінімальні та максимальні рівні спрацьовування пошукового обладнання має здійснюватися на підставі випробувань з використанням еталонних зразків (тест-зразків), що імітують предмети та речовини, які підлягають виявленню. Підвищення чутливості обладнання обумовлюється зростанням загрози. Випробування та калібрування доглядового обладнання здійснюється при уведенні обладнання, а також під час періодичного технічного обслуговування (ТО).

1.4 Аналіз принципів формування зображень внутрішньої структури ОК

Застосування іонізуючих випромінювань для інтроскопії базується на їх взаємодії з ОК – на поглинанні, розсіянні випромінювання речовиною, іонізації

речовини випромінюванням. Поглинання та розсіяння характерні і для довгохвильового випромінювання при його поширенні в ОК, однак механізм виявлення цих ефектів відрізняється від розглянутого. При великих енергіях фотони взаємодіють як з вільними електронами, так і з електронними оболонками та ядром атому.

Електронні оболонки атома (рис.1.6) позначаються літерами К, L, M, N, O, P. Найближча до ядра оболонка К має тільки один рівень енергії, оболонки L та P – три, оболонки M та O – п'ять, оболонка N – сім. В залежності від атомного номера кількість стаціонарних рівнів енергії змінюється від 1 до 24.

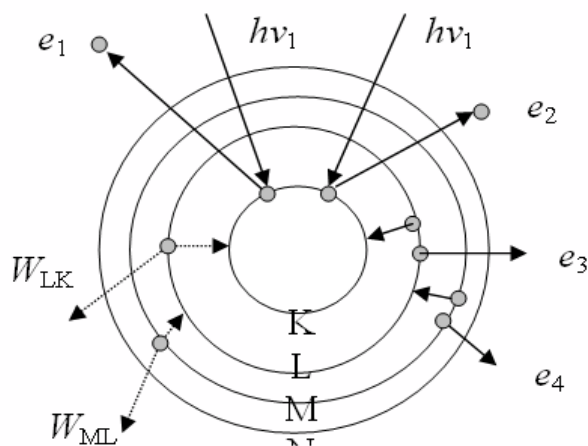


Рис. 1.6 Схема поглинання фотонів з випусканням характеристичного випромінювання (ліворуч) і з випусканням електронів другого роду

Зі зростанням частоти ν все більше починає виявлятися ефект розсіяння – комптон-ефект – падаючих фотонів. [28] Внаслідок зіткнення фотону із зовнішніми атомними електронами утворюється новий квант з меншою енергією і з речовини вилітає електрон – електрон віддачі з енергією $h\nu - h\nu_s$. Така ситуація відповідна випадку, коли падаючий квант взаємодіє з нерухомим вільним електроном. Якщо зв'язок електрона з атомом великий (різниця $h\nu - h\nu_s$ від'ємна), то можливо відхилення кванта від початкового напрямку поширення без зміни його енергії (когерентне розсіяння).

Комптон-ефект відіграє велику роль в послабленні іонізуючого випромінювання середньої енергії (0,1...0,5 пДж) легкими речовинами.

У випадку перевищення енергії квантів подвійної енергії нерухомого електрона (більше $1,63 \cdot 10^{-13}$ Дж), крім фотоефекту та комптон-ефекту спостерігається новий вид взаємодії фотона з речовиною: поглинання фотона з утворенням пари позитрон – електрон [36]. Сумарна кінетична енергія обох частинок згідно з законом збереження енергії дорівнює $h\nu$, але вона може бути по різному поділена між ними.

Кожний розглянутий ефект взаємодії випромінювання з речовиною виявляється у різних областях на площині ZW (атомний номер – енергія фотона). Розділові графіки на рис.1.7 відповідні рівності згасання випромінювання за рахунок розглянутих ефектів.

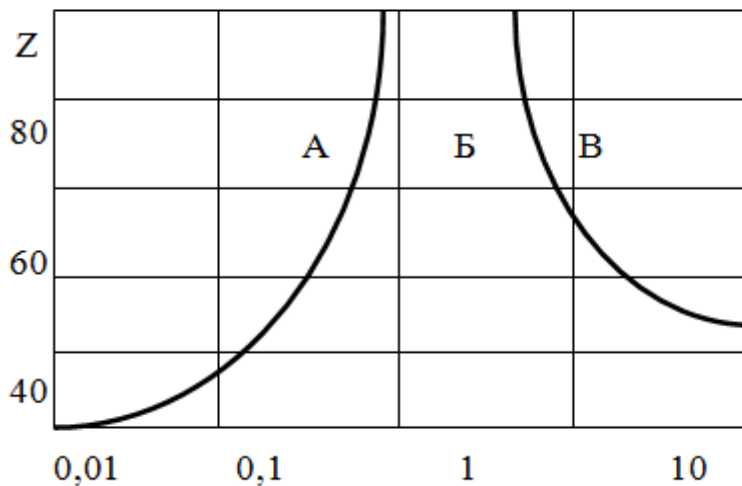


Рис. 1.7 Діаграма Еванса: А – область фотоефекту;
Б – комптон-ефект; В – утворення пари електрон-позитрон

Оскільки послаблення поширюваного пучка променів викликано декількома причинами, коефіцієнт поглинання μ_λ можна подати у вигляді суми:

$$\mu_\lambda = \alpha_\lambda + m_\lambda + \pi_\lambda,$$

де α_λ – спектральний коефіцієнт поглинання; m_λ – спектральний коефіцієнт розсіяння; π_λ – спектральний коефіцієнт поглинання з утворенням пар електрон-позитрон. Коефіцієнти α_λ , m_λ , π_λ називають лінійними на відміну від масових

α_λ/ρ , $m\lambda/\rho$, π_λ/ρ , які утворені від лінійних їх діленням на густину ρ речовини ОК. Для залежності α_λ/ρ від довжини хвилі характерні загальне зростання α_λ із збільшенням довжини хвилі та наявність різких стрибків поглинання на певних довжинах хвиль (рис.1.8).

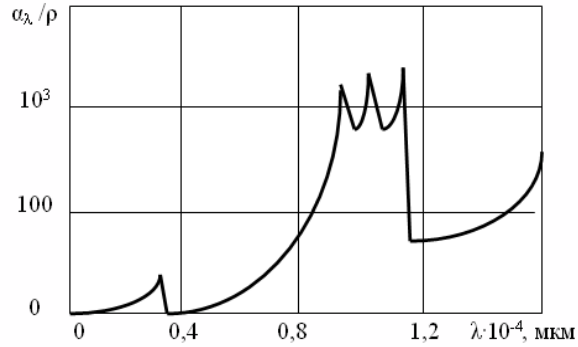


Рис. 1.8 Спектральна залежність масового коефіцієнта поглинання платини Pt

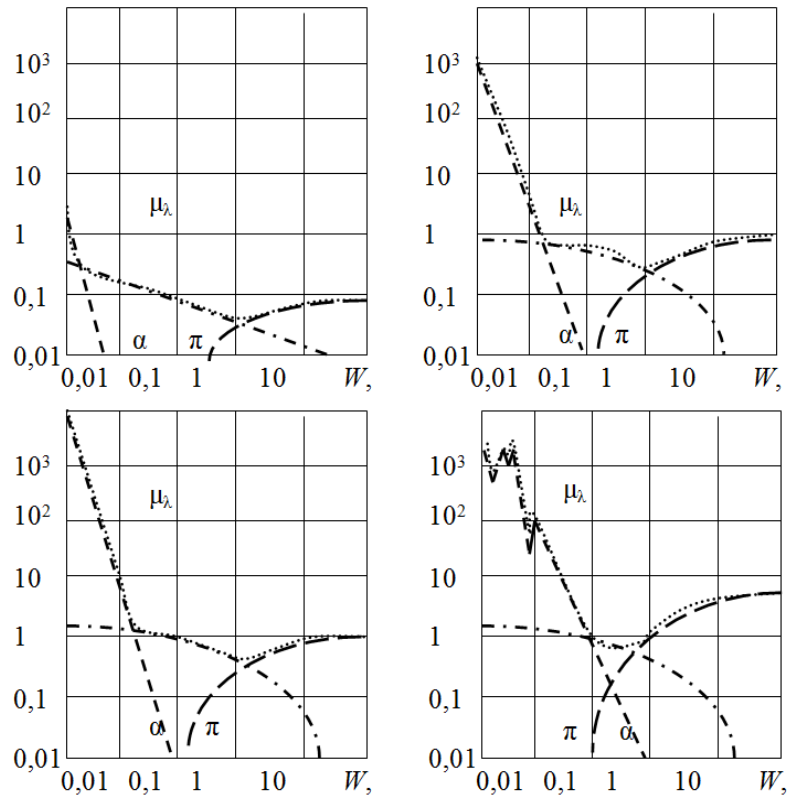


Рис. 1.9 Спектральні коефіцієнти послаблення та поглинання

На рис.1.9 наведені залежності коефіцієнта послаблення іонізуючого випромінювання μ_λ та його складових α_λ , m_λ , π_λ від енергії фотонів (довжин хвиль). Спостерігається тенденція зменшення послаблення зі збільшенням енергії до 5...10 МеВ. Потім настає повільне збільшення коефіцієнта послаблення за рахунок ефекту утворення пар. Зі зростанням атомного номера Z мінімум залежності коефіцієнта зсувається в область менших енергій.

При цьому передбачалося, що ОК опромінюється монохроматичним випромінюванням. На практиці широко застосовують джерела із суцільним спектром випромінювання. Крім того, для проведення контролю часто використовують широкі недіафрагмовані пучки променів.

1.5 Постановка задачі дослідження

Технічні підрозділи САБ невпинно поповнюються новітніми зразками обладнання і в першу чергу радіоелектронними пристроями неруйнівного контролю. Ці пристрої розроблені за результатами теоретичних досліджень останніх років. У САБ використовують прилади з датчиками майже всіх діапазонів електромагнітних хвиль та корпускулярного випромінювання, а також новітні газоаналітичні датчики тощо.

Застосування сучасних установок та систем виявлення вибухових пристроїв та зброї може істотно підвищити безпеку аеропортів, але навіть досконала система такого призначення має обмежені можливості та велику вартість, а впровадження таких систем у національному масштабі потребує трьох–п'яти років.

Нові технології розглядаються як заходи посилення боротьби з тероризмом. Зазвичай без систем, здатних здійснювати догляд авіапасажирів та їхнього багажу без нарікань з боку пасажирів, будуть збільшуватися затримки в аеропортах внаслідок ручного догляду. Авіалінії змушені будуть скоротити обсяг польотів. На жаль, сучасні системи виявлення на основі рентгенівської техніки,

комп'ютерної томографії та спектроскопії рухомих іонів мають певні недоліки. Деякі з цих систем можуть виявити добре заховані вибухові речовини, але їх впровадження потребує значних коштів. До того ж вони мають високий рівень хибних тривог (0,2...0,4).

Створення ефективного захисту від тероризму є складною проблемою, особливо для країн, що мають розвинену мережу повітряного транспорту з великою кількістю авіаліній та аеропортів зі своїми особливостями. Проблема ускладнюється також непередбаченістю дій терористів. Важливе значення має також наявність уразливих місць у системах авіаційної безпеки, які можуть бути використані зловмисниками. До таких уразливих місць належать, наприклад, процедури догляду авіапасажирів та їхнього багажу, вантажів і поштових відправлень.

Найважливішою проблемою є попередження потрапляння на борт літаків вибухових пристроїв та зброї. Ця проблема має розв'язуватися сумісними зусиллями держави та промисловості.

До всіх пасажирів, їхньої ручної поклажі і багажу в аеропортах України застосовуються процедури з метою контролю на безпеку з використанням металошукачів, рентгенівського та іншого обладнання і засобів там, де вони існують, а за їх відсутністю або несправності – вручну.

Здійснивши додатковий аналіз умов та витраченого часу на виявлення небезпечних ОК, внаслідок яких утворюються затримки авіапасажирів в аеропортах, можна зробити висновок, що процедура догляду є залежною від інспектора-оператора, який може бути не дуже кваліфікованим, втомленим тощо. Тобто людський фактор впливає на якість перевірки. Окрім того обладнання догляду з високою ймовірністю правильного виявлення (понад 0,99) потребує додаткового часу для контролю і на жаль має високу ймовірність хибних тривог (менше 0,3), що призводить до необхідності повторної перевірки і відповідно створює напруження в пунктах догляду через затримку пасажирів та багажу в них.

Розв'язання цієї актуальної проблеми полягає у розробленні та впровадженні автоматизованого процесу ефективного догляду пасажирів та багажу на предмет пошуку небезпечних та заборонених для провезення авіаційним транспортом ОК. Одним із шляхів досягнення цього процесу є отримання візуалізаційних зображень ОК та створення бази тих тіней, з якої у реальному мірілі часу найпростішою операцією цифрового перебору відшукується образ небезпечного об'єкту як за формою, так і за вмістом.

У роботі поставлена актуальна задача отримання тіней ОК різної форми з подальшою можливістю їхнього програмного (цифрового) перебору або статистичного виявлення у разі адитивної сукупності сигналів та шумових завад, а також створення бази даних тіней небезпечних ОК, що значно зменшить хибні спрацьовування апаратури у процесі оброблення тих адитивних сукупностей. Така база даних та процедура оброблення безумовно сприятиме підвищенню ефективності апаратури догляду через підвищення ймовірності правильного виявлення та зменшенню ймовірності хибних тривог.

Узагальнена структура функціонування телевізійних доглядових систем включає джерела випромінювання, ОК та приймальну частину, до якої у свою чергу входять блоки обробки та відображення інформації для операторів САБ. У блоці обробки формується інформація щодо тіньового зображення ОК [36].

Більша частина відомих результатів у сфері обробки зображень не приділяла достатньо уваги аналізу зображень внутрішньої структури ОК, тобто проєкційним тіням, які отримані за допомогою проникного випромінювання. Це призводить до того, що під час використання САБ доглядової техніки можуть виникати хибні спрацьовування. Аналіз тіней ОК та спектральне виявлення тіней на фоні завад набагато спростило би роботу операторів САБ, які знаходяться за пультами доглядової техніки.

В цілому, для підвищення ефективності роботи доглядової техніки необхідно безперервно удосконалювати структуру обробки даних, оскільки постійно збільшується різноманіття ОК, об'єктивно мають місце завади різного походження, збільшуються обсяги авіаційних перевезень та скорочується час

прийняття рішень щодо виявлення заборонених предметів і речовин. У цих умовах набувають актуальності питання використання нових теоретичних результатів у сфері обробки даних, зокрема статистичних та фільтраційних методів обробки сигналів. Також на етапі синтезу та аналізу структур обробки даних доцільно застосовувати методи та засоби електронного моделювання на ПК.

На рис. 1.10 наведено узагальнену телевізійну структуру операторів обробки даних у засобах доглядової техніки.

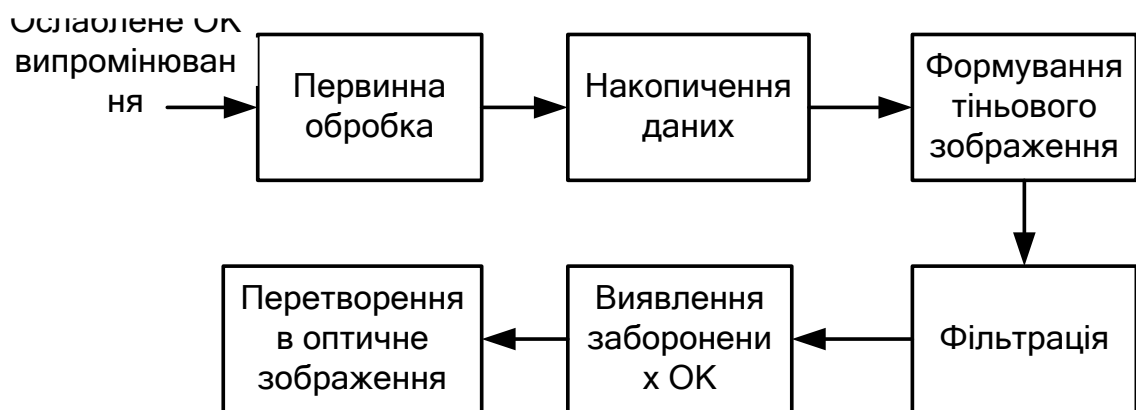


Рисунок 1.10 – Узагальнена телевізійна структура операторів обробки даних

Узагальнений методичний підхід до побудови тіньових зображень об'єктів різної форми повинен включати такі етапи:

- вибір типу джерела опромінювання та аналіз його фізичних особливостей, а також методу сканування. Наприклад, якщо джерело точкове, то хвиля має сферичний фронт, якщо лінійне – то циліндричний;

- аналіз геометричних особливостей ОК та його розташування відносно джерела опромінювання – формування векторів вхідних даних (розміри, відстань від джерела до ОК, відстань від ОК до екрану тощо);

- аналіз проходження електромагнітного випромінювання крізь ОК до приймачів (екрану, детекторів). Ці явища підкоряються законові Бугера, а також законам геометрії;

– формування проекційного зображення та його кодування у псевдокольоровій шкалі.

1.6 Висновки до розділу

1. Особливістю реалізації прямих рефлексного чи трансмісійного методів візуалізації ОК є те, що після опромінення ОК після певної обробки отримується зображення внутрішньої структури тих об'єктів – проекційні тіні напівпрозорих ОК.

Одним із основних шляхів удосконалення функціонування САБ є розвиток технічних заходів у напрямках:

застосування новітніх принципів дії і діапазонів опромінення;

ефективні алгоритми обробки даних;

вдосконалення роботи системи людина-оператор САБ тощо.

2. Служба авіаційної безпеки країни повинна мати надійні недорогі технічні засоби контролю, які з високим ступенем ймовірності у неперервному режимі забезпечила би виявлення небезпечних ОК.

3. Останнім часом розроблено багато методів виявлення небезпечних ОК, але мало уваги приділяється аналізу візуалізації внутрішньої структури тих об'єктів.

Аналіз внутрішньої структури ОК може значно підвищити ефективність виявлення небезпечних ОК, надати можливість автоматизувати цей процес та спростити виявлення ОК для людини-оператора за високої ймовірності правильного виявлення (понад 0,9) разом з малим рівнем хибних тривог (менше 0,3).

4. Проблема є актуальною і вимагає вдосконалення технічних засобів служби САБ, знаходження нових методів обробки інформації. Вирішення проблеми веде до ефективного убезпечення цивільної авіації.

Список публікацій здобувача:

1. Терещенко Л.Ю. Теоретичні основи та принципи побудови технічних засобів служби авіаційної безпеки / Семенов О.О., Соломенцев О.В., Заліський М.Ю., Хмелько Ю.М./ навчальний посібник.–2016.

2. Терещенко Л.Ю. Системи і пристрої доглядової техніки та їх експлуатація / Семенов О.О., Соломенцев О.В., Заліський М.Ю., Хмелько Ю.М./ навчальний посібник.–2014.

Матеріали конференцій

Міжнародна НТК «АВІА–2006» (Київ, 2007); VII Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2007» (Київ, 2007).

2 ОТРИМАННЯ ОПТИЧНОГО ЗОБРАЖЕННЯ ВНУТРІШНЬОЇ СТРУКТУРИ ОБ'ЄКТІВ КОНТРОЛЮ

Геометричний метод отримання тіньових зображень об'єктів контролю (ОК), який розроблений у цій роботі дозволяє отримати внутрішню структуру, тобто тінь опроміненого ОК тривимірного багатовиду з застосуванням моделі опромінення. Його можна застосовувати у різних сферах життєдіяльності людини: САБ, медицині, промисловості тощо. Він дозволяє підвищити ймовірність виявлення небезпечних предметів та зменшення спрацьовувань у службах САБ. У медицині підвищити ймовірність виявлення небезпечних для здоров'я аномалій.

Суть методу полягає у отриманні внутрішньої візуалізації ОК за допомогою проекційної геометрії та з урахуванням коефіцієнта поглинання. Метод може бути описаний такою послідовністю:

- у програмному середовищі моделюється об'єкт контролю (це може бути об'єкт простої або складної форми);
- моделюється джерело випромінювання, яким опромінюється ОК (точкове, лінійне або площинне);
- використовуються базові положення проекційної геометрії для отримання внутрішнього зображення ОК;
- для отримання проекції тіні задається коефіцієнт поглинання ОК;
- отримана проекція перетворюється в енергетичну складову логарифмуванням для можливості подальшого оброблення (отримання спектральної складової тощо).

Формалізація процесів опромінення ОК

Аналіз методів прямої візуалізації ОК показує, що їм притаманні однотипні операції: опромінення первинним випромінюванням ОК як тривимірного багатовиду, що знаходиться у конфігураційному просторі (у випадку активного

метода), прийом вторинного (розсіяного чи такого, яке пройшло крізь об'єкт) випромінювання, перетворення його в електричний сигнал, обробка та перетворення електричного сигналу в оптичний сигнал. Структура систем прямої візуалізації може бути представлена однією узагальненою структурною схемою (рис. 2.1).

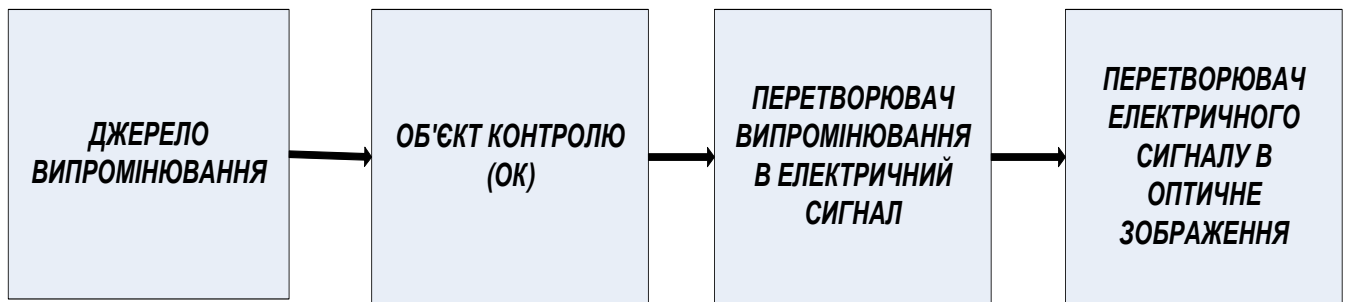


Рис. 2.1 Узагальнена структурна схема інтроскопічної системи.

Розглянемо візуалізований тривимірний багатовид (ОК), який опромінюється джерелом первинного випромінювання. Це джерело може бути трьох типів: мати точкову геометрію, бути лінійним чи площинним. Точкове джерело визначимо як таке, що випромінює хвилі із фронтом сферичної форми. Якщо завдати декартову систему координат та на її початку розмістити точкове джерело випромінювання, як показано на рисунку 2.2, а, то промені, які випромінюватиме це джерело будуть виходити з початку координат та розходитися в усі напрями. Великою сферою на рисунку позначено фронт хвилі. Площинне джерело випромінювання ілюструється рисунком 2.2, б. Фронт випромінюваної ним хвилі являє собою площину, а випромінювані промені є паралельними між собою та перпендикулярними площині випромінювання та фронтові.

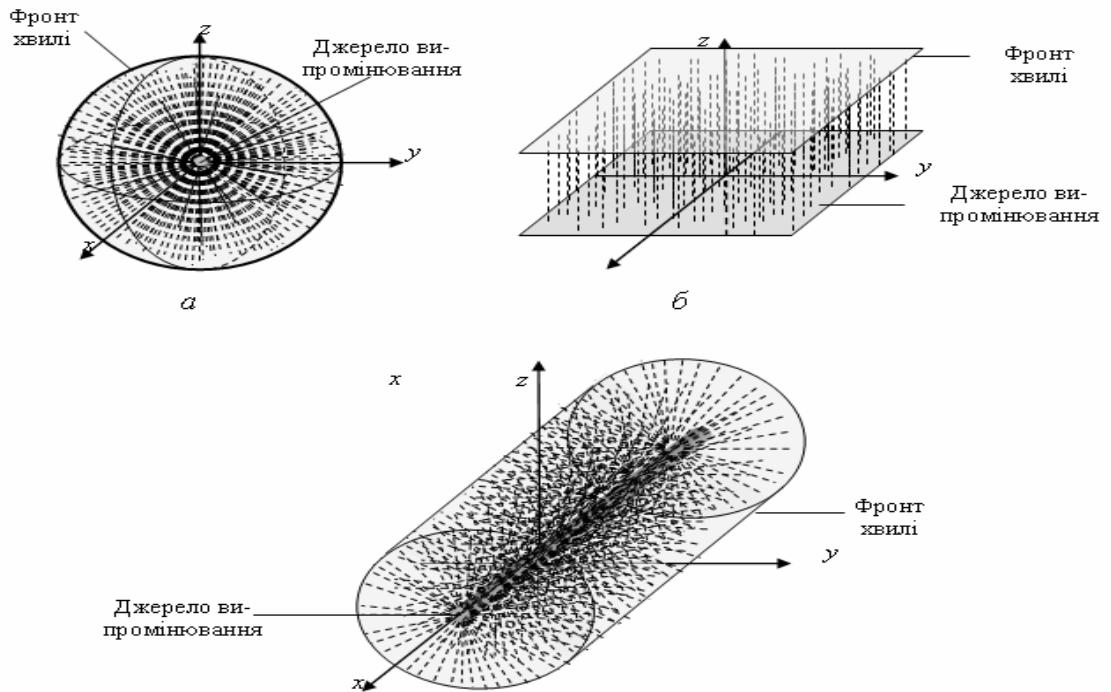


Рис. 2.2 Типи джерел первинного випромінювання:

а – джерело випромінювання точкової геометрії; б – площинне джерело випромінювання; в – лінійне джерело випромінювання

Лінійне джерело випромінювання представлено на рис. 2.2, в. Фронт хвилі випромінюваної цим джерелом хвилі має циліндричну форму. При заданому на рисунку розміщенні лінійного джерела відносно системи координат переріз фронту хвилі, який паралельний площині yOz є колом, а переріз паралельний xOy є прямокутником. В ідеальному випадку лінійне джерело випромінювання має форму циліндру, діаметр якого наближається до нуля, а висота до нескінченості.

Модель тривимірного багатовиду у конфігураційному просторі складається з декількох етапів математичного опису. По-перше необхідно описати самі істочники опромінювання; по-друге описати параметри ОК.

2.1.1 Математичний опис джерел випромінювання

Для математичного опису джерел випромінювання (ДВ) введемо структуру процесу формування математичних моделей, яка представлена на рис. 2.3.

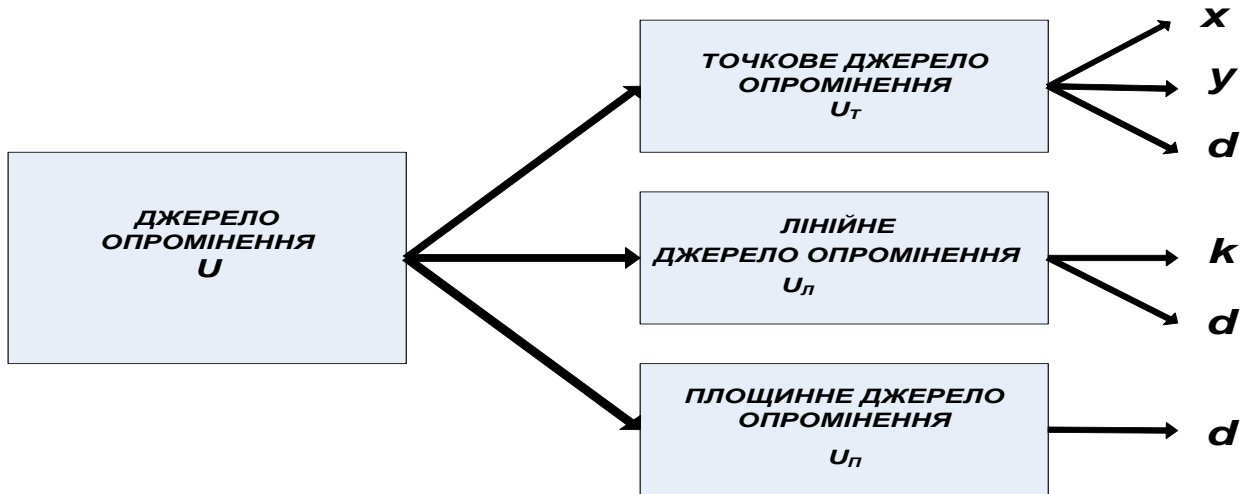


Рис. 2.3 Структура процесу формування математичних моделей джерел опромінювання.

Математичний вираз для загального опису джерел опромінювання має вигляд:

$$\vec{U} = (x, y, k, b_0). \quad (2.1)$$

Тоді для опису джерел опромінювання точкового, лінійного та площинного будемо застосовувати такі вирази:

$$U_m: \vec{U} = (x, y, 0, 0, b_0); \quad (2.2)$$

$$U_L: \vec{U} = (0, 0, k, b_0, d); \quad (2.3)$$

$$U_n: \vec{U} = (0, 0, 0, 0, d), \quad (2.4)$$

де x, y – висота координати крапки на площині випромінювання; d – відстань до ОК; k – тангенс кута нахилу прямої; b_0 – постійний коефіцієнт прямої.

2.1.2. Математичний опис параметрів об'єктів контролю

Для математичного опису ОК необхідно враховувати багато параметрів. До таких параметрів ОК відносяться параметр форми; геометричні параметри; фізичні параметри; кут нахилу відносно ДО та відносно площини розміщення приймачів (детекторів).

До ОК належать об'єкти як простої форми, так і складної форми. Об'єкти складної форми фактично складаються з об'єктів простої форми.

Введемо параметр ОК:

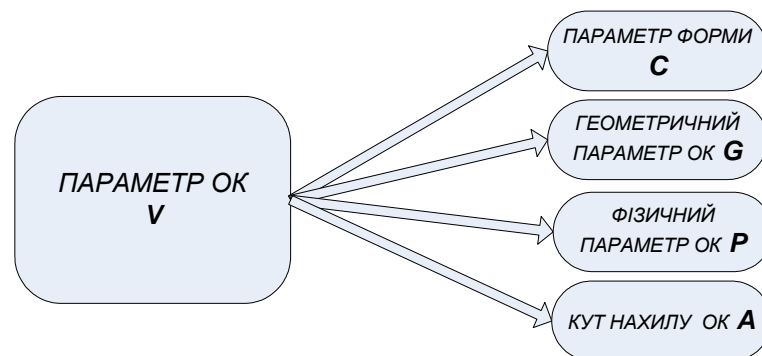


Рис. 2.4 – Структура процесу формування математичних моделей параметрів ОК

Математичний опис параметрів ОК дається виразом:

$$\vec{V} = f(\vec{C}, \vec{G}, \vec{P}, \vec{A}), \quad (2.5)$$

де \vec{C} - параметр форми, який задає складність ОК (ОК простої чи складної форми);

$$\vec{C} = f(a, b), \quad (2.6)$$

$$f(a, b) = \begin{cases} a, \text{ якщо об'єкт простої форми} \\ b, \text{ якщо об'єкт складної форми} \end{cases} \quad (2.7)$$

де a , якщо об'єкт простої форми; b , якщо об'єкт складної форми, \vec{G} - геометричний параметр ОК, який задає розміри ОК (якщо паралелепіпед – це висота, довжина,

ширина, якщо куля – радіус) ; \vec{P} - фізичні параметри ОК (густина, затухання, коефіцієнт поглинання, коефіцієнт розсіяння тощо)

$$\vec{P} = \mu_{\lambda}$$

$$\mu_{\lambda} = \alpha_{\lambda} + m_{\lambda} + \pi_{\lambda},$$

де α_{λ} – спектральний коефіцієнт поглинання; m_{λ} – спектральний коефіцієнт розсіяння; π_{λ} – спектральний коефіцієнт поглинання з утворенням пар електрон-позитрон.

\vec{A} – параметр, який показує під яким кутом знаходиться ОК.

$$\vec{A} = \{\alpha, \beta, \gamma\}$$

де $\{\alpha, \beta, \gamma\}$ – кути нахилу ОК відносно осей системи координат x, y, z .

Таким чином на вхід інтроскопічної системи поступає сигнал у вигляді функції (стан простору в області сканування) $f(\vec{U}, \vec{V})$.

В подальшому під об'єктами простої форми будемо розуміти найменші неподільні об'єкти, які не можна отримати шляхом з'єднання інших об'єктів. До таких об'єктів належать: паралелепіпед, куля, конус, циліндр, тор, еліпсоїд (рис. 2.5).

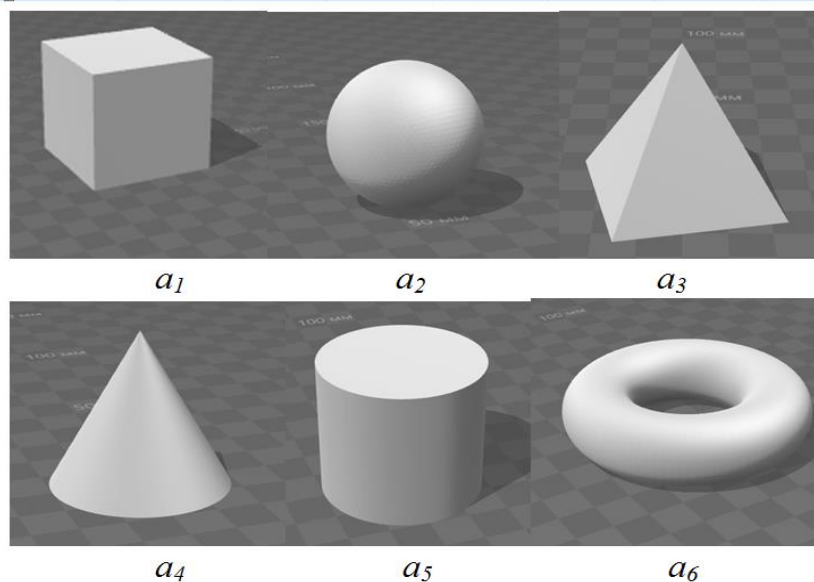


Рис. 2.5 Об'єкти простої форми

де: \cap – є знак перетину (об’єкт всередині об’єкта);

\cup – знак об’єднання (перетин об’єктів, склеювання об’єктів)

$\mathbf{b}_1 = a_2 \cap a_2$ – об’єкт складної форми «куля в кулі»;

$\mathbf{b}_2 = a_1 \cup a_1$ – об’єкт складної форми паралелепіпед біля паралелепіпеда (або їх перетин);

$\mathbf{b}_{n1} = a_1 \cup a_3 \cap a_3$ – об’єкт складної форми, паралелепіпед складений з циліндром, який всередині має ще один циліндр (типу «пістолет»);

$\mathbf{b}_{n2} = a_1 \cup a_2 \cup a_5$ – об’єкт складної форми (типу «ніж»).

Об’єкти простої форми дозволяють скласти великий спектр об’єктів складної форми їхнім перетинанням, об’єднанням, склеюванням тощо. За допомогою цих операцій можна дослідити тіні складних об’єктів та скласти базу цих об’єктів, яка дозволяє покращити виявлення небезпечних об’єктів і зменшенню хибних спрацьовувань, що стосується служби САБ.

Для спрощення опису цього процесу припустимо, що візуалізована структура ОК двовимірна. Вважатимемо можливим описати дійсний просторовий розподіл параметра, зображення якого формується, за допомогою функції $f(x, y)$, яку будемо називати функцією вихідного (початкового) зображення ОК. Після всього ланцюга проміжних перетворень в інтроскопічній системі, на індикаторі отримують оптичне зображення, яке відрізняється від вихідного та являє собою розподіл яскравості зображення [9, 36]:

$$g(\xi, \eta) = Af(x, y) + n(\xi, \eta), \quad (2.8)$$

де A – оператор перетворення; x, y – просторові координати ОК; $f(x, y)$ – справжній просторовий розподіл візуалізованого параметру, який є заздалегідь заданим для розроблених моделей; ξ, η – координати оптичного зображення, отримання якого фактично і є метою роботи.

У зв’язку з неможливістю позбавитися шумів у тракті обробки сигналів до виразу додається розподіл завад $n(\xi, \eta)$.

Оператор A може бути складним, оскільки процес отримання зображення складається з декількох етапів. У випадку трансмісійної інтроскопічної системи, яка використовує ЕМХ (рідше АХ), цей оператор має вигляд згортки. Тоді:

$$g(\xi, \eta) = \iint_{xy} f(x, y)h(\xi, \eta, x, y)dxdy + n(\xi, \eta). \quad (2.9)$$

У формулі (2.9) $h(\xi, \eta, x, y)$ називають ваговою або апаратною функцією. Вона описує діаграми напрямленості джерела і приймача випромінювання. Іншими словами, апаратна функція залежить від геометричних параметрів джерела випромінювання, яким опромінюється ОК. Геометрія пучка випромінювання, а як наслідок і апаратна функція значно впливає на розділову здатність детектора. Через неідеальність апаратної функції $h(\xi, \eta, x, y)$ оптичне зображення $g(\xi, \eta)$ отримується спотвореним: із зміненими пропорціями, розмитим (дефокусованим). Саме ці спотворення для ОК різноманітної геометричної форми наочно демонструється у розроблюваних в роботі моделях просвічування об'єктів. Ці спотворення є недоліками для сучасної доглядової техніки. Для їх усунення можливе використання двох принципово різних шляхів. Першим є намагання отримати апаратну функцію $h(\xi, \eta, x, y)$ якомога ближчу до ідеальної. Другим способом є перетворення функції $g(\xi, \eta)$ для відновлення (формування) вихідного (початкового) зображення $f(x, y)$ за допомогою математичних операцій. Це здійснюється шляхом цифрової обробки сигналів в ЕОМ. Для втілення останнього методу необхідно враховувати математичні процеси, які призводять до неідеальності вагової функції. У цій роботі описані математичні процеси, які відбуваються при перетворенні вихідного зображення $f(x, y)$ у оптичне $g(\xi, \eta)$ для об'єктів конкретної заздалегідь відомої геометричної форми, тобто іншими словами із заздалегідь відомим справжнім просторовим розподілом візуалізованого параметру $f(x, y)$.

Єдиною відмінністю вищезгаданого від розроблюваних в роботі моделей є те, що ОК має просторовий розподіл неоднорідностей. Іншими словами, функції розподілу справжнього просторового параметру та розподілу яскравості зображення залежать від трьох просторових координат об'єкту та тіні відповідно, тобто описуються функціями з трьома перемінними.

Розподіл яскравості оптичного зображення має наступний вигляд:

$$g(\xi, \eta, \theta) = Af(x, y, z) + n(\xi, \eta, \theta), \quad (2.10)$$

де x, y, z – просторові координати ОК; $f(x, y, z)$ – справжній просторовий розподіл візуалізованого параметру, який є заздалегідь заданим для розроблюваних моделей; ξ, η, θ – координати тривимірного оптичного зображення, отримання якого фактично і є метою роботи; $n(\xi, \eta, \theta)$ – шуми, які залежать від параметрів інтроскопічної системи.

Для оператора перетворення A , який має вигляд згортки, розподіл яскравості

$$g(\xi, \eta, \theta) = \iiint_{xyz} f(x, y, z)h(\xi, \eta, \theta, x, y, z)dxdydz + n(\xi, \eta, \theta), \quad (2.11)$$

Функція $h(\xi, \eta, \theta, x, y, z)$ залежить і від дійсних координат ОК, і від координат тривимірного оптичного зображення, тобто від параметрів як ОК, так і інтроскопічної системи. Результатом потрійного інтегрування є функція, яка залежить тільки від координат отриманого оптичного зображення, тобто $g(\xi, \eta, \theta)$.

Кожен ОК має безліч параметрів, які характеризують його структуру. Це може бути густина, опір та ін. Для описання аналітичних моделей, які розроблені в роботі зробимо деякі спрощення та задамо функцію дійсного просторового параметру наступним чином: припустимо, що існує деяка функція $f(x, y)$. В

об'ємі, що обмежується графіком цієї функції дійсний просторовий параметр має постійне значення α . За межами цього об'єму $\alpha = 0$.

Об'єкт контролю розміщується між джерелом випромінювання та екраном на певній відстані. В кожній точці екрану фіксується значення параметру випромінювання, яке пройшло крізь об'єкт (амплітуда, поляризація або ін.). Кожне значення цього параметру відповідає певній яскравості оптичного зображення. В загальному випадку розподіл яскравості оптичного зображення g також є тривимірною функцією та залежить від уявних координат (ξ, η, θ) . В розроблюваних аналітичних моделях розподіл яскравості оптичного зображення задамо аналогічно просторовому розподілу дійсного параметру. Оскільки просторовий параметр в межах певного об'єму є величина незмінна, то й функція яскравості оптичного зображення в межах певного об'єму також є незмінною величиною. Цей об'єм обмежується двовимірною функцією $g(\xi, \eta)$. Отримане оптичне зображення відображається на моніторі інтроскопу, а отже є двовимірним. Координати (ξ, η) завдають певну точку екрану монітору. Отже фактично яскравість зображення завдається двовимірною функцією $g(\xi, \eta)$.

Для більш наочного відображення отриманої картинки на екрані завдамо відносну шкалу кольорів. Максимальне значення функції $g(\xi, \eta)$ поділимо на 10 проміжків, кожному з яких відповідатиме колір відповідно шкалі. Отже за двовимірним розподілом кольорів на екрані монітору можна судити про розподіл параметру (густина, опір або ін.), який характеризує внутрішню структуру ОК.

Припустимо, що параметром випромінювання, яке пройшло крізь ОК є його інтенсивність. Згідно з законом Бугера, інтенсивність випромінювання, яке поширюється в однорідному середовищі ($\alpha = \text{const}$) описується наступним виразом [20]:

$$|E|^2 = E_0^2 \exp(-\alpha x), \quad (2.12)$$

де α – питомий показник поглинання випромінювання у матеріалі ОК;

x – відстань, на яку поширилась хвиля.

Отримана функція $g(\xi, \eta)$ відповідає питомому показнику поглинання випромінювання α . Таким чином кольорове зображення на екрані монітору відповідатиме не дійсній, а прологарифмованій інтенсивності прийнятого випромінювання. Таке зображення ще називають зображенням з логарифмічним підсиленням.

Дійсний розподіл інтенсивності прийнятого випромінювання отримаємо за формулою:

$$g_{\text{дійсн}}(\xi, \eta) = -\exp(g(\xi, \eta)). \quad (2.13)$$

Слід зазначити, що зображення з логарифмічним підсиленням є менш спотвореним у порівнянні із зображенням отриманим за формулою (2.6), тому його й використовують на практиці.

2.2 Формалізація процедури отримання оптичного зображення ОК (етапи отримання оптичного зображення)

Узагальнена структура функціонування телевізійних інтроскопічних систем включає джерела випромінювання, ОК та приймальну частину, до якої у свою чергу входять блоки обробки та відображення інформації для операторів САБ. У блоці обробки формується інформація щодо тіньового зображення ОК [36, 38].

Більша частина відомих результатів у сфері обробки зображень не приділяла достатньо уваги аналізу зображень внутрішньої структури ОК, тобто проєкційним тіням, які отримані за допомогою проникного випромінювання. Це призводить до того, що під час використання САБ телевізійної інтроскопічної техніки можуть виникати хибні спрацьовування. Аналіз тіней ОК та спектральне виявлення тіней на фоні завад набагато спростило би роботу операторів САБ, які знаходяться за пультами доглядової техніки.

В цілому, для підвищення ефективності роботи телевізійної інтроскопічної техніки необхідно безперервно удосконалювати структуру обробки даних,

оскільки постійно збільшується різноманіття ОК, об'єктивно мають місце завади різного походження, збільшуються обсяги авіаційних перевезень та скорочується час прийняття рішень щодо виявлення заборонених предметів і речовин. У цих умовах набувають актуальності питання використання нових теоретичних результатів у сфері обробки даних, зокрема статистичних та фільтраційних методів обробки сигналів. Також на етапі синтезу та аналізу структур обробки даних доцільно застосовувати методи та засоби електронного моделювання на ПК.

На рис. 2.6 наведено узагальнену телевізійну структуру операторів обробки даних у засобах доглядової техніки.

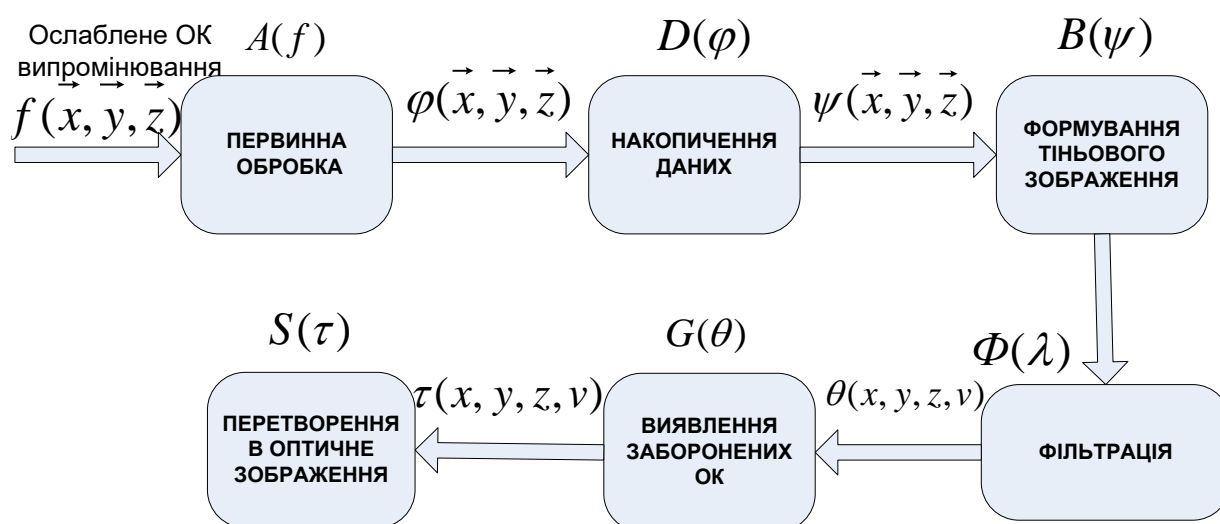


Рис.2.6 Узагальнена телевізійна структура операторів обробки даних

Узагальнена концепція побудови тіньових зображень об'єктів різної форми включає процедури:

– вибору типу функцій, які забезпечують із заданим ступенем достовірності відтворення структурних і параметричних властивостей цих функцій з метою адекватного відображення фізичних особливостей джерел опромінювання та методу сканування.

– аналізу структури ОК та топології його геометричних позицій у полі опромінювання з метою формування векторів вхідних даних (розміри, відстань від джерела випромінювання до ОК, відстань від ОК до приймачів перетворення сигналів випромінювання);

– аналізу впливу структури ОК на оператор перетворення вхідних сигналів, що адекватно відображається законом Бугера та геометрії;

– синтез функцій отклику (тіньового зображення) та його кодування у псевдокольоровій шкалі.

Припустимо, що на приймач D надходить деяка функція $f(x,y,z)$, яка залежить від параметрів ОК, його розміщення тощо, де x – геометричні параметри ОК; y – параметри інтроскопічної системи, відстань від джерела до детектора, їх взаємне розташування; z – параметри, що характеризують тип опромінення (точковий, лінійний, площинний).

Розглянемо етапи обробки даних:

1 етап - після (результат опромінення рентгенівськими променями ОК) опромінення ОК рентгенівськими променями інформація попадає у блок первинної обробки. Функцію первинної обробки даних виконує оператор

$$A(f); \varphi(x,y,z) = A(f(x,y,z)),$$

де A – оператор первинної обробки.

2 етап – відбувається процедура накопичення даних. У загальному вигляді представляється оператором D , який є основою для аналізу характеристик під час їхнього сканування.

$$D(\varphi); \Psi(x,y,z) = D(\varphi(x,y,z))$$

3 етап – після процедури накопичення даних відбувається формування тіньового зображення оператором B , яке є внутрішньою візуалізацією ОК після опромінення його рентгенівськими хвилями: $B(\Psi)$;

$$\lambda(x,y,z) = B(\Psi(x,y,z)),$$

де B – оператор формування тіньового зображення.

4 етап – отримані на третьому етапі сигнали, що характеризують тіньове зображення ОК подаються на блок фільтрування, де відбувається

фільтрація в залежності від виду використаного фільтра (спектрального, по маскам тощо)

$$\Phi(\lambda); \theta(x, y, z) = \Phi(\lambda(x, y, z)),$$

де Φ – оператор фільтрації, що включає в себе різні алгоритми видеління контурів, зменшення шумів тощо.

5 етап - після фільтрації у блоці виявлення заборонених ОК виявляються ОК, які знаходяться в базі заборонених об'єктів:

$$G(\theta); \tau(x, y, z, v) = G(\theta(x, y, z)),$$

де v – об'єкт пошуку (пістолет, вибухівка, наркотичні заходи, об'єкти, наприклад, круглої форми).

6 етап - для полегшення процедури виявлення оператору-людині необхідне перетворення електричного сигналу в оптичне зображення. Формування оптичного зображення $S(\tau)$;

$$g(x', y', z, v) = S(\tau(x, y, z, v)),$$

де x', y' – координати на екрані інтроскопічної системи (на телевізійних системах візуалізації чи моніторі).

Аналіз показує, що узагальнена процедура отримання оптичного зображення внутрішньої структури ОК повинна включати такі етапи: первинна обробка ослабленого ОК випромінювання; накопичення даних; формування тіньового зображення; перетворення в оптичне зображення; виявлення заборонених ОК; фільтрація.

2.3 Побудова аналітичної моделі оптичного зображення внутрішньої структури ОК при використанні точкового джерела випромінювання

Основною задачею визначення (візуалізації) внутрішньої структури ОК є розробка аналітичних моделей отримання оптичного зображення внутрішньої структури ОК проведення аналізу спотворення, які набувають зображення в залежності від параметрів системи візуалізації та типу джерел випромінювання.

Ці спотворення необхідно враховувати у проектуванні нових більш досконалих інтроскопічних систем.

Побудова цих аналітичних моделей зводиться до обчислення проєктивного зображення ізотропного об'єкту при гомогенному опроміненні точковим джерелом випромінювання, розташованим на осі симетрії об'єкту перпендикулярно площині зображення.

Виконаємо розробку методу сканування ОК.

При використанні джерела випромінювання точкової геометрії для визначення положення джерела випромінювання, ОК та екрану доцільною є робота в циліндричній системі координат, яка завдана на рис. 2.7,а.

Положення точки в цій системі визначається величиною відкладеною по осі Oz , кутом між нульовим та заданим напрямком полярної осі, яка належить площині $z=0$ та величиною, яка відкладається по осі ρ . Об'єкт контролю розташуємо таким чином, щоб початок координат, точка O , розміщувався всередині нього. Площину екрану розмістимо в півпросторі $z > 0$ та перпендикулярно осі Oz , джерело випромінювання в півпросторі $z < 0$ на осі Oz .

Рентгенівське випромінювання має таку саму природу, що і електромагнітне випромінювання, тому всі їх властивості аналогічні. Тому для описання джерел випромінювання можна використати такі самі (математичні залежності) типи хвиль.

Як зазначалося у першому розділі, сканування об'єкту може проводитися різними методами. Розробимо метод сканування ОК, який буде доцільним при використанні джерела випромінювання точкової геометрії. Для точкового джерела завдамо рівняння сферичної хвилі.

$$U = \frac{f(r-ct)}{r} \quad (2.14)$$

Функція f у нашому випадку виглядає гармонічною сферичною хвилею. Гармонічна сферична хвиля у середовищі без поглинання задається рівнянням.

$$U(\vec{r}, t) = \frac{A}{|\vec{r}|} \cdot e^{j\omega t - ik\vec{r}} \quad (2.15)$$

де r – відстань від джерела до точки, яка нас цікавить; $\frac{A}{r}$ – зменшувана амплітуда коливань; ω – кутова частота; i – уявна одиниця; κ – хвильове число

Нехай деяким значенням величини кута β визначається положення площини, в якій пересувається промінь сканування (рис. 2.7, б). Тоді конкретне положення проміню визначається координатою ρ завданої циліндричної системи. Іншими словами, промінь скануватиме простір при послідовній зміні значень β та ρ .

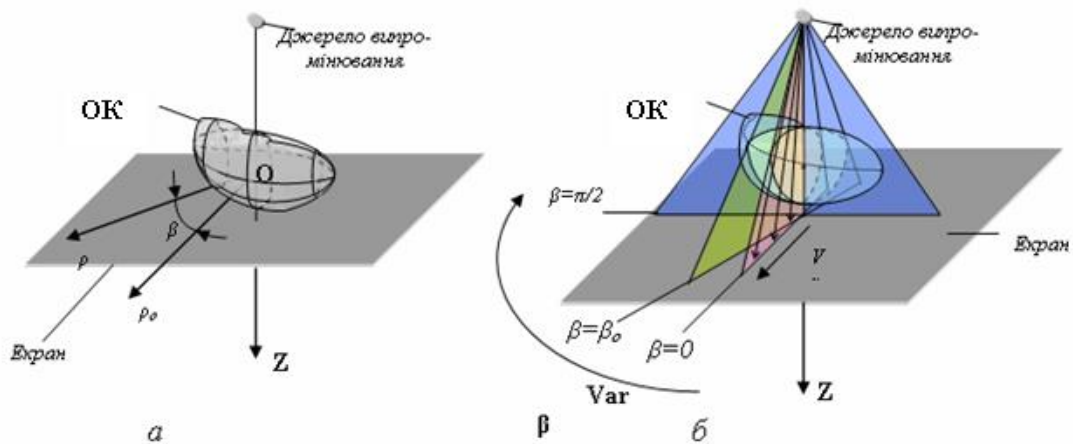


Рис. 2.7 Сканування ОК:

a – завдання циліндричної системи координат;

б – завдання положення скануючого променя

Цей вид сканування визначимо як сканування за круговою траєкторією.

Внутрішню візуалізацію ОК після електромагнітного опромінення точковим джерелом опромінення у загальному вигляді можна представити таким математичним виразом:

$$Z(x, y) = \iint_{(x_0)(y_0)} U(x, y) V(C, G(x, y), P, A(x, y)) dx dy, \quad (2.16)$$

де Z - екран на якому відображається внутрішня структура ОК ; V – фізична функція об'єкта (аналог імпульсної характеристики).

Для глибшого розуміння процесу формування тіні подамо його у вигляді сканування, що здійснюється за круговою траєкторією (рис. 2.8). ОК опромінюється точковим джерелом опромінювання під певним кутом від джерела та при певному значенні кута β на самій поверхні ОК.

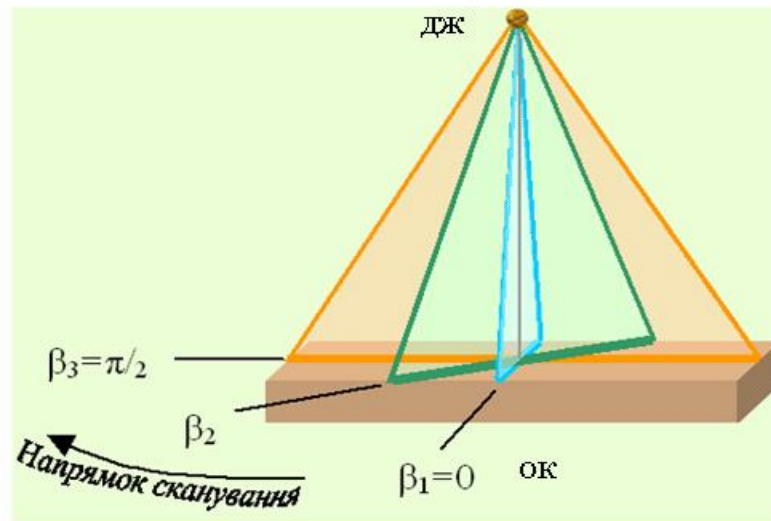


Рис. 2.8 Сканування ОК за круговою траєкторією, де β - значення кута, за яким відбувається переріз ОК.

При певному значенні кута відбувається формування відповідного перерізу (рис. 2.9). При будь-якому значенні β переріз має вигляд прямокутника зі сторонами d та A (рис. 2.9). Отже, величина сторони перерізу A залежить від кута β .

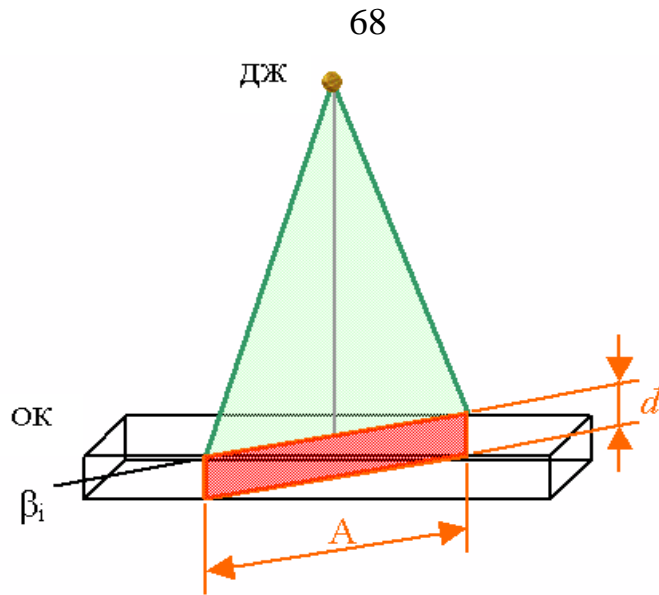


Рис. 2.9 Формування перерізу ОК

При коловій траєкторії сканування доцільно для подальшої роботи використовувати циліндричну систему координат.

При використанні циліндричної системи координат, лінійний параметр z залежить від значення, яке відміряється на полярній осі та від кута поміж нульовим та заданим напрямками полярної осі (рис. 2.10).

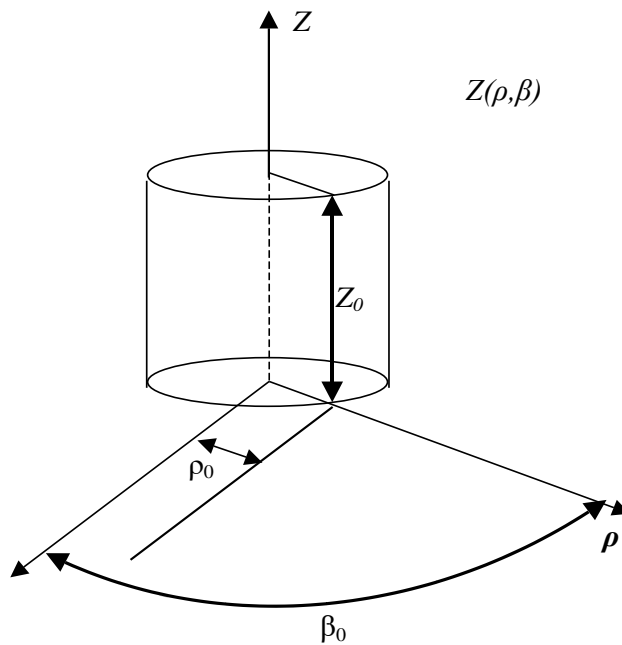


Рис. 2.10. – Циліндрична система координат

Далі для зручності формування функцій перехід від циліндричної системи координат з аргументами β та ρ до декартової системи координат з аргументами ξ та η і навпаки дають такі вирази:

$$\xi = \rho \cos \beta, \quad \eta = \rho \sin \beta \quad (2.17)$$

$$\beta(\xi, \eta) = \arctg \frac{\eta}{\xi}, \quad \rho(\xi, \eta) = \sqrt{(\xi^2 + \eta^2)} \quad (2.18)$$

При зміні кута β змінюється і величина сторони A . Тому A залежить від координат (ξ, η) .

Тепер розглянемо процес формування “тіні” для деякого перерізу (рис. 2.18).

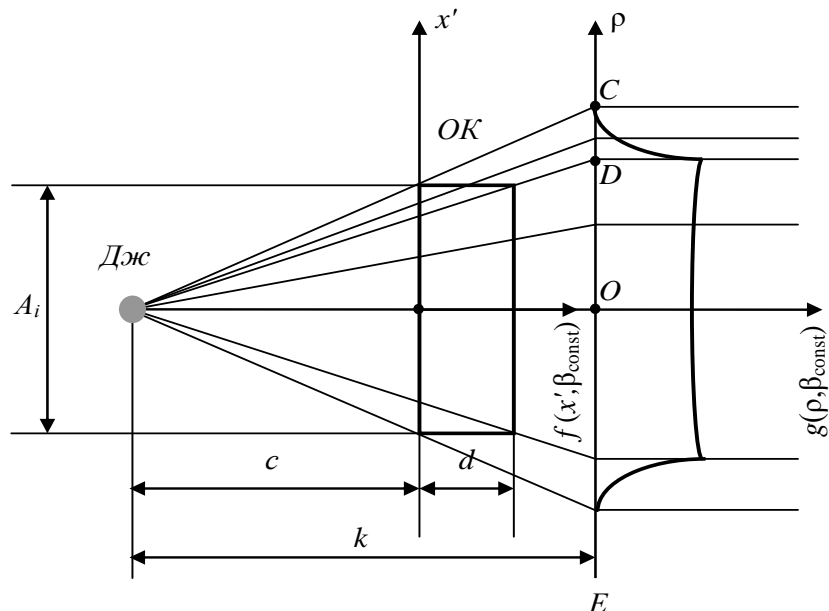


Рис. 2.11. Формування “тіні” для певного значення кута β

Скорочення: *Дж* – джерело випромінювання; *ОК* – об’єкти контролю; *Е* – екран

Припустимо, що кут β має сталі значення $\beta = \beta_{\text{const}}$. Кут β на кожному перерізі має сталі значення. Тоді сторони перерізу будуть дорівнювати d та A_{const} . Функція $g(\rho, \beta)$ для сталого значення β визначається добутком показнику поглинання випромінювання α та відстанню, яку пройшов промінь у матеріалі

ОК. На рисунку 2.11 ілюструється випадок для $\alpha = 1$. Після деяких перетворень одержимо формули залежності функції g від координат ξ та η :

для $-OC < p < -OD$, та для $OD < p < OC$:

$$g(p, \beta_{\text{const}}) = \left(A - |p| \frac{c}{k} \right) \sqrt{1 + \left(\frac{k}{p} \right)^2}, \quad (2.19)$$

для $-OD < p < OD$

$$g(p, \beta_{\text{const}}) = d \sqrt{1 + \left(\frac{p}{k} \right)^2}. \quad (2.20)$$

Уявний розподіл візуалізованого параметру для певного перерізу є двовимірною функцією та має наступний наближений вигляд наведений на рис. 2.12.

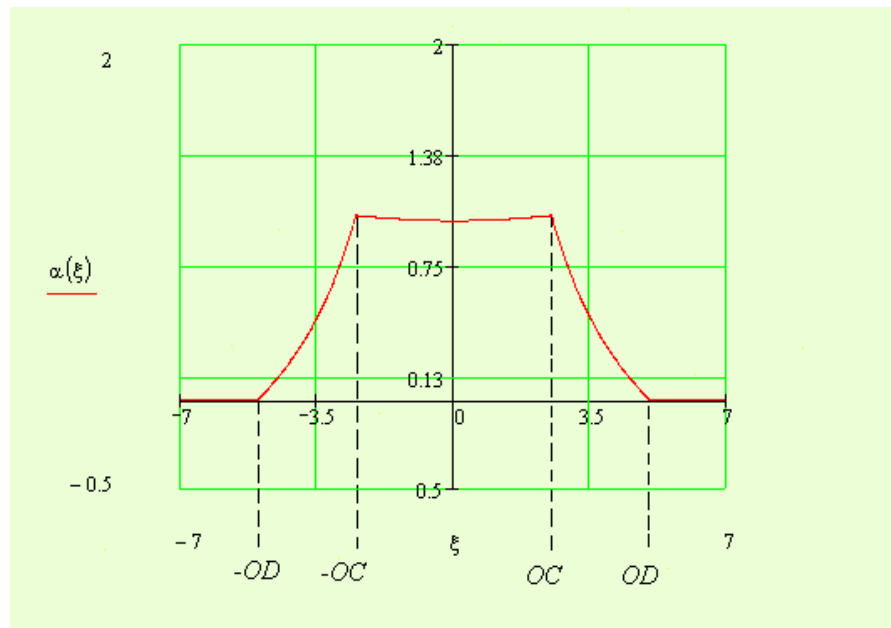


Рис. 2.12. Переріз тіньового зображення паралелепіпеду

Для зменшення часу обчислення справжнього просторового розподілу потрібно зменшити кількість кроків дискретизації. Цей параметр по осях Ox та Oy позначається літерами i та j відповідно. Тобто, якщо $i = 0 \dots 50$, а $y = 0 \dots 100$

функція буде обчислюватись при п'ятдесяти значеннях x та ста значеннях y , а всього функція матиме $50 \times 100 = 5000$ значень.

Область обчислення функції визначається значеннями x_i та y_j :

- значення нижньої границі відповідає першому доданку виразу;
- значення верхньої границі чисельнику другого доданку виразу.

Тобто, щоб збільшити область обчислення функції треба зменшити перший доданок та збільшити другий.

Згідно із законом Бугера, інтенсивність випромінювання, яке поширюється в однорідному середовищі ($a = \text{const}$) описується наступним виразом:

$$|E|^2 = E_0^2 \exp(-\alpha x),$$

де α - показник поглинання випромінювання у матеріалі ОК;

x - відстань, на яку поширилась хвиля.

Отримана функція $g(\xi, \eta)$ відповідає показникові поглинання випромінювання α . Таким чином кольорове зображення на екрані монітору відповідатиме не дійсній, а прологарифмованій інтенсивності прийнятого випромінювання. Таке зображення ще називають зображенням з логарифмічним підсиленням.

Функція, що відповідатиме дійсному розподілові інтенсивності прийнятого випромінювання отримаємо за формулою:

$$\delta(\xi, \eta) = e^{-\alpha(\xi, \eta)} \quad (2.21)$$

2.4 Побудова аналітичної моделі оптичного зображення внутрішньої структури ОК при використанні лінійного джерела випромінювання

Як зазначалося у першому розділі, сканування об'єкту може проводитися різними методами. Розробимо метод сканування ОК, який буде доцільним при використанні джерела випромінювання лінійної геометрії. Для лінійного джерела задамо рівняння циліндричної хвилі.

$$U(r,t) = H_0(kr) \cdot e^{i\omega t} \quad (2.22)$$

де $H_0(kr)$ - функція Ганкеля нульового порядку.

На великих відстанях від осі, тобто при $kr \rightarrow 1$ хвильове поле набуває вигляду.

$$U(\vec{r},t) = \frac{U_0}{\sqrt{r}} \cdot e^{j(\omega t - kr)} \quad (2.23)$$

де r – відстань від джерела до точки, яка нас цікавить; $\frac{A}{r}$ – спадна амплітуда коливань; ω - кутова частота; i – уявна одиниця; k – хвильове число.

Використовуємо наведенні вище вирази для формування тіні при лінійному опроміненні ОК.

Для визначення положення джерела випромінювання, ОК та екрану доцільною є робота в декартовій системі координат.

Об'єкт контролю розташуємо таким чином, щоб початок координат розміщувався всередині нього. Площину екрану розмістимо в півпросторі $z > 0$ та перпендикулярно осі O_z , джерело випромінювання в півпросторі $z < 0$ паралельно осі O_y у площині ${}_yO_z$.

Розробимо метод сканування ОК, який буде доцільним при використанні джерела випромінювання лінійної геометрії. Нехай деяким значенням координати y визначається положення площини, в якій пересувається промінь сканування (рис. 2.13). Тоді конкретне положення променя визначається координатою x заданої декартової системи. Іншими словами, промінь скануватиме простір при послідовній зміні значень x та y . Цей вид сканування визначимо, як сканування за лінійною траєкторією.

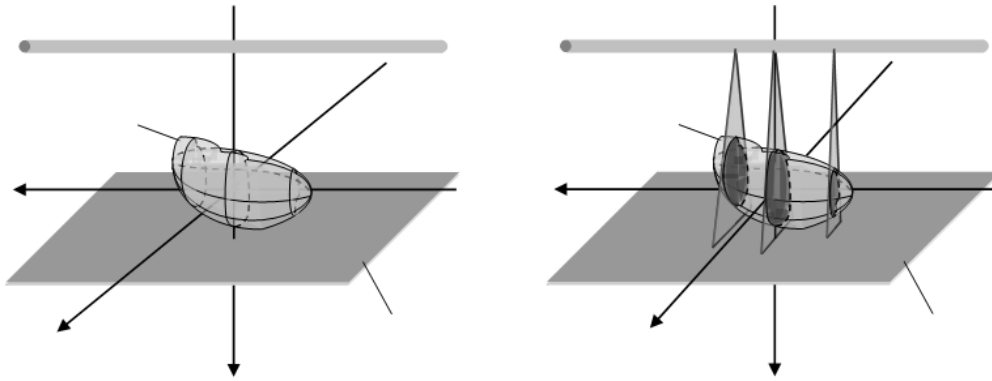


Рис. 2.13. сканування ОК при використанні джерела випромінювання лінійної геометрії

Внутрішню візуалізацію ОК після електромагнітного опромінення точковим джерелом опромінення можна представити у такому вигляді:

$$Z(x,y) = \int_x U(k(x)), b_0(x) V(C, G(x,y)), P, A(x,y)) dx,$$

де Z - екран на якому відображається внутрішня структура ОК ; V – фізична функція об'єкта (аналог імпульсної характеристики).

Аналітичні моделі отримання оптичного зображення внутрішньої структури ОК, побудовані на основі розробленого вище методу сканування та приведені у додатку 2 .

У випадку, коли об'єктом контролю є циліндр, при побудові оптичного зображення для кожного значення координати y формується певний переріз. Усі перерізи мають форму прямокутника зі сторонами d та A , де A обчислюється за формулою:

$$A(y) = \begin{cases} \left\lfloor \sqrt{r^2 - y^2} \right\rfloor, & \text{якщо } y \in [-r \leq y \leq r] \\ 0, & \text{для } y \notin [-r \leq y \leq r] \end{cases} . \quad (2.24.)$$

Приклад графіку залежності величини сторони перерізу A від координати y подано на рис. 2.14.

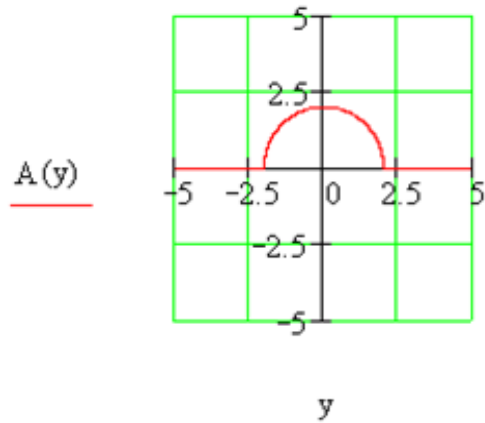


Рис. 2.14 Графік залежності величини сторони перерізу A від координати y

Аналогічно, для кожного значення координати η формується переріз “тривимірної тіні”. В результаті отримуємо тривимірний розподіл візуалізованого параметру, який подано на рис. 2.15.

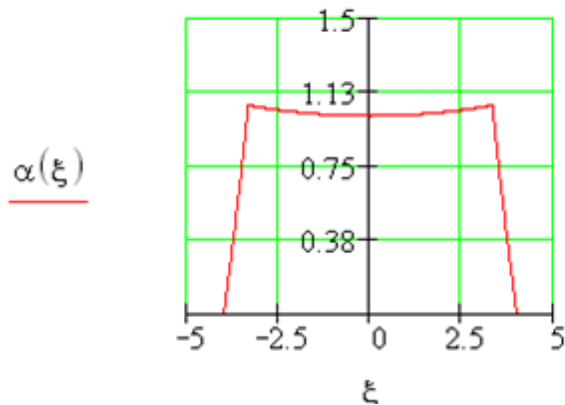


Рис. 2.15. Приклад уявного розподілу візуалізованого параметру для певного значення координати η

Для випадків, коли об’єкт контролю є паралелепіпедом або кулею, аналітичні моделі отримання оптичного зображення внутрішньої структури ОК будуються за таким же принципом.

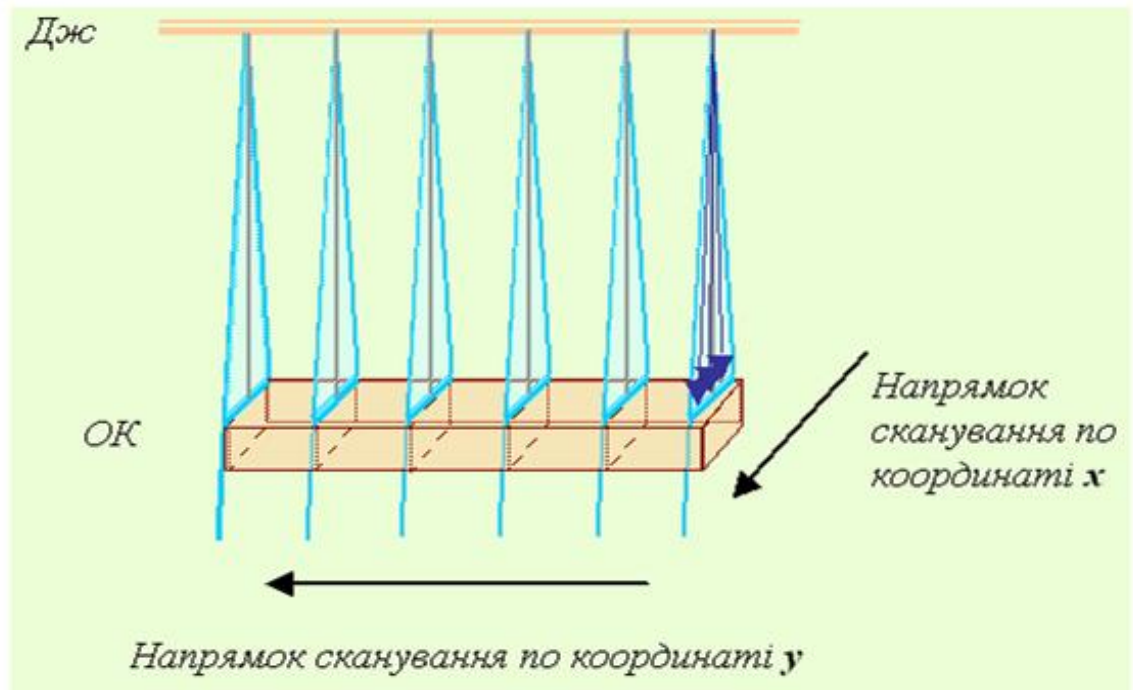


Рис. 2.16. Сканування ОК по лінійній траєкторії

Промінь скануватиме об'єкт контролю, при послідовній зміні координат x та y , як показано на рис. 2.16.

За формулами, які наведені у додатку, обчислюється уявний просторовий розподіл коефіцієнту згасання $\alpha(\xi, \eta)$.

2.5 Побудова аналітичної моделі оптичного зображення внутрішньої структури ОК при використанні площинного джерела випромінювання

При використанні джерела випромінювання площинної геометрії, сканування ОК відбувається за допомогою послідовної зміни координат x та y декартової системи (рис. 2.17). Спотворення зображення, які проявляються у вигляді бічного ефекту, не спостерігаються. Однак, у загальному випадку всі зображення внутрішньої структури ОК, які отримуються в інтроскопічних системах, спотворюються завадами, які виникають на всіх етапах процесу візуалізації.

Розробимо метод сканування ОК, який буде доцільним при використанні джерела випромінювання площинної геометрії. Для площинного випромінювання рівняння плоскої хвилі має вигляд.

$$A(r,t) = A_0 \cos(\omega t - kx + \varphi) \quad (2.25)$$

де A_0 – амплітуда коливань; ω – кутова частота; k – хвильове число, x – відстань від джерела до точки хвилі вздовж осі абсцис.

Будемо використовувати вирази (2.22–2.25) для формування тіні при лінійному опроміненні ОК.

Внутрішню візуалізацію ОК після електромагнітного опромінення площинним джерелом опромінення можна представити у такому вигляді:

$$Z(x,y) = U(d) e^{-V(C,G(x,y),P,A(x,y))} \quad (2.26)$$

де Z – екран на якому відображається внутрішня структура ОК; V – фізична функція об'єкта (аналог імпульсної характеристики).

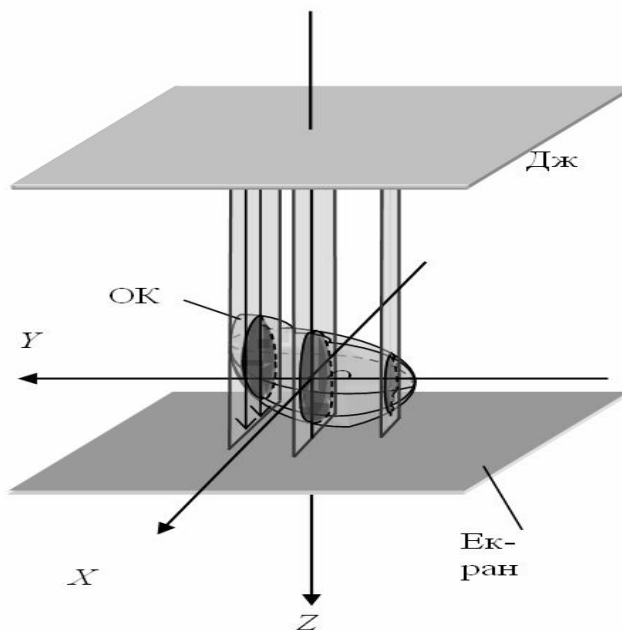


Рис. 2.17. Сканування ОК при використанні площинного джерела випромінювання

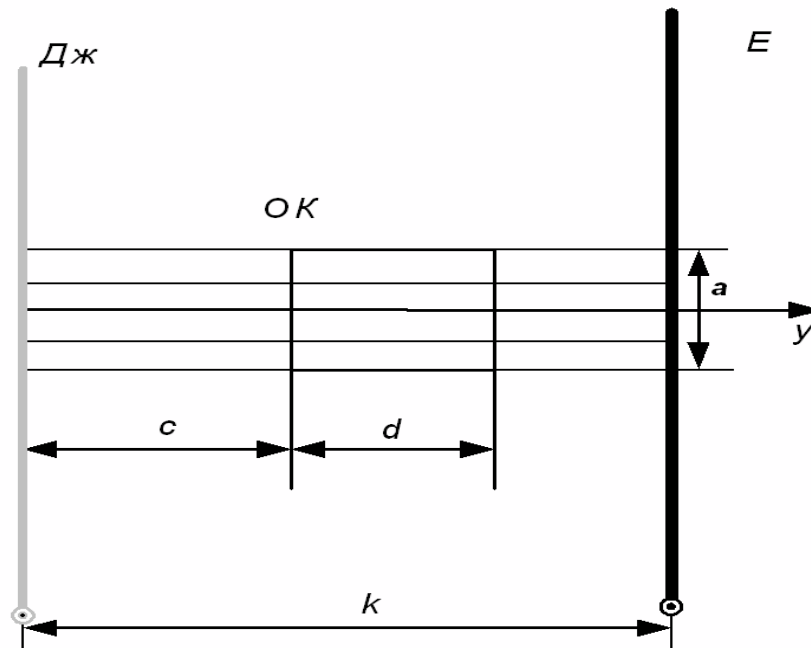


Рис. 2.18. Геометричні параметри системи: Дж – лінійне джерело випромінювання; ОК – об’єкт контролю; Е – екран; а та b – сторони ОК; k – відстань від джерела випромінювання до екрану; d – товщина шару ОК; c – відстань від джерела випромінювання до ОК

2.6 Синтез аналітичної моделі зображення внутрішньої структури ОК, який розташовано зі зсувом відносно осі симетрії точкового джерела випромінювання

2.6.1 Процедура опромінення ОК

Розглянемо випадок отримання зображення внутрішньої структури, коли ОК розташовано зі зсувом відносно осі симетрії точкового джерела випромінювання.

Припустимо ОК є паралелепіпедом, виготовленим з одного матеріалу. Задамо параметри системи:

$$a = 1; b = 6; k = 2; d = 1; c = 1; \alpha = 1; x_1 = 7; y_1 = 4$$

де a - сторона ОК; b - сторона ОК; k - відстань від джерела випромінювання до екрану; d - товщина шару ОК; c - відстань від джерела випромінювання до ОК; α - коефіцієнт затухання випромінювання у матеріалі ОК; x_1 – величина зсуву центру ОК відносно початку координат по осі O_x ; y_1 – величина зсуву центру ОК відносно початку координат по осі O_y .

Для спрощення формул розподілу візуалізованого параметру введемо умову, що

$$x_1 > \frac{a}{2} \text{ та } y_1 > \frac{b}{2}$$

Процес сканування заданого ОК відображено на рис. 2.18.

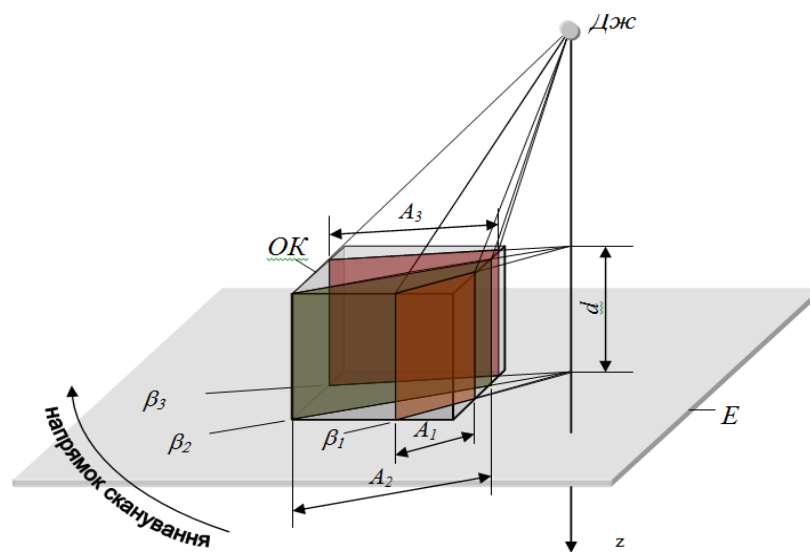


Рис. 2.18. Формування перерізів для певних значень кута β під час сканування заданого ОК

На рис 2.18 зроблені наступні позначення: β_i – заданий кут сканування, A_i – довжина перерізу ОК за заданим кутом сканування, d – висота ОК, E – екран.

При будь-якому значенні β_i переріз має вигляд прямокутника зі сторонами d та A_i .

При зміні кута β змінюється і величина сторони A . Тому A залежить від координат (ξ, η) .

За допомогою наступних формул врахуємо величину зсуву та перейдемо до циліндричної системи координат:

$$A_{\max} = \left(1 - \frac{x_1 - \frac{a}{2}}{x_1 + \frac{a}{2}} \right) \sqrt{\left[\left(x_1 + \frac{a}{2} \right)^2 + \left(y_1 + \frac{b}{2} \right)^2 \right]} \quad (2.27)$$

$$od = \frac{k \left(x_1 + \frac{A_{\max}}{2} \right)}{c}, \quad u = \frac{od}{2},$$

$$\xi_n(\xi, \eta) = \frac{\xi \left(-u + \sqrt{\xi^2 + \eta^2} \right)}{\sqrt{\xi^2 + \eta^2}}, \quad \eta_n(\xi, \eta) = \frac{\eta \left(-u + \sqrt{\xi^2 + \eta^2} \right)}{\sqrt{\xi^2 + \eta^2}}$$

$$\beta(\xi, \eta) = \arctg \frac{\eta_n(\xi, \eta)}{\xi_n(\xi, \eta)}$$

$$\xi_2(\xi, \eta) = \sqrt{\left[\xi_n(\xi, \eta) \right]^2 + \left[\eta_n(\xi, \eta) \right]^2}$$

Виведемо функцію залежності сторони перерізу A від координат ξ та η (рис. 2.19).

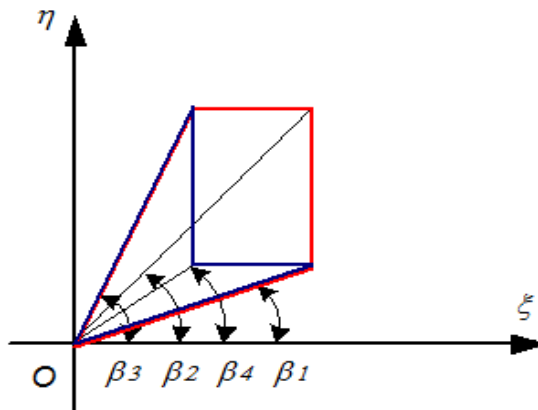


Рис. 2.19. Функція $A(\xi, \eta)$

Величина кутів β_1 , β_2 , β_3 , β_4 , визначається наступним чином:

$$\beta_1 = a \tan \left(\frac{y_1 - \frac{b}{2}}{x_1 + \frac{a}{2}} \right), \quad \beta_2 = a \tan \left(\frac{y_1 + \frac{b}{2}}{x_1 + \frac{a}{2}} \right),$$

$$\beta_3 = a \tan \left(\frac{y_1 + \frac{b}{2}}{x_1 - \frac{a}{2}} \right), \quad \beta_4 = a \tan \left(\frac{y_1 - \frac{b}{2}}{x_1 - \frac{a}{2}} \right).$$

Червоним кольором на рисунку відображено функцію $A_1(\xi, \eta)$, синім – функцію $A_2(\xi, \eta)$.

2.6.2 Дослідження особливостей впливу крайового ефекту на характеристики внутрішньої візуалізації ОК

При побудові тіньових проєкцій за допомогою джерел випромінювання із сферичними або частково сферичними (циліндричними) фазовими площинами випромінювання спостерігається крайовий ефект. У цьому випадку навіть для об'єктів, які мають однакові розміри за якоюсь координатою, проєкція матиме напівтона.

Приймаючи до уваги прозорість об'єктів для випромінювання джерела, а також його точковість, тіньова проєкція матиме незвичний характер. Наприклад, просвічуваний точковим джерелом, куб матиме тривимірну тінь, яка зображена на рис. 2.20.

Після аналого-цифрового перетворення ординат або логарифмів ординат цього тіла та нанесення ізоліній на площину зображення з наступною заливкою відтінками сірої або кольорової шкали ми отримаємо плоске зображення проєкції просвічуваного тіла. Зазвичай вона матиме мало спільного з очікуваною тінню. Ці геометричні спотворення тіньових проєкцій ОК властиві точковим джерелам, у меншому ступені – лінійним, але всі технічні генератори випромінювання мають ширококутні конусні діаграми направленості з

нелінійними фронтами випромінювання. Тому доводиться вживати спеціальні технічні заходи для усунення цих недоліків.

Всі твірні тіла проекції криві, вони розраховуються за алгебраїчними формулами для кожного перерізу тіла. Формули, які пов'язують затухання випромінювання на кожному радіусі з координатами зображення, можна вивести, наприклад, для паралелепіпеда з геометричних співвідношень (рис. 2.7).

Обчислимо крайовий ефект для шару А. Як видно із рисунка для обчислення крайового ефекту потрібні дві формули: одна працює на ділянці FF3 (2.9), а друга на ділянці F3F4 (2.10)

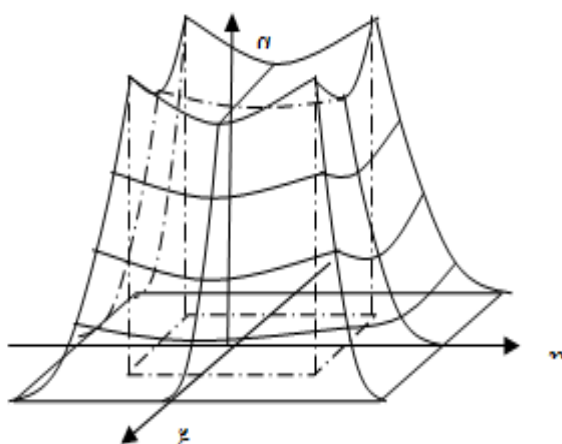


Рис. 2.20 Тіло затухання α випромінювання точкового джерела в ізотропному кубі в координатах площини зображення

$$SFF3 = \frac{OB - OA}{\cos\left(\arctg \frac{|FF_i|}{OF}\right)} \quad (2.28)$$

$$SF_{3F4} = \frac{3}{\sin(\arctg \frac{|FF_i|}{OF})} - \frac{OA}{\cos(\arctg \frac{|FF_i|}{OF})}. \quad (2.29)$$

Помноживши шлях, який пройшов промінь через ОК на його питоме затухання ми отримаємо залежність загального коефіцієнту затухання у шарі від координати ξ , формули (2.11) та (2.12).

$$\alpha_{FF3} = \frac{OB-OA}{\cos(\arctg \frac{|FF_i|}{OF})} * \alpha_2 \quad (2.30)$$

$$\alpha_{F3F4} = \left(\frac{3}{\sin(\arctg \frac{|FF_i|}{OF})} - \frac{OA}{\cos(\arctg \frac{|FF_i|}{OF})} \right) * \alpha_2 \quad (2.31)$$

Аналіз формул (2.10), (2.11) показує, що для всіх видів ОК зі зменшенням відстані від них до екрану зменшується ступінь спотворення зображення. Це проявляється у зменшенні розмірів напівтіні та крайового ефекту. Також крайовий ефект значно зменшується із збільшенням відстані від ОК до точкового джерела випромінювання. Це пояснюється тим, що діаметр фронту хвиль, випромінюваних джерелом, стає тим більшим, чим більша відстань до джерела, тобто фронт хвиль стає ближчим до лінійного. Аналіз різних тыньових зображень ОК дає можливість зробити висновок, що наближення ОК до екрану є більш дієвим засобом боротьби зі спотвореннями, ніж віддалення джерела випромінювання від екрану. Слід також вказати, що чим більшими є розміри ОК, тим більше відбувається спотворень зображення.

Внаслідок спотворення геометричні форми ОК, які мають бути лінійними, набувають деякого викривлення. В залежності від параметрів системи вони можуть стати опуклими або увігнутими.

У випадку логарифмічного підсилення лінійні елементи зображень набагато менше викривлені, а розміри ОК відображаються точніше. Також при логарифмічному підсиленні більш чітко відображаються дрібні деталі ОК.

Як відомо в системах візуалізації з лінійним джерелом випромінювання, розташованим паралельно осі Oy декартової системи координат, відбуваються спотворення зображення вздовж осі Ox . Вздовж осі Oy спотворень не відбувається. Отже, зображення, отримані за допомогою лінійного джерела випромінювання, є менш спотвореними ніж зображення, отримані при використанні точкового джерела.

Найефективнішим засобом в боротьбі з крайовим ефектом є використання площинного джерела випромінювання.

2.7 Висновки до розділу

1. Основною задачею візуалізації ОК на предмет виявлення небезпечних артефактів є розроблення аналітичних моделей отримання візуалізаційного зображення внутрішньої структури ОК, аналізування спотворень, які отримують зображення в залежності від параметрів системи візуалізації та типу джерел випромінювання. Ці спотворення мають бути враховані та скориговані під час проектування нових більш досконалих інтроскопічних систем.

2. Метод візуалізації внутрішньої структури 3D-багатovidу ОК, розроблений у цій роботі, дозволяє отримати зображення внутрішньої структури, тобто тінь опроміненого ОК 3D-багатovidу з застосуванням моделі схеми та типу опромінення. Цей метод можна застосовувати у різних галузях: САБ, медицині, промисловості тощо. Він може сприяти підвищенню ймовірності правильного виявлення небезпечних предметів та зменшення хибних спрацьовувань у доглядових пунктах САБ.

Розроблений у роботі геометричний метод отримання тіньових зображень об'єктів контролю, дозволяє отримувати внутрішню структуру ОК за допомогою проекційної геометрії та закону Бугера.

Контролююча система має складатися з переліку певних агрегатів інтроскопу, опису структури та типу джерел первинного опромінення.

Список публікацій здобувача:

1. Терещенко Л.Ю. Побудова аналітичних моделей отримання оптичного зображення внутрішньої структури об'єктів контролю / Семенов О.О./ Електроніка та системи управління: Вісник ІЕСУ.–№1(11).–2007.–С.212-218

2. Терещенко Л.Ю. Построение аналитических моделей получения оптического изображения внутренней структуры объекта контроля / Водний транспорт. Збірник наукових праць.–№3(21).–2014.–С.60-65

3. Терещенко Л.Ю. Теоретичні основи та принципи побудови технічних засобів служби авіаційної безпеки / Семенов О.О., Соломенцев О.В., Заліський М.Ю., Хмелько Ю.М./ навчальний посібник.–2016.

4 Tereshchenko L. J. Method for optical imaging of the three-dimensional manifold structure / Shepizhenko V. I/ Electronics and Control Systems 2017. N 2(52): 16-19

Матеріали конференцій

IX Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2009» IX Міжнародна НТК «АВІА–2009» (Київ, 2009); X Міжнародна НТК «АВІА–2011» (Київ, 2011); «Statistical Methods of Signal and Data Processing (SMSDP-2010)»: International Conference, Kiev, Ukraine, October 13-14, 2010, VIII Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2008» (Київ, 2008); IX Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2009» (Київ, 2009); X Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2010» (Київ, 2010); XI Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2011» (Київ, 2011); XII Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2012» (Київ, 2012).

3 ПОБУДОВА АНАЛІТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОПТИЧНОГО ЗОБРАЖЕННЯ ВНУТРІШНЬОЇ СТРУКТУРИ ОК РІЗНОЇ ФОРМИ ТА СКЛАДНОСТІ

Загальні методи побудови аналітичних моделей отримання оптичного зображення внутрішньої структури ОК були розроблені у другому розділі. У цьому розділі розроблені аналітичні моделі отримання оптичного зображення внутрішньої структури ОК різної форми та складності та на їх основі проаналізовані спотворення, які набувають зображення в залежності від параметрів системи візуалізації та типу джерел випромінювання. Ці спотворення необхідно враховувати у проектуванні нових більш досконалих інтроскопічних систем.

Можна стверджувати, що всім методам прямої візуалізації притаманні однотипні операції: опромінення ОК первинним випромінюванням (у випадку активного метода), прийом вторинного (розсіяного чи того, яке пройшло крізь об'єкт) випромінювання, перетворення його в електричний сигнал, обробка та перетворення електричного сигналу в оптичний сигнал. Тому всі системи прямої візуалізації можливо подати однією узагальненою структурною схемою (рис. 2.1). Ця схема інтроскопічної системи взята за основу створення моделей внутрішньої структури ОК.

3.1 Побудова аналітичних моделей отримання оптичного зображення внутрішньої структури довільних об'єктів контролю

3.1.1 Візуалізація внутрішньої структури паралелепіпеду при використанні точкового джерела випромінювання

Побудова аналітичної моделі зводиться до обчислення проективного зображення ізотропного об'єкту при гомогенному опроміненні точковим джерелом розташованим на осі симетрії об'єкту перпендикулярно площині зображення.

Якщо джерело випромінювання, яким опромінюється ОК має точкову геометрію, то фронт хвиль, які випромінює це джерело має сферичну форму. Об'єктом контролю є паралелепіпед. Для цього випадку задамо геометричні параметри системи (рис. 3.1.).

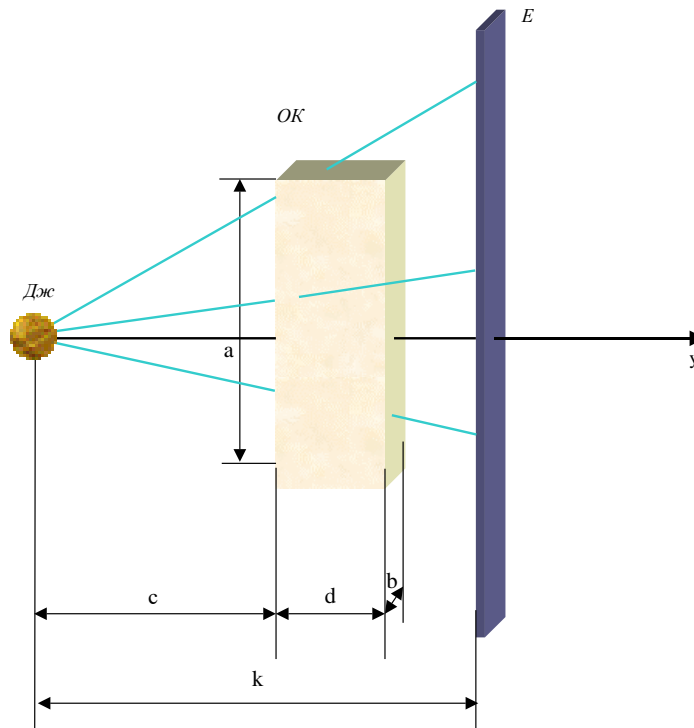


Рис. 3.1. Геометричні параметри системи

Дж – точкове джерело випромінювання; *ОК* – об'єкт контролю; *Е* – екран; *a* – сторона ОК; *b* – сторона ОК; *k* – відстань від джерела випромінювання до екрану; *d* – товщина шару ОК; *c* – відстань від джерела випромінювання до ОК; α – коефіцієнт згасання випромінювання у матеріалі ОК.

У моделі є можливість довільно змінювати геометричні параметри системи. Для цього необхідно виділити необхідний параметр та змінити його числове значення

$$a = 1; b = 2; k = 10; d = 1; c = 1; \alpha = 1.$$

Геометрично ОК є паралелепіпедом, виготовленим з одного матеріалу. Отже, в межах цього паралелепіпеду коефіцієнт згасання α є сталим, і задається чисельно. За межами цього паралелепіпеду коефіцієнт згасання дорівнює нулю.

Припустимо, що числові значення a, b, c, d, k можна довільно змінювати.

Виконаємо математичне формування двовимірної функції, яка описує справжній просторовий розподіл візуалізованого параметру $f(x, y)$.

Отже, по осі Ox відкладається задана величина a , по осі Oy - величина b , по осі Oz - величина d . Виходячи з цього, функція справжнього просторового розподілу матиме вигляд:

$$f(x, y) = \begin{cases} d & \text{if } \frac{-a}{2} \leq x \leq \frac{a}{2} \wedge \frac{-b}{2} \leq y \leq \frac{b}{2} \\ 0 & \text{if } x < \frac{-a}{2} \vee x > \frac{a}{2} \vee y < \frac{-b}{2} \vee y > \frac{b}{2} \end{cases} \quad (3.1)$$

Візуалізація цієї тривимірної функції може проводитися двома способами. Обидва ці способи базуються на дискретизації аргументів та обчисленні кінцевої кількості значень функції при отриманих значеннях аргументів.

При використанні першого способу візуалізації тривимірної функції задати область значень аргументів та кількість кроків дискретизації можна на спеціальній вкладці, де задаються деякі властивості графіку, який візуалізується. Однак при кожній зміні числових значень вихідних даних для обчислення функції (в даному випадку a, b, c, d, k) скоріше за все буде необхідно змінювати й область значень аргументів та кількість кроків дискретизації. Це значно підвищує час візуалізації функції.

Для усунення цього недоліку використаємо другий спосіб візуалізації функції. Для цього сформуємо матрицю M , яка міститиме значення функції обчислені за множиною дискретних значень аргументів (x_i, y_j) . Ця матриця формується за допомогою наступних виразів:

$$i \in [0;40] \quad x_i = \left(-1 - \frac{a}{2}\right) + \frac{2\left(1 + \frac{a}{2}\right)}{40} i, \quad (3.2)$$

$$j \in [0;40] \quad y_j = \left(-1 - \frac{b}{2}\right) + \frac{2\left(1 + \frac{b}{2}\right)}{40} j, \quad (3.3)$$

$$M_{i,j} = f(x_i, y_j), \quad (3.4)$$

де i та j – кількість кроків дискретизації аргументів x та y відповідно.

Таким чином, в цьому випадку при зміні значень вихідних даних область визначення функції змінюється автоматично.

Графік функції $f(x, y)$ представлено на рис. 3.2.

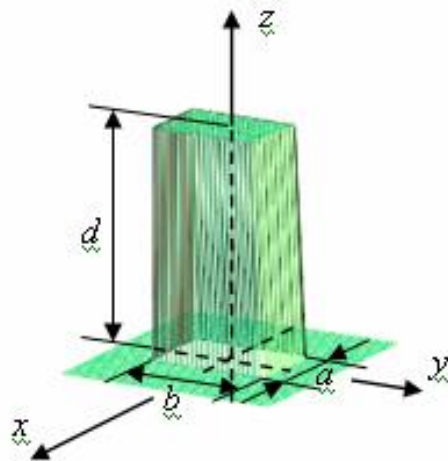


Рис. 3.2. Графік функції, який описує справжній просторовий розподіл візуалізованого параметру

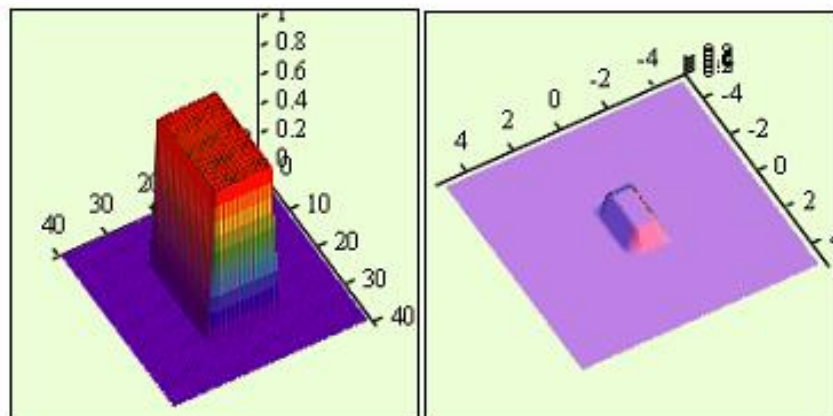


Рис. 3.3. Паралелепіпед спроектований у середовищі *MathCad*

Область обчислення функції на цих графіках задається зміною параметрів цих об'єктів у програмі.

Далі для зручності формування функцій перейдемо від циліндричної системи координат з аргументами β та ρ до декартової системи координат з аргументами ξ та η . Програмно ця операція здійснюється за допомогою використання таких формул:

$$\beta(\xi, \eta) = \text{artg} \frac{\eta}{\xi} \quad (3.5)$$

$$\xi^2(\xi, \eta) = \sqrt{(\xi^2 + \eta^2)} \quad (3.6)$$

При зміні кута β змінюється і величина сторони A . Тому A залежить від координат (ξ, η) . Обчислення запрограмовані у середовищі *MathCAD*.

Тепер розглянемо процес формування “тіні” для деякого перерізу (рис.3.4)

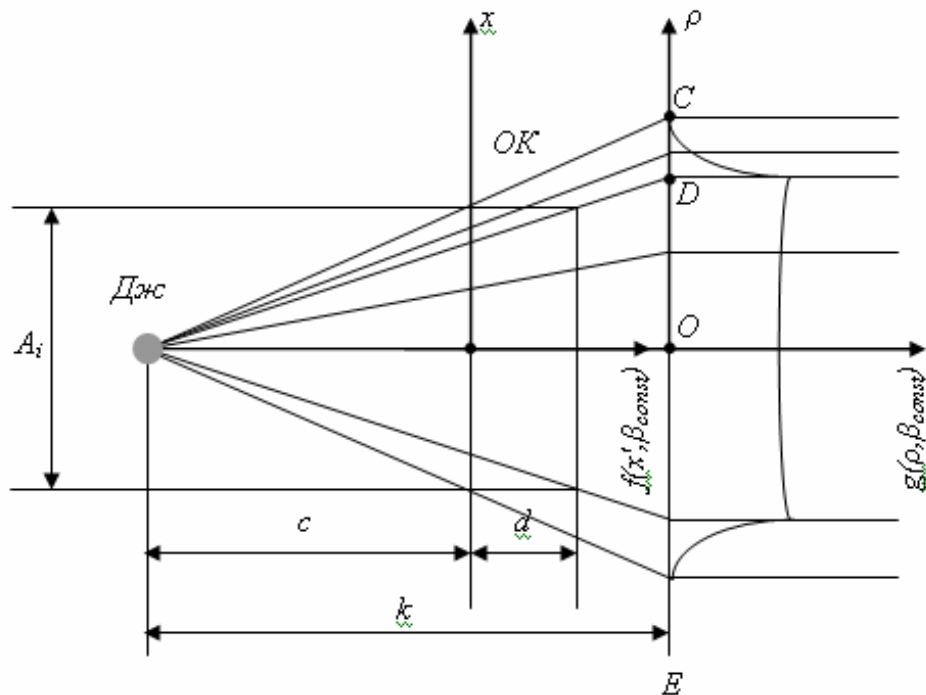


Рис. 3.4. – Формування “тіні” для певного значення кута β

Скорочення: $D_{ж}$ – джерело випромінювання; OK – об’єкти контролю; E – екран

Припустимо, що кут β має сталі значення $\beta = \beta_{\text{const}}$. Тоді сторони перерізу будуть дорівнювати d та A_{const} . Функція $g(p, \beta)$ для сталого значення β визначається добутком показнику поглинання випромінювання α та відстанню, яку пройшов промінь у матеріалі ОК. Проілюстрований випадок для $\alpha = 1$. Після деяких перетворень одержимо формули залежності функції g від координат ξ та η :

для $-OC < p < -OD$, та для $OD < p < OC$:

$$g(p, \beta_{\text{const}}) = \left(A - |p| \frac{c}{k} \right) \sqrt{1 + \left(\frac{k}{p} \right)^2}, \quad (3.7)$$

для $-OD < p < OD$

$$g(p, \beta_{\text{const}}) = d \sqrt{1 + \left(\frac{p}{k} \right)^2}. \quad (3.8)$$

При змінних координатах p та β , а отже при змінних координатах ξ та η , у програмі функція $g(\xi, \eta)$ має досить складний вигляд.

Уявний розподіл візуалізованого параметру для певного перерізу є двовимірною функцією та має наступний наближений вигляд наведений на рис. 3.5.

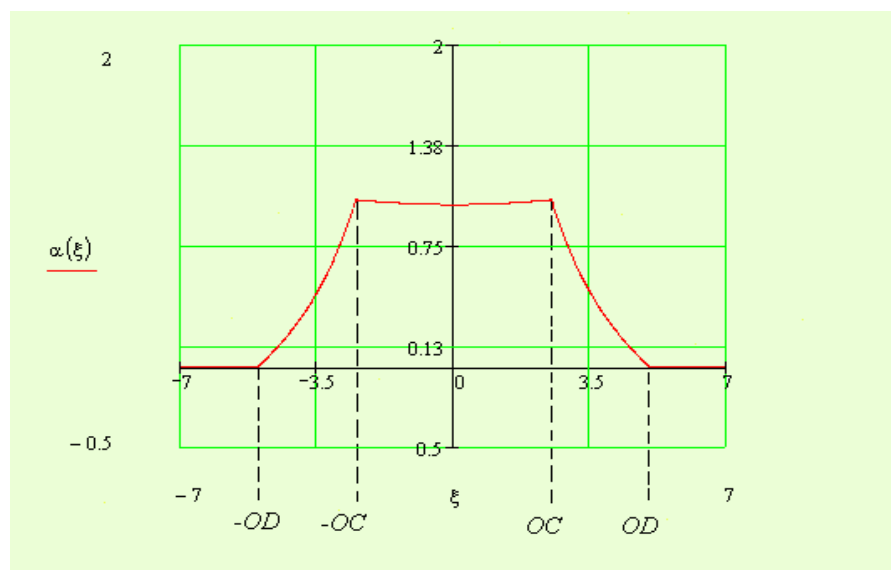


Рис.3.5. Циліндрична система координат

Уявний розподіл у перерізі формується за формулами:

$$A = \frac{a}{2 \cos(\gamma)}, \quad OC = k \frac{A}{e}, \quad prl = -OC - 1, \quad otr = 2OC + 1;$$

$$i \in [0;40], \quad x_i = prl2.5 + \frac{otr2.5}{40} i; \quad (3.9)$$

$$j \in [0;40], \quad y_j = prl2.5 + \frac{otr2.5}{40} j; \quad (3.10)$$

$$M_{i,j} = \alpha(x_i, y_j). \quad (3.11)$$

Для зменшення часу обчислення справжнього просторового розподілу потрібно зменшити кількість кроків дискретизації. Цей параметр по осях Ox та Oy позначається літерами i та j відповідно. Тобто, якщо $i = 0 \dots 50$, а $y = 0 \dots 100$ функція буде обчислюватись при п'ятдесяти значеннях x та 100 значеннях y , а всього функція матиме $50 \times 100 = 5000$ значень. Область обчислення функції визначається значеннями x_i та y_j : значення нижньої границі відповідає першому доданку виразу; значення верхньої границі чисельнику другого доданку виразу.

Тобто, щоб збільшити область обчислення функції треба зменшити перший доданок та збільшити другий.

Зображення внутрішньої структури ОК, який є паралелепіпедом із заданими параметрами, у тривимірному вигляді зображено на рис.3.6.

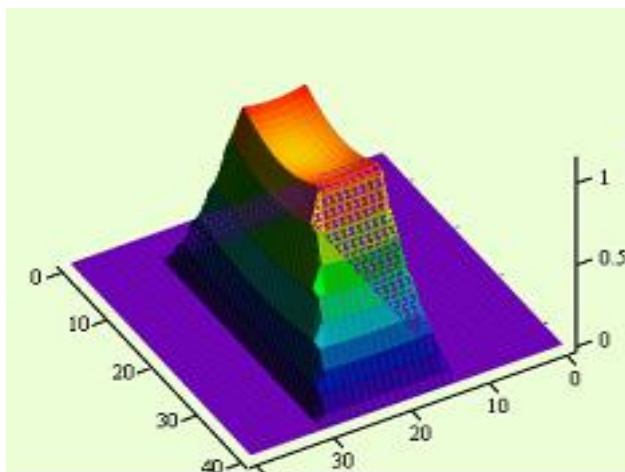


Рис.3.6. Зображення внутрішньої структури об'єкту контролю

Якщо оптичне зображення внутрішньої структури ОК подати у псевдокольоровій шкалі, воно матиме наступний вигляд:

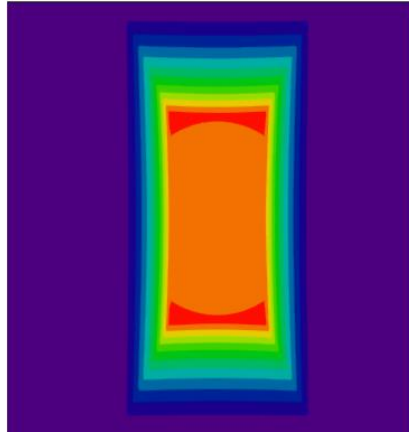


Рис. 3.7. Оптичне зображення внутрішньої структури ОК у псевдокольоровій шкалі

Псевдокольорове – це цифрове кодування у кольорах.

Згідно із законом Бугера, інтенсивність випромінювання, яке поширюється в однорідному середовищі ($\alpha = \text{const}$) описується наступним виразом:

$$|E|^2 = E_0^2 \exp(-\alpha x), \quad (3.11)$$

де α - показник поглинання випромінювання у матеріалі ОК;

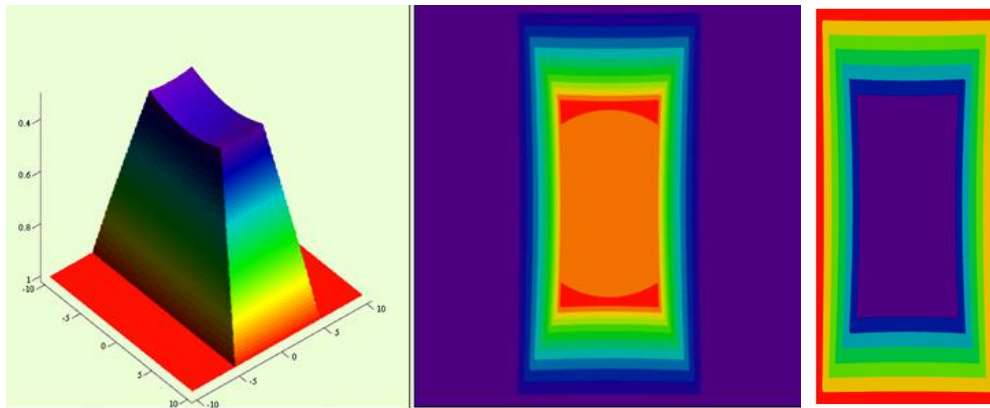
x - відстань, на яку поширилась хвиля.

Отримана функція $g(\xi, \eta)$ відповідає показникові поглинання випромінювання α . Таким чином кольорове зображення на екрані монітору відповідатиме не дійсній, а прологарифмованій інтенсивності прийнятого випромінювання. Таке зображення ще називають зображенням з логарифмічним підсиленням.

Функція, що відповідатиме дійсному розподілові інтенсивності прийнятого випромінювання отримаємо за формулою:

$$\delta(\xi, \eta) = e^{-\alpha(\xi, \eta)}. \quad (3.12)$$

Порівняємо оптичні зображення, виконані відносно псевдокольорової шкали у випадку використання логарифмічного підсилення та без нього.



a

б

Рис. 3.8. Графік функцій $g(\xi, \eta)$:

a – $g_{\text{дійсн}}(\xi, \eta)$; *б* – у відносній шкалі кольорів.

Оптичні зображення, виконані відносно псевдокольорової шкали у випадку використання логарифмічного підсилення – *a*) та без нього – *б*).

Графік тривимірної функції $g(\xi, \eta)$ зображено на рис. 3.8, *a*. Цей графік є так званою “тривимірною тінню” ОК, яка отримана в цій системі візуалізації з використанням точкового джерела випромінювання. Крім тривимірного відображення функції $g(\xi, \eta)$ на графіку також використано відображення у відносній шкалі кольорів.

Під час лінійного детектування сигналів максимальним є червоний колір фону, а під час логарифмічного – фіолетовий. Червоний колір у *MathCAD* є ознакою максимального сигналу.

Зображення на рис. 3.8 підтверджує припущення, що модель з логарифмічним підсиленням є менш спотвореним.

3.1.2 Модель візуалізації внутрішньої структури кулі

Розглянемо випадок, коли ОК є кулею, виготовленою з одного матеріалу. Припустимо, в межах цієї кулі коефіцієнт згасання α є сталим. За межами кулі коефіцієнт згасання дорівнює нулю. Аналітична модель отримання оптичного зображення внутрішньої структури даного ОК в середовищі *MathCad* будується аналогічно випадку розглянутому у підрозділі 3.24.1.

Задамо геометричні параметри системи візуалізації (рис. 3.9.).

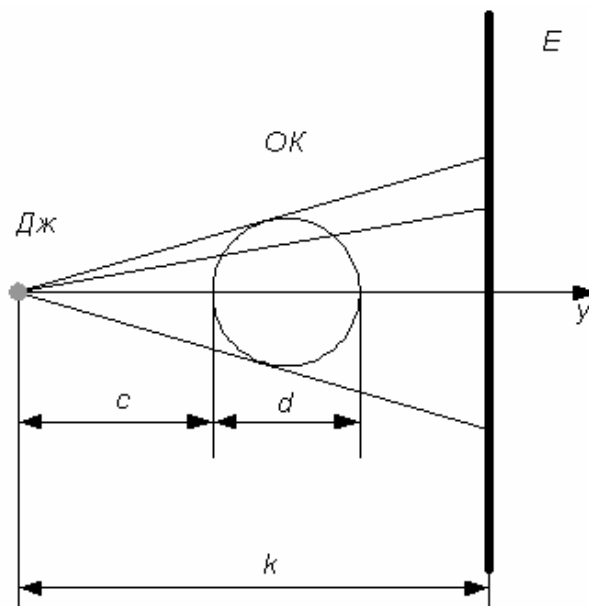


Рис.3.9. Геометричні параметри системи:

Дж - джерело випромінювання; *ОК* - об'єкт контролю; *Е* - екран. k - відстань від джерела випромінювання до екрану; c - відстань від джерела випромінювання до ОК; d - діаметр кулі; α - коефіцієнт згасання випромінювання у матеріалі ОК

Як і в попередньому випадку, є можливість довільно змінювати геометричні параметри системи. Для цього необхідно виділити мишкою необхідний параметр та змінити його числове значення.

$$k = 100, c = 50, d = 5, a = 2.$$

Далі відбувається математичне формування тривимірної функції, що описує справжній просторовий розподіл візуалізованого параметру $f(x, y)$.

Геометрично ОК є кулею, виготовленою з одного матеріалу. Отже, в межах цієї кулі коефіцієнт згасання α є сталим, і задається чисельно. За межами кулі коефіцієнт згасання дорівнює нулю.

$$X(i, j) = (\sin(j)\cos(i))d, Y(i, j) = (\sin(j)\sin(i))d, Z(i, j) = d \cos(j) \quad (3.13)$$

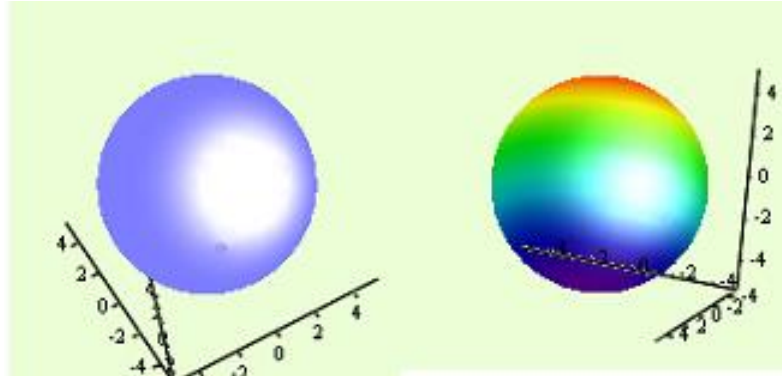


Рис. 3.10. Зображення кулі у середовищі *MathCad*

Сканування кулі відбувається аналогічно попередньому випадку візуалізації, коли ОК був паралелепіпед. При певному значенні кута β відбувається формування перерізу. При будь-якому значенні β переріз має вигляд кола діаметром d . Буде доцільно використовувати циліндричну систему координат для подальшої роботи.

В середовищі *MathCAD* перехід від декартової до циліндричної системи координат обчислюється за допомогою наступних формул:

$$b(x, h) = \operatorname{arctg} \frac{h}{x}, \quad x_2(x, h) = \sqrt{x^2 + h^2} \quad (3.14)$$

Уявний просторовий розподіл коефіцієнту згасання $\alpha(\xi, \eta)$ обчислюється за формулою:

$$AD = \frac{k \frac{d}{2}}{c + \frac{d}{2}}, \quad (3.15)$$

$$a(x, h) = \begin{cases} a_2 \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 - \frac{c^2 |x_2(x, h)|}{k^2} \left(\sin\left(\frac{p}{2} - \operatorname{arctg}\left(\frac{x_2(x, h)}{k}\right)\right) \right)^2} & \text{if } -AD \leq x_2(x, h) \leq AD \\ 0 & \text{if } AD \leq x_2(x, h) \leq -AD \end{cases} \quad (3.16)$$

Уявний розподіл візуалізованого параметру для певного перерізу є двовимірною функцією та має наступний наближений вигляд:

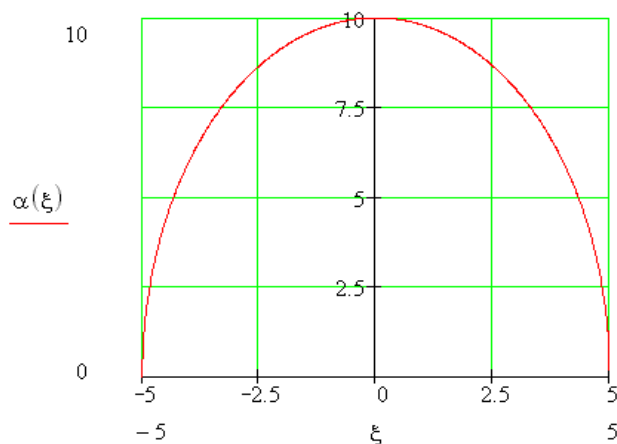


Рис. 3.11. Вигляд двовимірної функції для уявного розподілу візуалізованого параметру певного перерізу (ОК є кулею)

Зображення внутрішньої структури ОК, який є кулею із заданими параметрами у тривимірному вигляді наведено на рис.3.12.

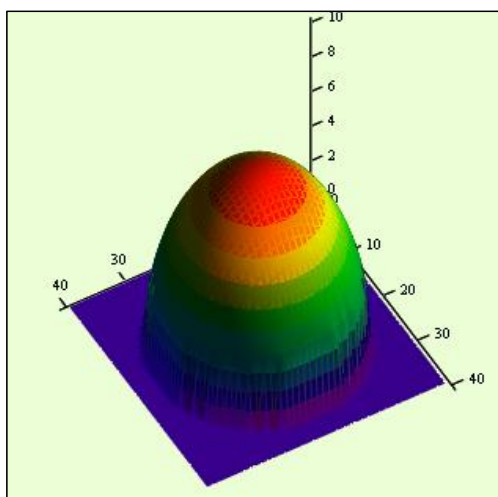


Рис. 3.12. Зображення проекційної тіні напівпрозорої кулі

Якщо оптичне зображення внутрішньої структури ОК подати у псевдокольоровій шкалі, воно матиме вигляд, який наведено на рис. 3.13.

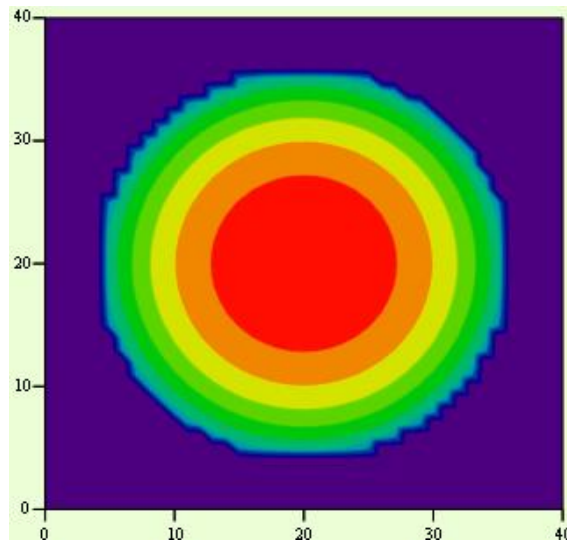


Рис. 3.13. Оптичне зображення внутрішньої структури кулі у псевдокольоровій шкалі

Це зображення відповідатиме не дійсній, а прологарифмованій інтенсивності прийнятого випромінювання. Функцію, що відповідатиме дійсному розподілові інтенсивності прийнятого випромінювання отримаємо за формулою:

$$d(x, h) = e^{-a(x, h)}$$

Порівняємо оптичні зображення виконані відносно псевдокольорової шкали у випадку використання логарифмічного підсилення та нього. Як і у попередній парі зображень логарифмічна обробка сигналів дає більш зрозумілу структуру зображень ОК.

3.1.3 Модель візуалізація внутрішньої структури конусу

Задамо геометричні параметри системи (рис. 3.15).

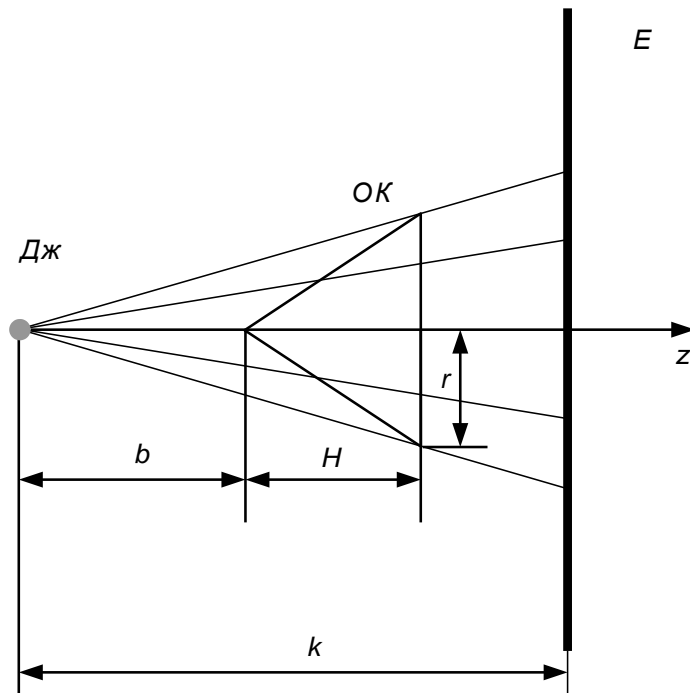


Рис. 3.14. Геометричні параметри системи

Дж - джерело випромінювання; ОК - об'єкт контролю; Е - екран; k - відстань від джерела випромінювання до екрану; b - відстань від джерела випромінювання до ОК; r - радіус конусу; H - висота конусу; α - коефіцієнт згасання випромінювання у матеріалі ОК

$$r = 4, k = 10, H = 4, b = 1, a = 1$$

Математичне формування тривимірної функції, що описує справжній просторовий розподіл візуалізованого параметру $f(x, y)$:

$$f(x, y) = \text{angle}(x, y), r(x, y) = \sqrt{x^2 + y^2}; \quad (3.17)$$

$$f(x, y) = \begin{cases} -\frac{H|r(x, y)|}{r} + H & \text{if } -r \leq r(x, y) \leq r \\ 0 & \text{if } r \leq r(x, y) \leq -r \end{cases} \quad (3.18)$$

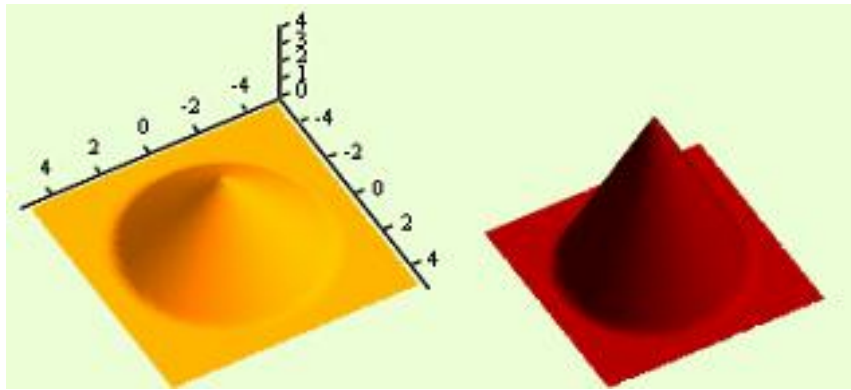


Рис. 3.15. Зображення конуса

В середовищі MathCAD перехід від декартової до циліндричної системи координат здійснюється за допомогою наступних формул:

$$b(x, h) = \operatorname{arctg} \frac{h}{x}, \quad x_2(x, h) = \sqrt{x^2 + h^2}. \quad (3.19)$$

Уявний просторовий розподіл коефіцієнту згасання $\alpha(\xi, \eta)$ обчислюється за формулою:

$$OC = \frac{rk}{b + H},$$

$$a_1(x, h) = \begin{cases} 0 & \text{if } -\Gamma < x_2(x, h) \leq -OC \\ \left(\cos \left(\operatorname{atg} \left(\frac{|x_2(x, h)|}{k} \right) \right) \right) \left(H - \frac{b|x_2(x, h)|H}{rk - |x_2(x, h)|H} \right) & \text{if } -OC < x_2(x, h) \leq OC \\ \left(\cos \left(\operatorname{atg} \left(\frac{|x_2(x, h)|}{k} \right) \right) \right) \left(H - \frac{b|x_2(x, h)|H}{0.000001} \right) & \text{if } rk - |x_2(x, h)|H = 0 \\ 0 & \text{if } OC < x_2(x, h) < \Gamma \end{cases} \quad (3.17)$$

$$a(x, h) = a_1(x, h)a.$$

Уявний розподіл візуалізованого параметру для певного перерізу є двовимірною функцією, що подана на рис. 3.17.

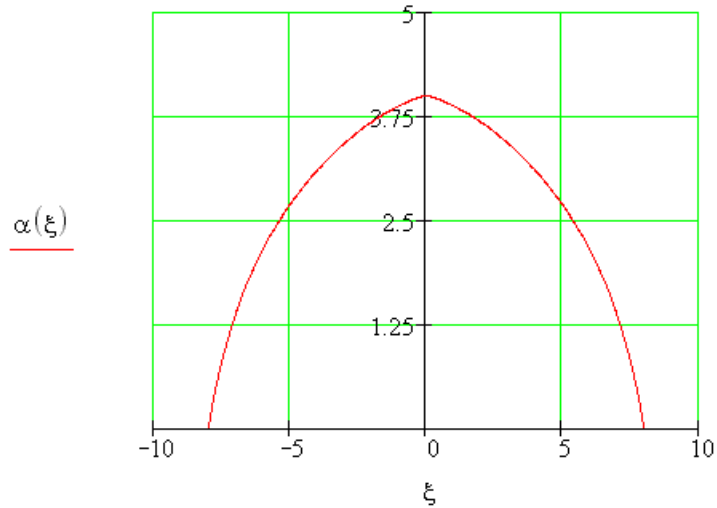


Рис. 3.16. Вигляд двовимірної функції для уявного розподілу візуалізованого параметру певного перерізу (ОК є конус)

$$grn = -OC - 1, \quad prd = 2OC + 2;$$

Зображення внутрішньої структури конусу із заданими параметрами у тривимірному вигляді наведено на рис.3.18.

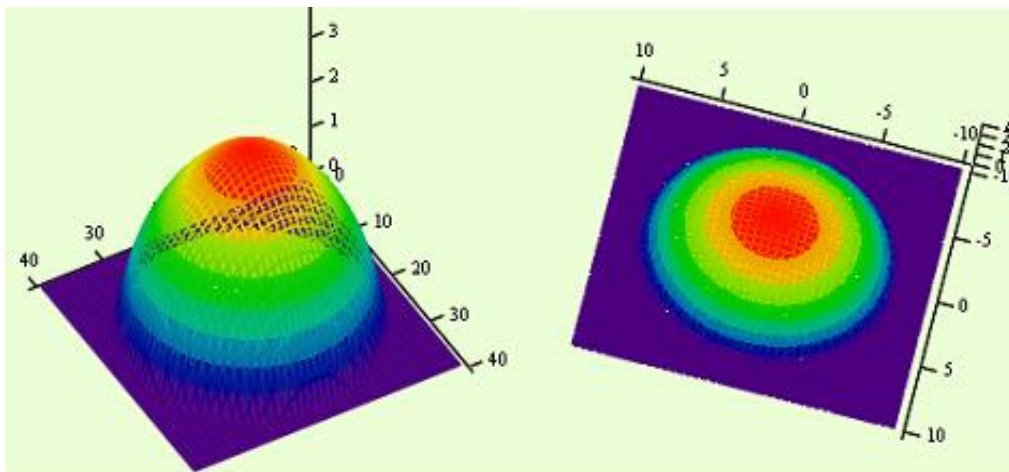


Рис. 3.17. Зображення ОК, який є конусом із заданими параметрами, у тривимірному вигляді

Якщо оптичне зображення внутрішньої структури ОК подати у псевдокольоровій шкалі, воно матиме наступний вигляд:

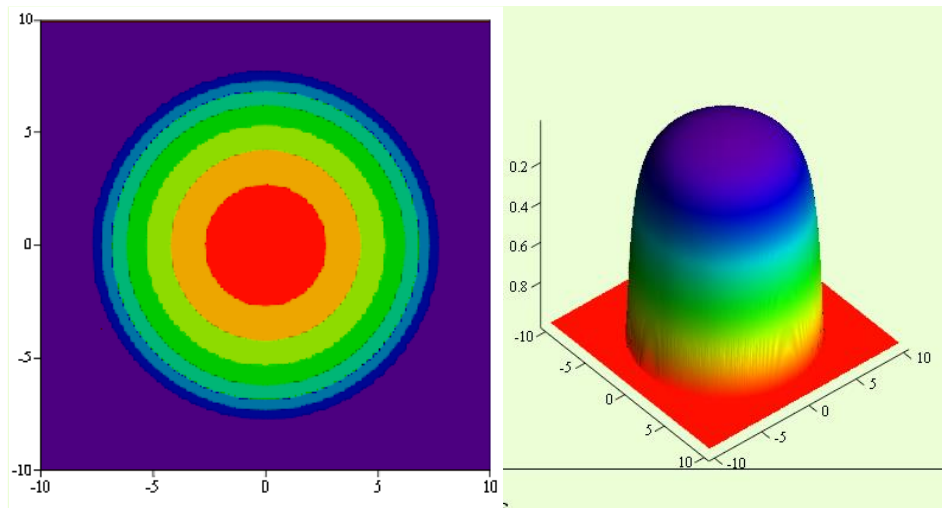


Рис. 3.18. Зображення, яке відповідатиме не дійсній, а прологарифмованій інтенсивності прийнятого випромінювання.

Це зображення відповідатиме не дійсній, а прологарифмованій інтенсивності прийнятого випромінювання. Функцію, що відповідатиме дійсному розподілові інтенсивності прийнятого випромінювання отримаємо за формулою:

$$d(x, h) = e^{-a(x,h)}.$$

Порівняємо оптичні зображення виконані відносно псевдокольорової шкали у випадку використання логарифмічного підсилення та без нього:

Логаріфмічна обробка сигналів дає більш зрозумілу структуру зображення

3.1.4 Модель візуалізації внутрішньої структури циліндру

Задамо геометричні параметри системи (рис. 3.22).

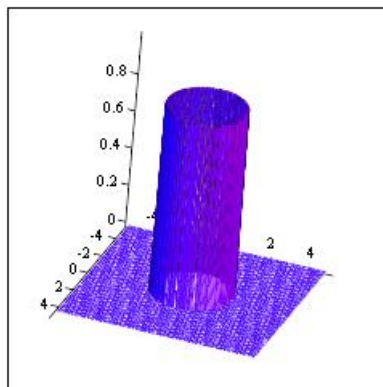


Рис. 3.19. Циліндр спроектований у середовищі MathCad

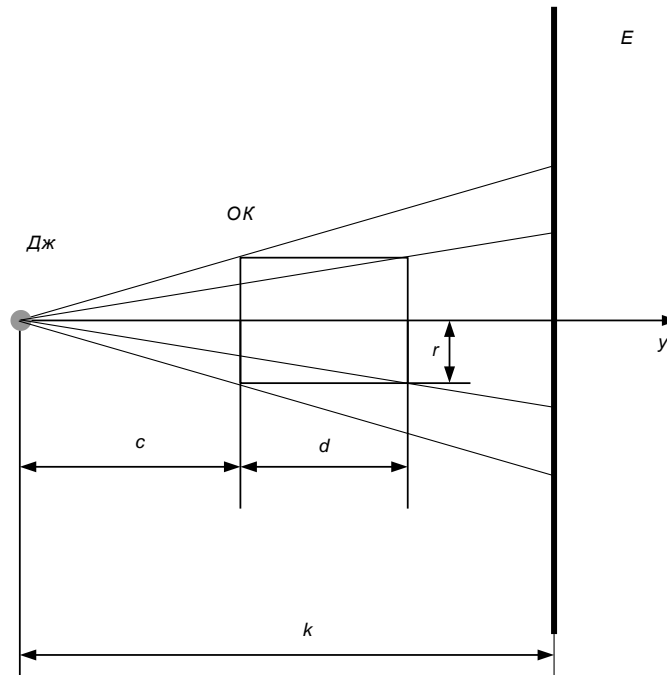


Рис. 3.20. Геометричні параметри системи

Дж - джерело випромінювання; ОК - об'єкт контролю; Е - екран. k - відстань від джерела випромінювання до екрану; c - відстань від джерела випромінювання до ОК; r - радіус циліндру; d - товщина шару; α - коефіцієнт згасання випромінювання у матеріалі ОК

Математичне формування тривимірної функції, що описує справжній просторовий розподіл візуалізованого параметру $f(x, y)$:

$$F(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{if } -\sqrt{x^2 + y^2} \leq r \leq \sqrt{x^2 + y^2} \\ d & \text{if } -\Gamma < r < -\sqrt{x^2 + y^2} \vee \sqrt{x^2 + y^2} < r < \Gamma \end{cases}$$

Уявний просторовий розподіл коефіцієнту згасання $\alpha(\xi, \beta)$:

$$OD = \frac{rk}{e+d}, \quad OC = \frac{kr}{e}.$$

$$a_1(x, h) = \begin{cases} \text{if } x^2(x, h) \neq 0 \\ \left(r - |x^2(x, h)| \frac{e}{k} \right) \sqrt{1 + \left(\frac{k}{x^2(x, h)} \right)^2} & \text{if } -OC \leq x^2(x, h) < -OD \\ d \sqrt{1 + \left(\frac{x^2(x, h)}{k} \right)^2} & \text{if } -OD < x^2(x, h) < 0 \\ d \sqrt{1 + \left(\frac{x^2(x, h)}{k} \right)^2} & \text{if } 0 < x^2(x, h) < OD \\ \left(r - x^2(x, h) \frac{e}{k} \right) \sqrt{1 + \left(\frac{k}{x^2(x, h)} \right)^2} & \text{if } OD \leq x^2(x, h) < OC \\ 0 & \text{if } (-\Gamma < x^2(x, h)) \leq -OC \\ 0 & \text{if } OC \leq x^2(x, h) < \Gamma \\ d & \text{if } x^2(x, h) = 0 \end{cases}$$

$$a(x, h) = a_1(x, h)a$$

Уявний розподіл візуалізованого параметру для певного перерізу є двовимірною функцією, що подана на рис 3.21.

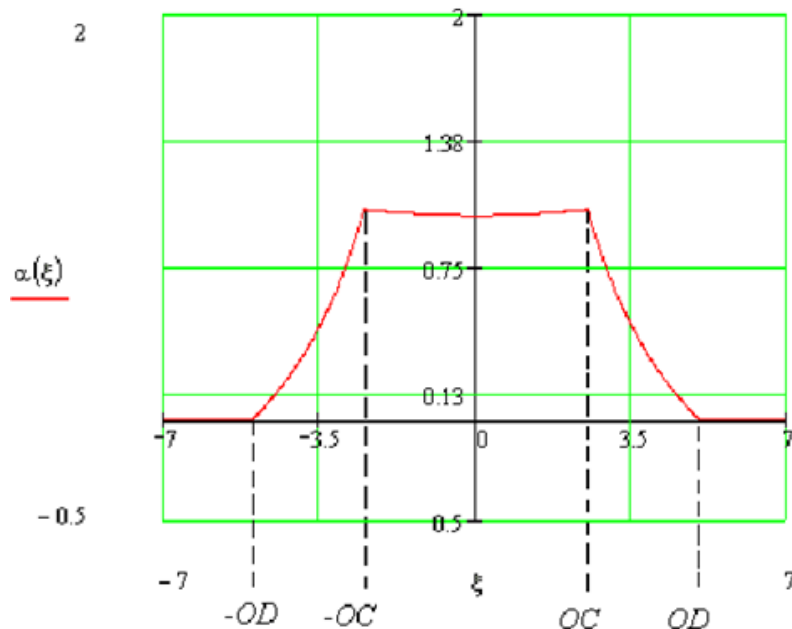


Рис. 3.21. Вигляд двовимірної функції для уявного розподілу візуалізованого параметру певного перерізу (ОК є циліндр)

$$gm = -OC - 2, \quad prd = 2OC + 4,$$

Зображення внутрішньої структури об'єкту контролю, який є циліндром із заданими параметрами, у тривимірному вигляді зображено на рис. 3. 25.

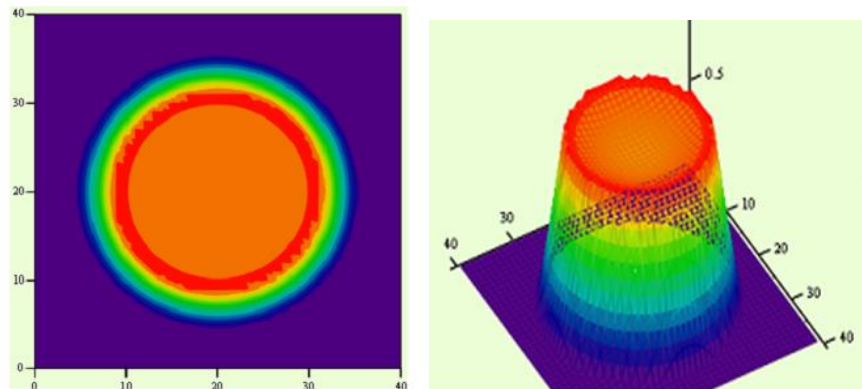


Рис. 3. 22. – Зображення ОК у псевдокольоровій шкалі внутрішня структура циліндру із заданими параметрами у тривимірному вигляді

Якщо оптичне зображення внутрішньої структури об'єкту контролю подати у псевдокольоровій шкалі, воно матиме наступний вигляд, поданий на рис. 3.26.

Порівняємо оптичні зображення виконані відносно псевдо кольорової шкали у випадку використання логарифмічного підсилення та без нього (рис. 3.23).

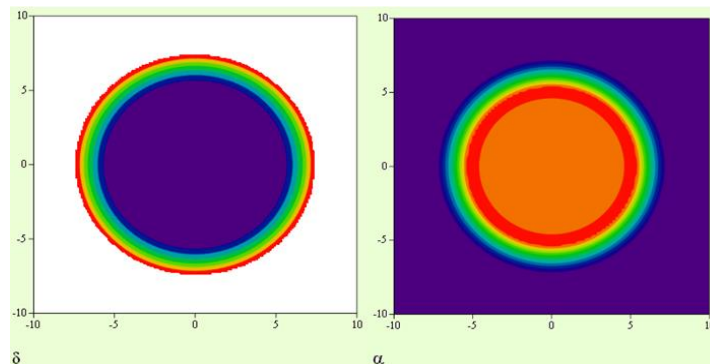


Рис. 3.23 – Оптичні зображення виконані відносно псевдокольорової шкали у випадку використання логарифмічного підсилення та без нього

Це зображення відповідатиме не дійсній, а прологарифмованій інтенсивності прийнятого випромінювання Функцію, що відповідатиме дійсному розподілові інтенсивності прийнятого випромінювання отримаємо за формулою:

$$d(x, h) = e^{-a(x, h)}$$

3.2 Модель отримання зображення внутрішньої структури ОК складної форми

Розглянемо отримання оптичного зображення об'єкту контролю, виготовленого з декількох матеріалів.

В ході роботи отримані оптичні зображення заданих об'єктів контролю при точковому джерелі випромінювання. Також отримані оптичні зображення ОК при варіюванні параметрів системи візуалізації, геометричних параметрів ОК та набору коефіцієнтів згасання випромінювання у матеріалі ОК.

Нехай ОК представляє собою кулю, виготовлену з матеріалу, який має коефіцієнт згасання випромінювання α_1 . В середині цієї кулі розташована друга куля, яка має менший діаметр та виготовлена з матеріалу, що має коефіцієнт згасання α_2 . Центри обох куль співпадають.

Задамо параметри системи візуалізації:

$$k = 10; c = 7; d_1 = 3; d_2 = 1; a_1 = 2; a_2 = 0$$

де k – відстань від джерела випромінювання до екрану; c – відстань від джерела випромінювання до ОК; d_1 – діаметр більшої кулі; d_2 – діаметр меншої кулі; α_1 – коефіцієнт згасання випромінювання у матеріалі більшої кулі; α_2 – коефіцієнт згасання випромінювання у матеріалі меншої кулі.

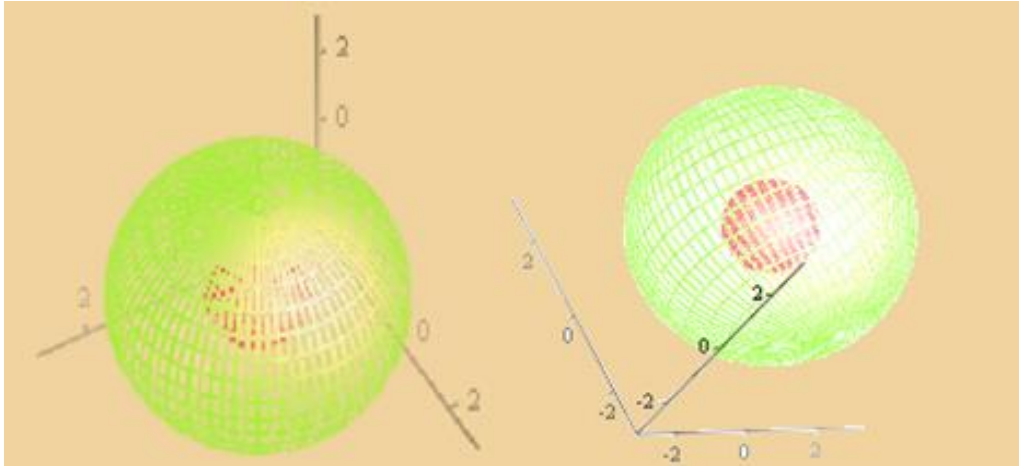


Рис. 3.24. В середині кулі розташована інша куля з меншим діаметром. Центри обох куль співпадають

Якщо $\alpha_2 = 0$, розглядається випадок, коли в середині кулі з діаметром d_1 присутня порожнина діаметром d_2 .

Таким чином, розподіл дійсного коефіцієнту затухання:

$$X_1(i, j) = (\sin(j)\cos(i))d_1, Y_1(i, j) = (\sin(j)\sin(i))d_1, Z_1(i, j) = d_1 \cos(j)$$

$$X_2(i, j) = (\sin(j)\cos(i))d_2, Y_2(i, j) = (\sin(j)\sin(i))d_2, Z_2(i, j) = d_2 \cos(j)$$

Зірками позначені об'єкти, які є не графіками, а рисунками, що ілюструють приклади відповідних графіків при наступних вихідних даних: $k = 10$, $c = 7$, $d_1 = 3$; $d_2 = 1$; $\alpha_1 = 2$; $\alpha_2 = 0$. За наступними формулами обчислюється уявний розподіл візуалізованого параметру з логарифмічним підсиленням

$$b(x, h) = \operatorname{artg} \frac{h}{x}$$

$$X_2(x, h) = \sqrt{x^2 + h^2}$$

$$AD_1 = \frac{k \frac{d_1}{2}}{c + \frac{d_1}{2}}$$

$$ab(x, h) = \begin{cases} 2 \sqrt{\left(\frac{d1}{2}\right)^2 - \frac{c^2 |x2(x, h)|^2}{k^2} \left(\sin\left(\frac{P}{2} - a \tan\left(\frac{X2(x, h)}{k}\right)\right) \right)^2} & \text{if } -AD1 \leq X2(x, h) \leq AD1 \\ & \text{if } AD1 \leq X2(x, h) \leq -AD1 \end{cases}$$

$$AD2 = \frac{k \frac{d2}{2}}{c + \frac{d2}{2}}$$

$$as(x, h) = \begin{cases} 2 \sqrt{\left(\frac{d2}{2}\right)^2 - \frac{c^2 |x2(x, h)|^2}{k^2} \left(\sin\left(\frac{P}{2} - a \operatorname{tg}\left(\frac{X2(x, h)}{k}\right)\right) \right)^2} & \text{if } -AD2 \leq X2(x, h) \leq AD2 \\ & \text{if } AD2 \leq X2(x, h) \leq -AD2 \end{cases}$$

$$\alpha(x, h) = ab(x, h)a1 + as(x, h)(a2 - a1)$$

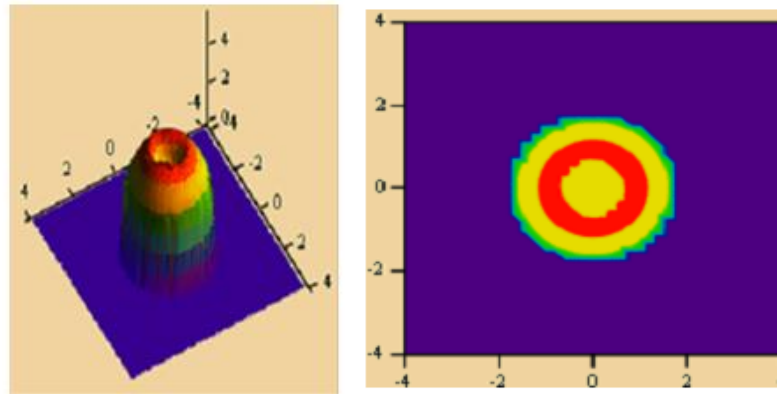


Рис. 3.24. Зображення внутрішньої структури складного ОК із заданими параметрами, у тривимірному вигляді

Проекційне зображення ОК при логарифмічному підсиленні наведено на рис. 3.24.

Функцію, яка відповідає розподілу інтенсивності прийнятого випромінювання, отримаємо за формулою:

$$d(x, h) = e^{-a(x, h)}$$

Розглянемо ОК у вигляді двох паралелепіпедів з різними геометричними параметрами, розташовані на різній відстані від екрану та виготовлені з різних матеріалів.

Задамо параметри системи візуалізації

$$a1 = 2; b1 = 4; d1 = 1; d2 = 1; c1 = 1; \alpha1 = 1; a2 = 1; b2 = 5; c2 = 3; \alpha2 = 1; k = 10$$

де – $a1, b1, d1$ – сторони першого паралелепіпеду; $a2, b2, d2$ – сторони другого паралелепіпеду; $c1$ – відстань від джерела випромінювання до першого паралелепіпеду; $c2$ – відстань від джерела випромінювання до другого паралелепіпеду; $\alpha1$ – коефіцієнт згасання випромінювання у матеріалі першого паралелепіпеду; $\alpha2$ – коефіцієнт згасання випромінювання у речовині другого паралелепіпеду; k – відстань від джерела випромінювання до екрану.

Дійсний розподіл коефіцієнту згасання обчислюється за формулами:

$$P(x, y) = \begin{cases} d1 \text{ if } \frac{-a1}{2} \leq x \leq \frac{a1}{2} \wedge \frac{-b1}{2} \leq y \leq \frac{b1}{2} \\ 0 \text{ if } x < \frac{-a1}{2} \vee x > \frac{a1}{2} \vee y < \frac{-b1}{2} \vee y > \frac{b1}{2} \end{cases}$$

$$P2(x, y) = \begin{cases} c2 - c1 + d2 \text{ if } \frac{-a2}{2} \leq x \leq \frac{a2}{2} \wedge \frac{-b2}{2} \leq y \leq \frac{b2}{2} \\ c2 - c1 \text{ if } x < \frac{-a2}{2} \vee x > \frac{a2}{2} \vee y < \frac{-b2}{2} \vee y > \frac{b2}{2} \end{cases}$$

$$j \in [0; 40], y1 = \frac{-b1 - 5}{2} + \frac{b1 + 5}{40}, M1_{i,j} = P1(x_i, y_j), M2_{i,j} = P2(x_i, y_j)$$

На рис. 3.25 зображено тіні ОК, складеного з двох паралелепіпедів з різними геометричними параметрами, які розташовані на різній відстані від екрану та виготовлені з різних матеріалів

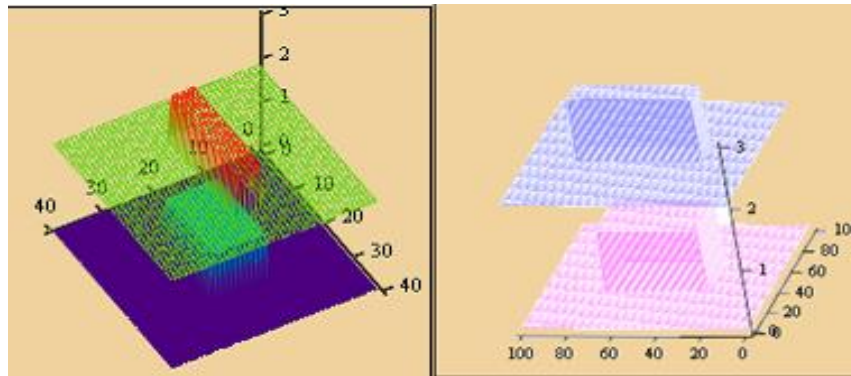


Рис. 3.25. Об'єкт складної форми

$$i = 0 \dots 40$$

$$x_i = \frac{-a1-5}{2} + \frac{a1+5}{40}i$$

Зірками позначені об'єкти, які є не графіками, а рисунками, що ілюструють приклади відповідних графіків при наступних вихідних даних: $k=10$; $a1=2$; $b1=4$; $c1=1$; $d1=1$; $d2=1$; $\alpha1=1$; $a2=1$; $b2=5$; $c2=3$; $\alpha2=1$. За наступними формулами обчислюється уявний розподіл візуалізованого параметру з логарифмічним підсиленням.

$$b(x, h) = \operatorname{artg} \frac{h}{x}$$

$$X2(x, h) = \sqrt{x^2 + h^2}$$

$$g1 = \operatorname{atg} \left(\frac{b1}{a1} \right); \quad g2 = \operatorname{atg} \left(\frac{b2}{a2} \right)$$

У додатку А наведені програми обрахування візуалізації ОК в середовищі *MathCAD*

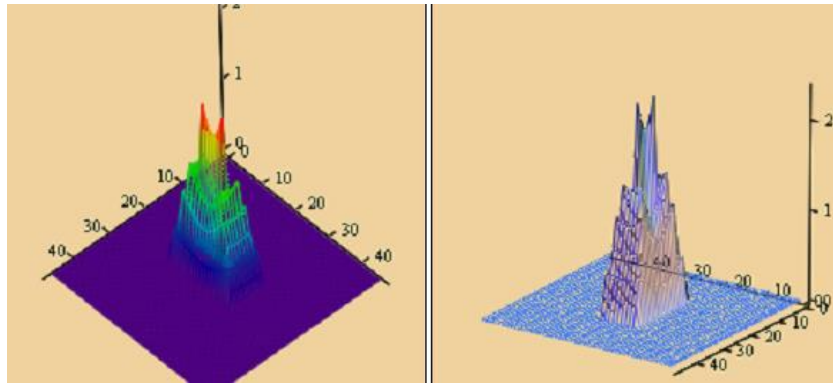


Рис. 3.26. Зображення внутрішньої структури складного ОК із заданими параметрами у тривимірному вигляді

Проективне зображення ОК при логарифмічному підсиленні:

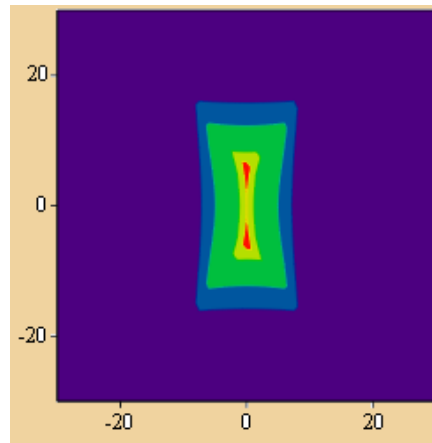


Рис. 3.27. Проективне зображення ОК при логарифмічному підсиленні

Розглянемо об'єкт контролю у вигляді відрізка труби з порожниною всередині.

Задамо параметри системи візуалізації:

$$r_1 = 3, r_2 = 2, k = 10, d = 1, c = 1, a = 1$$

де k - відстань від джерела випромінювання до екрану; c - відстань від джерела випромінювання до ОК; r_1 - радіус ОК; r_2 - радіус порожнини; d - товщина шару; α - коефіцієнт згасання випромінювання у матеріалі ОК.

Дійсний розподіл коефіцієнту згасання матиме вигляд:

$$F_1(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{if } -\sqrt{x^2 + y^2} \leq r_1 \leq \sqrt{x^2 + y^2} \vee (-\Gamma < r_2 < -\sqrt{x^2 + y^2} \vee \sqrt{x^2 + y^2} < r_2 < \Gamma) \\ d & \text{otherwise} \end{cases}$$

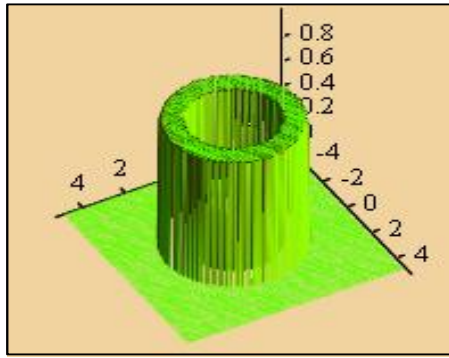


Рис. 3.28. Об'єкт складної форми спроектований у середовищі MathCad. Об'єктом контролю є відрізок труби

$$OC1 = \frac{kr1}{c}, \quad OC2 = \frac{kr2}{c}, \quad b(x,h) = \text{angle}(x,h), \quad x2(x,h) = \sqrt{x^2 + h^2};$$

$$OD1 = \frac{r1k}{c+d}, \quad OD2 = \frac{r2k}{c+d}.$$

$$X2(x,h) = \sqrt{x^2 + h^2}, \quad OD2 = \frac{r2k}{c+d};$$

$$a(x,h) = (a_p(x,h) - a_v(x,h))a.$$

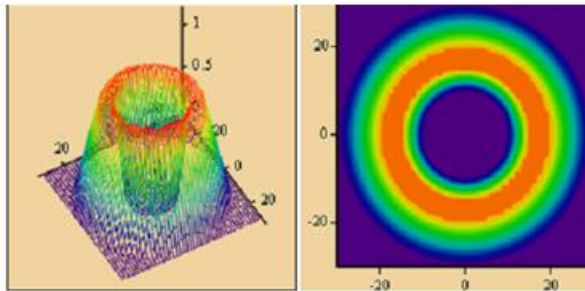


Рис. 3.29. Зображення внутрішньої структури складного об'єкту контролю із заданими параметрами, у тривимірному вигляді

Функцію, яка відповідає розподілу інтенсивності прийнятого випромінювання, отримаємо за формулою:

$$d(x,h) = e^{-a(x,h)}.$$

3.3 Побудова аналітичних моделей отримання оптичного зображення внутрішньої структури ОК при використанні лінійного та площинного джерел випромінювання

Побудова цих аналітичних моделей зводиться до обчислення проєктивного зображення ізотропного об'єкту при гомогенному опроміненні лінійним або площинним джерелом випромінювання. Об'єкт контролю розташовано перпендикулярно площині зображення. У випадку використання лінійного джерела, ОК розташовано симетрично відносно його осі. Якщо використовується джерело площинного типу, то ОК розташовано перпендикулярно його площині.

3.3.1 Розробка методу сканування ОК при використанні джерела випромінювання лінійної геометрії. Візуалізація внутрішньої структури паралелепіпеду

Припустимо ОК є паралелепіпед. Для цього випадку задамо геометричні параметри системи візуалізації (рис. 3.30).

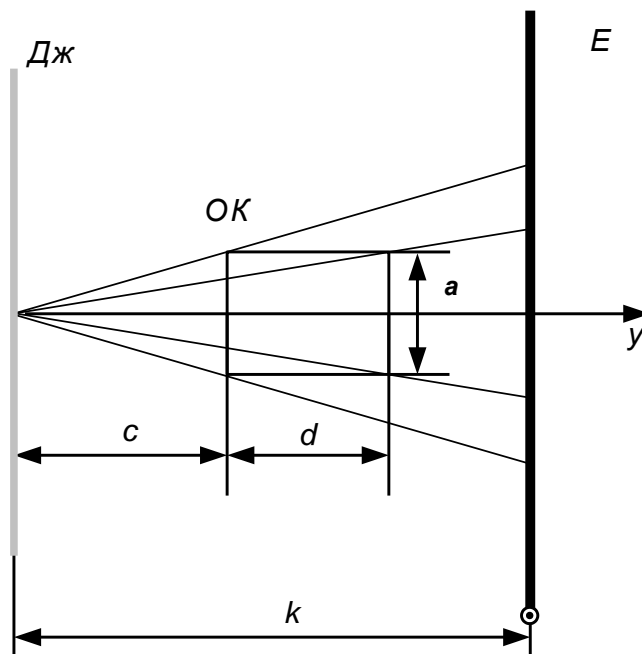


Рис. 3.30 – Геометричні параметри системи:

Дж - лінійне джерело випромінювання; ОК - об'єкт контролю; Е - екран; a - сторона ОК; b - сторона ОК; k

- відстань від джерела випромінювання до екрану; d - товщина шару ОК; c - відстань від джерела випромінювання до ОК; α - коефіцієнт згасання випромінювання у матеріалі ОК

У моделі є можливість довільно змінювати геометричні параметри системи.

$$a = 1, b = 2, k = 10, d = 3, c = 5, \alpha = 2$$

Також формується тривимірний функція, що описує справжній просторовий розподіл візуалізованого параметру $f(x, y)$.

Геометрично ОК є паралелепіпедом, виготовленим з одного матеріалу. Отже, в межах цього паралелепіпеду коефіцієнт згасання α є сталим, і задається чисельно студентом. За межами цього паралелепіпеду коефіцієнт згасання дорівнює нулю.

$$P(x, y) = \begin{cases} d \text{ if } \frac{-a}{2} \leq x \leq \frac{a}{2} \wedge \frac{-b}{2} \leq y \leq \frac{b}{2} \\ 0 \text{ if } x < \frac{-a}{2} \vee x > \frac{a}{2} \vee y < \frac{-b}{2} \vee y > \frac{b}{2} \end{cases}$$

$$i \in [0; 40], x_i = \left(-1 - \frac{a}{2}\right) + \frac{2\left(1 + \frac{a}{2}\right)}{40} i;$$

$$j \in [0; 40], y_j = \left(-1 - \frac{b}{2}\right) + \frac{2\left(1 + \frac{b}{2}\right)}{40} j;$$

$$M_{i,j} = P(x_i, y_j).$$

Графічно дійсний розподіл густини заданого ОК має наступний вигляд:

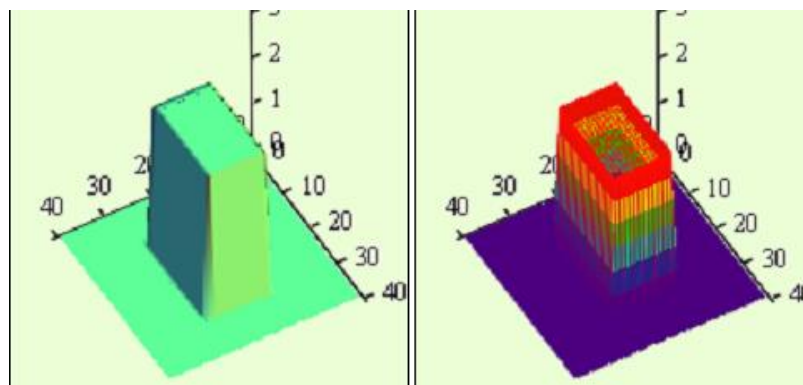


Рис. 3.31 – Паралелепіпед спроектований у середовищі MathCad

Зображення внутрішньої структури ОК, який є паралелепіпедом із заданими параметрами, у тривимірному вигляді:

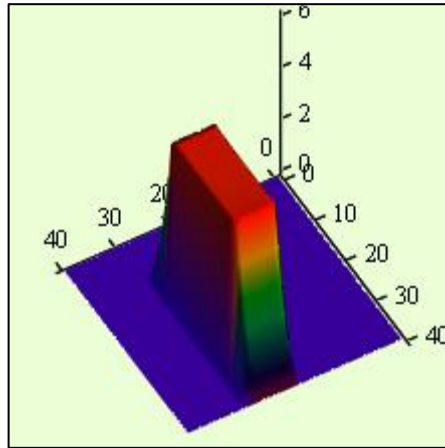


Рис. 3.32. Зображення внутрішньої структури ОК, який є паралелепіпедом із заданими параметрами, у тривимірному вигляді

Проеційне зображення внутрішньої структури ОК у псевдокольоровій шкалі наведено на рис.3.33.

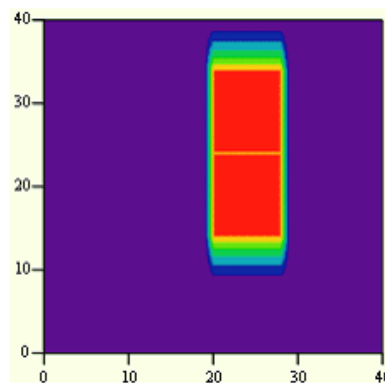


Рис. 3.33. Проекційне зображення внутрішньої структури ОК у псевдокольоровій шкалі

Це зображення відповідатиме не дійсній, а прологарифмованій інтенсивності прийнятого випромінювання. Функцію, що відповідатиме дійсному

розподілові інтенсивності прийнятого випромінювання отримаємо за формулою:

$$d(x, h) = e^{-a(x, h)}$$

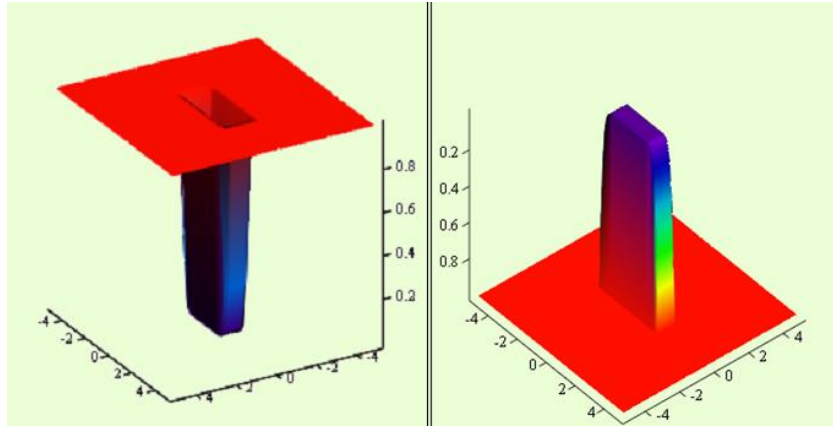


Рис. 3.34. Зображення внутрішньої структури ОК, який є паралелепіпедом із заданими параметрами, у тримірному вигляді

Порівняємо оптичні зображення виконані відносно псевдокольорової шкали у випадку використання логарифмічного підсилення та без нього (рис. 3.35).

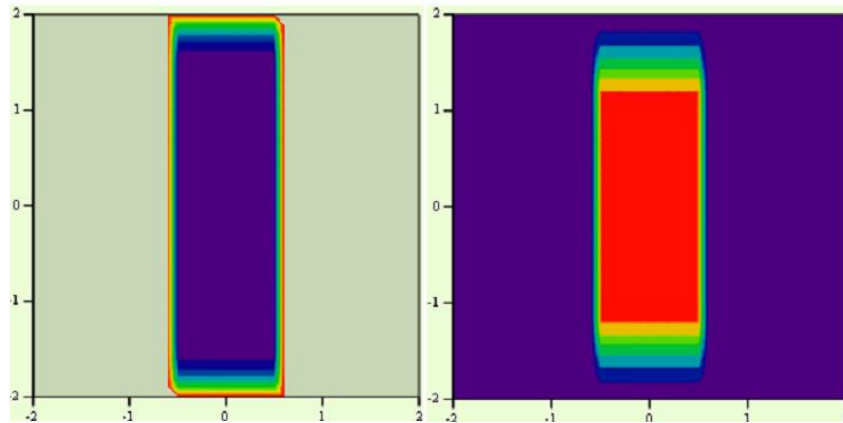


Рис. 3.35. Оптичні зображення виконані відносно псевдокольорової шкали у випадку використання логарифмічного підсилення та без нього

Інші приклади візуалізації ОК лінійним джерелом наведені у додатку.

3.4 Побудова аналітичних моделей отримання зображення внутрішньої структури ОК, який розташовано зі зсувом відносно осі симетрії точкового джерела випромінювання

3.4.1 Аналіз зображень внутрішньої структури об'єктів контролю

Проаналізуємо проєктивні та тривимірні зображення внутрішньої структури ОК при опроміненні них точковим джерелом на основі анімаційних кліпів dger та obkon.

Для всіх видів ОК зі зменшенням відстані від них до екрану зменшується ступінь спотворення зображення. Це проявляється у зменшенні розмірів напівтіні та крайового ефекту. Також крайовий ефект значно зменшується із збільшенням відстані від ОК до точкового джерела випромінювання. Це пояснюється тим, що діаметр фронту хвиль, випромінюваних джерелом, стає тим більшим, чим більша відстань до джерела, тобто фронт хвиль стає ближчим до лінійного. Аналіз отриманих в розроблюваних моделях графіків дає можливість зробити висновок, що наближення ОК до екрану є біль дієвим засобом боротьби зі спотвореннями ніж віддалення джерела випромінювання від екрану. Слід також вказати, що чим більшими є розміри ОК, тим більше відбувається спотворень зображення.

Внаслідок спотворення, геометричні форми ОК, що мають бути лінійними набувають деякого викривлення. В залежності від параметрів системи вони можуть стати опуклими або випуклими.

Порівняємо отримані в розроблюваних моделях дійсні зображення ОК та зображення з логарифмічним підсиленням. Є очевидним, що останні менш спотворені. Лінійні елементи цих зображень набагато менше викривлені, а розміри ОК відображаються точніше. Також при логарифмічному підсиленні більш чітко відображаються дрібні деталі ОК.

За допомогою отриманих в роботі моделей можемо дійти висновку, що в системах візуалізації, в яких використовується лінійне джерело випромінювання, розташоване паралельно осі Oy декартової системи координат, відбуваються

спотворення зображення вздовж осі Ox . Вздовж осі Oy спотворень не відбувається. Отже, зображення, отримані за допомогою лінійного джерела випромінювання, є менш спотвореними ніж зображення, отримані при використанні точкового джерела.

Найефективнішим засобом в боротьбі з крайовим ефектом є використання площинного джерела випромінювання, що наглядно демонструється у відповідних моделях візуалізації.

3.4.2 Отримання зображення внутрішньої структури об'єкта контролю, який розташовано зі зсувом відносно осі симетрії точкового джерела випромінювання.

Вивчення спотворень зображення внутрішньої структури ОК які з'являються внаслідок зсуву ОК з осі симетрії джерела випромінювання.

Отримаємо зображення внутрішньої структури ОК, розташованого зі зсувом відносно осі симетрії джерела випромінювання (ОК є паралелепіпедом).

Отже, припустимо ОК є паралелепіпедом, виготовленим з одного матеріалу. Задамо параметри системи візуалізації (рис. 3.35):

Для спрощення формул розподілу візуалізованого параметру введемо умову, що $x > \frac{a}{2}$ та $y_1 > \frac{b}{2}$. Цю умову обов'язково необхідно враховувати при заданні геометричних параметрів системи. Розташування ОК відносно тривимірної декартової системи координат відображено на рис. 3.49.

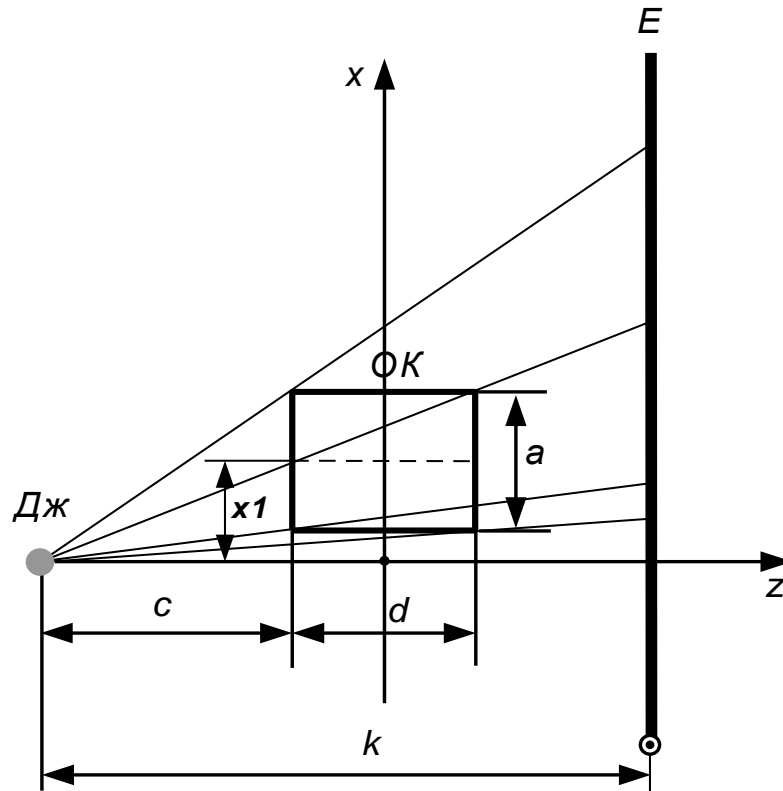


Рис. 3.36.. Геометричні параметри системи.

Дж - точкове джерело випромінювання; ОК - об'єкт контролю; E - екран; a - сторона ОК; b - сторона ОК; k - відстань від джерела випромінювання до екрану; d - товщина шару ОК; c - відстань від джерела випромінювання до ОК; a - коефіцієнт згасання випромінювання у матеріалі ОК; x_1 - величина зсуву центру ОК відносно початку координат по осі Ox ; y_1 - величина зсуву центру ОК відносно початку координат по осі Oy

$$a = 1, b = 6, k = 2, d = 1, c = 1, a = 1, x_1 = 7, y = 4$$

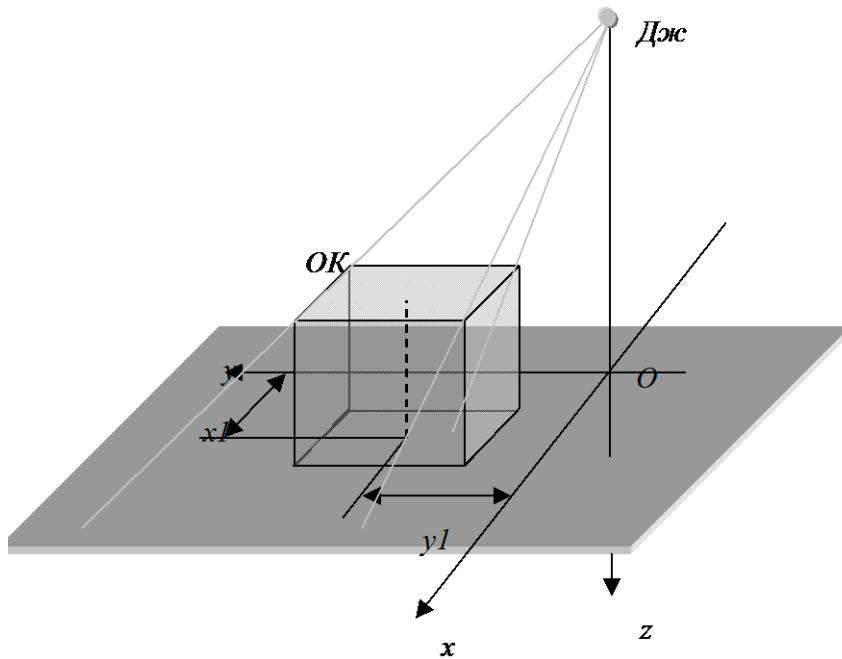


Рис. 3.37. Розташування ОК відносно декартової системи координат.

Для наочності відобразимо дійсний розподіл візуалізованого параметру для ОК зі зсувом та без (рис 3.37).

$$P(x, y) = \begin{cases} d & \text{if } \frac{-a}{2} \leq x \leq \frac{a}{2} \wedge \frac{-b}{2} \leq y \leq \frac{b}{2} \\ 0 & \text{if } x < \frac{-a}{2} \vee x > \frac{a}{2} \vee y < \frac{-b}{2} \vee y > \frac{b}{2} \end{cases}$$

$$F(x, y) = \begin{cases} d & \text{if } \frac{-a}{2} \leq x - x1 \leq \frac{a}{2} \wedge \frac{-b}{2} \leq y - y1 \leq \frac{b}{2} \\ 0 & \text{if } x - x1 < \frac{-a}{2} \vee x - x1 > \frac{a}{2} \vee y - y1 < \frac{-b}{2} \vee y - y1 > \frac{b}{2} \end{cases}$$

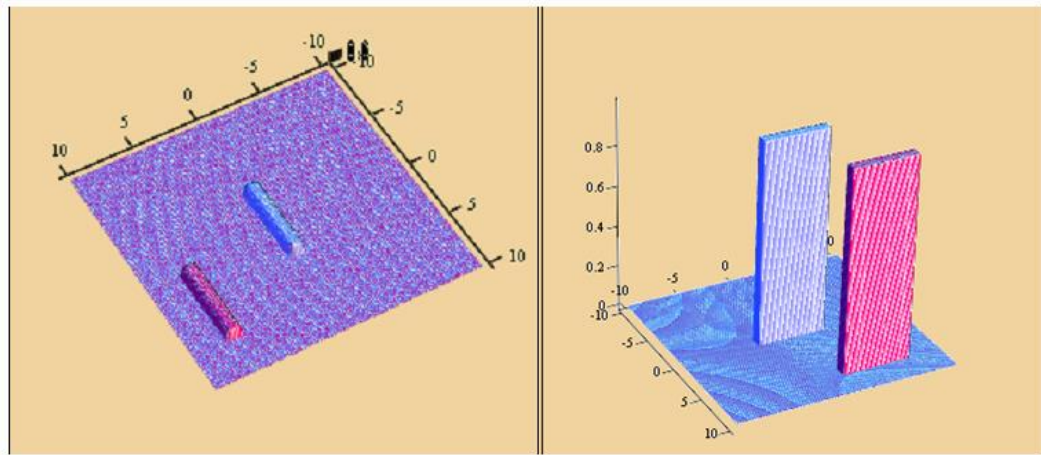


Рис. 3.38. Зображення ОК спроектованого у середовищі MathCad який розташовано зі зсувом відносно осі симетрії точкового джерела випромінювання; *a* - синім кольором відображено паралелепіпед, розташований на початку координат; *b* - червоним - паралелепіпед зі зсувом

Синім кольором відображено паралелепіпед, розташований на початку координат, червоним - паралелепіпед зі зсувом.

В роботі зірками позначені об'єкти, які є не графіками, а рисунками, що ілюструють приклади відповідних графіків при наступних вихідних даних:

$$a = 1, b = 6, k = 2, d = 1, c = 1, \alpha = 11, x_1 = 7, y_1 = 4.$$

Процес сканування заданого ОК відображено на рис. 3.39.

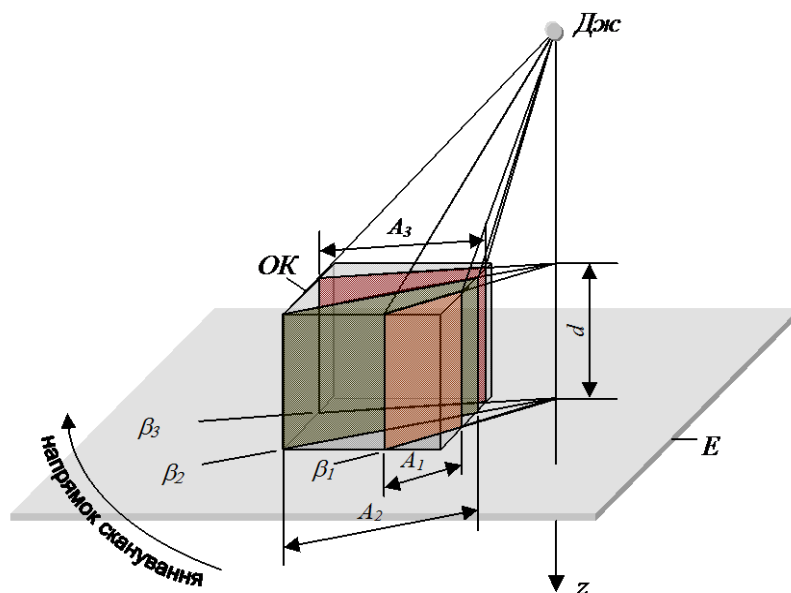


Рис. 3.39. Формування перерізів для певних значень кута β під час сканування заданого об'єкту контролю

При будь-якому значенні β_i переріз має вигляд прямокутника зі сторонами d та A_i .

При зміні кута β змінюється і величина сторони A . Тому A залежить від координат (ξ, η) . У додатку наведено вивід формули цієї залежності.

За тими формулами обчислюється уявний просторовий розподіл коефіцієнту згасання $\alpha(\xi, \eta)$.

$$a(x, h) = a_1(x, h)a.$$

Зображення внутрішньої структури ОК, який є паралелепіпедом із заданими параметрами, у тривимірному вигляді:

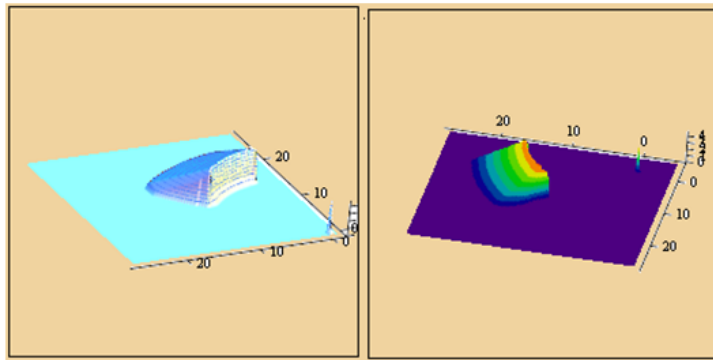


Рис. 3.40. Зображення внутрішньої структури об'єкту контролю, який є паралелепіпедом із заданими параметрами, у тривимірному вигляді паралелепіпедом із заданими параметрами, у двовимірному вигляді

Це зображення відповідатиме не дійсній, а прологарифмованій інтенсивності прийнятого випромінювання. Функцію, що відповідатиме дійсному розподілові інтенсивності прийнятого прийнятого випромінювання отримаємо за формулою:

$$d(x, h) = e^{-a(x, h)}.$$

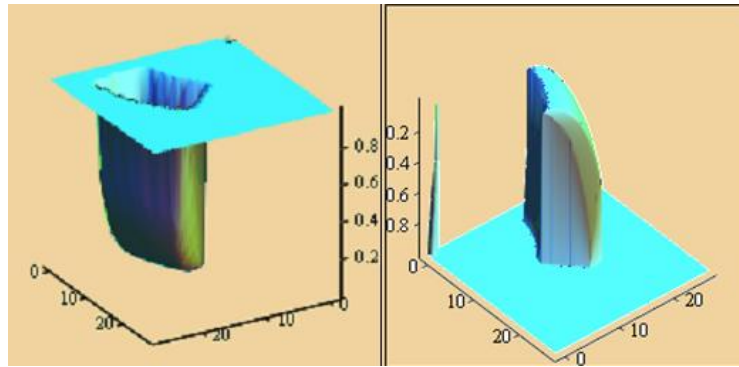


Рис. 3.41 - Зображення внутрішньої структури об'єкту контролю, який є паралелепіпедом із заданими параметрами, у тривимірному вигляді

3.5 Візуалізація внутрішньої структури багатошарового ОК

Отримання оптичного зображення об'єкту контролю, який складається з шарів із різними параметрами, при точковому джерелі випромінювання.

Нехай ОК складається з трьох шарів, які мають форму паралелепіпедів, та розміщені на різних відстанях від точкового джерела випромінювання (рис. 3.42). Перший шар представляє собою паралелепіпед зі сторонами a_1 , b_1 , d_1 , виготовлений з одного матеріалу. Коефіцієнт згасання випромінювання в матеріалі першого шару - α_{b1} . Другий і третій шари є паралелепіпедами зі сторонами a_2 , b_2 , d_2 та a_3 , b_3 , d_3 відповідно. Другий шар виготовлено з чотирьох різних матеріалів з коефіцієнтами згасання α_{21} , α_{22} , α_{23} , α_{24} , α_{31} , α_{32} - коефіцієнти згасання для третього шару. Дійсний розподіл цих коефіцієнтів приведено на рис. 3.55.

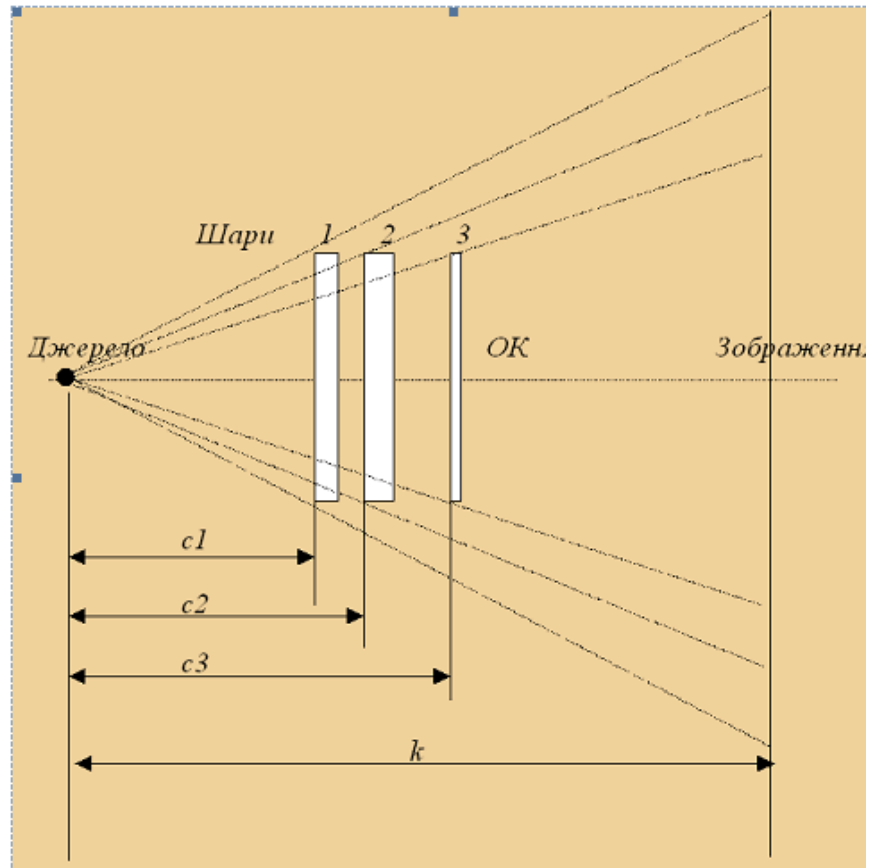


Рис. 3.42. Схема отримання зображення (профільний вигляд)

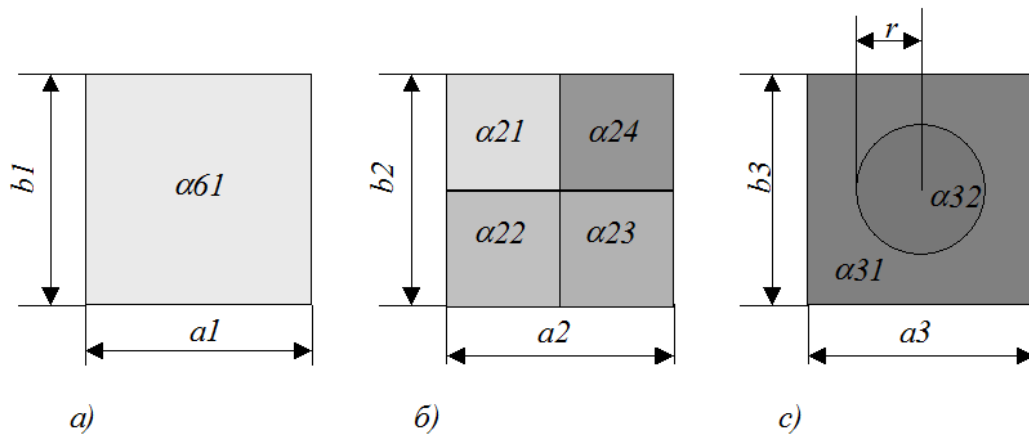


Рис. 3.43. Розподіл згасання:

a - у першому шарі; b - у другому шарі; c - у третьому шарі

Задамо параметри системи візуалізації.

Параметри першого шару:

$$a_1 = 3, b_1 = 3, d_1 = 0.1, c_1 = 2, \alpha_{61} = 1$$

Параметри другого шару:

$$a2 = 3, b2 = 3, d2 = 0.1, c2 = 2.1, \alpha21 = 1, \alpha32 = 2, \alpha22 = 2, \alpha23 = 2.9, \alpha24 = 4$$

Параметри третього шару:

$$a3 = 3, b3 = 3, r = 1.4, d3 = 0.1, c3 = 2.2, \alpha31 = 1$$

Відстань від джерела випромінювання до екрану:

$$k = 10$$

$$P21(x, y) = \begin{cases} c2 - c1 + d2 & \text{if } \frac{-a2}{2} \leq x \leq 0 \wedge \frac{-b2}{2} \leq y \leq 0 \\ c2 - c1 & \text{if } x < \frac{-a2}{2} \vee x > 0 \vee y < \frac{-b2}{2} \vee y > 0 \end{cases}$$

Формула розподілу коефіцієнту згасання першого шару:

$$P11(x, y) = \begin{cases} d1 & \text{if } \frac{-a1}{2} \leq x \leq \frac{a1}{2} \wedge \frac{-b1}{2} \leq y \leq \frac{b1}{2} \\ 0 & \text{if } x < \frac{-a1}{2} \vee x > \frac{a1}{2} \vee y < \frac{-b1}{2} \vee y > \frac{b1}{2} \end{cases}$$

Формули розподілу коефіцієнту згасання другого шару:

$$P23(x, y) = \begin{cases} c2 - c1 + d2 & \text{if } 0 \leq x \leq \frac{a2}{2} \wedge 0 \leq y \leq \frac{b2}{2} \\ c2 - c1 & \text{if } x < 0 \vee x > \frac{a2}{2} \vee y < 0 \vee y > \frac{b2}{2} \end{cases}$$

$$P22(x, y) = \begin{cases} c2 - c1 + d2 & \text{if } 0 \leq x \leq \frac{a2}{2} \wedge \frac{-b2}{2} \leq y \leq 0 \\ c2 - c1 & \text{if } x < 0 \vee x > \frac{a2}{2} \vee y < \frac{-b2}{2} \vee y > 0 \end{cases}$$

$$P24(x, y) = \begin{cases} c2 - c1 + d2 & \text{if } \frac{-a2}{2} \leq x \leq 0 \wedge 0 \leq y \leq \frac{b2}{2} \\ c2 - c1 & \text{if } x < \frac{-a2}{2} \vee x > 0 \vee y < 0 \vee y > \frac{b2}{2} \end{cases}$$

Формули розподілу коефіцієнту згасання третього шару:

$$P31(x, y) = \begin{cases} c3 - c1 + d3 & \text{if } -\sqrt{x^2 + y^2} \leq r \leq \sqrt{x^2 + y^2} \wedge \frac{-a3}{2} \leq x \leq \frac{a3}{2} \wedge \frac{-b3}{2} \leq y \leq \frac{b3}{2} \\ c3 - c1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$P32(x, y) = \begin{cases} c3 - c1 & \text{if } -\sqrt{x^2 + y^2} < r < \sqrt{x^2 + y^2} \\ c3 - c1 + d3 & \text{if } -\Gamma < r \leq -\sqrt{x^2 + y^2} \vee \sqrt{x^2 + y^2} \leq r < \Gamma \end{cases}$$

$$i \in [0; 40], j \in [0; 40]$$

$$x_i = \begin{cases} \frac{-a1 - 1}{2} + \frac{a1 + 2}{40} i & \text{if } a1 \geq b1 \\ \frac{-b1 - 1}{2} + \frac{b1 + 2}{40} i & \text{if } b1 > a1 \end{cases}$$

$$y_j = \begin{cases} \frac{-a1 - 1}{2} + \frac{a1 + 2}{40} j & \text{if } a1 \geq b1 \\ \frac{-b1 - 1}{2} + \frac{b1 + 2}{40} j & \text{if } b1 > a1 \end{cases}$$

$$M11_{i,j} = P11(x_i, y_j); M21_{i,j} = P21(x_i, y_j);$$

$$M22_{i,j} = P22(x_i, y_j); M23_{i,j} = P23(x_i, y_j); M24_{i,j} = P24(x_i, y_j); M31_{i,j} = P31(x_i, y_j);$$

$$M32_{i,j} = P32(x_i, y_j)$$

Візуалізаційне зображення для першого шару наведено на рис. 3.44.

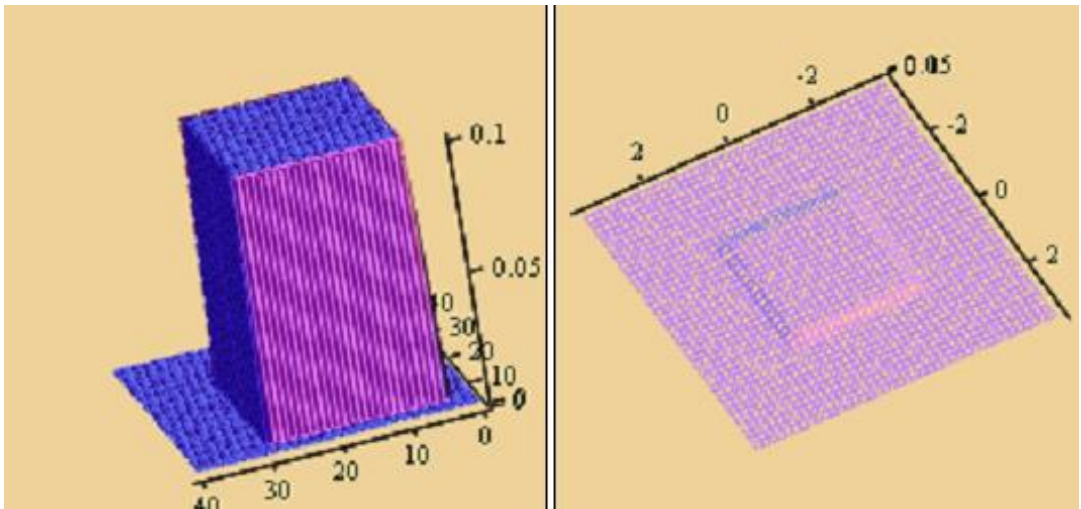


Рис. 3.44. Проекція першого шару.

Візуалізаційне зображення для другого шару наведено на рис. 3.45.

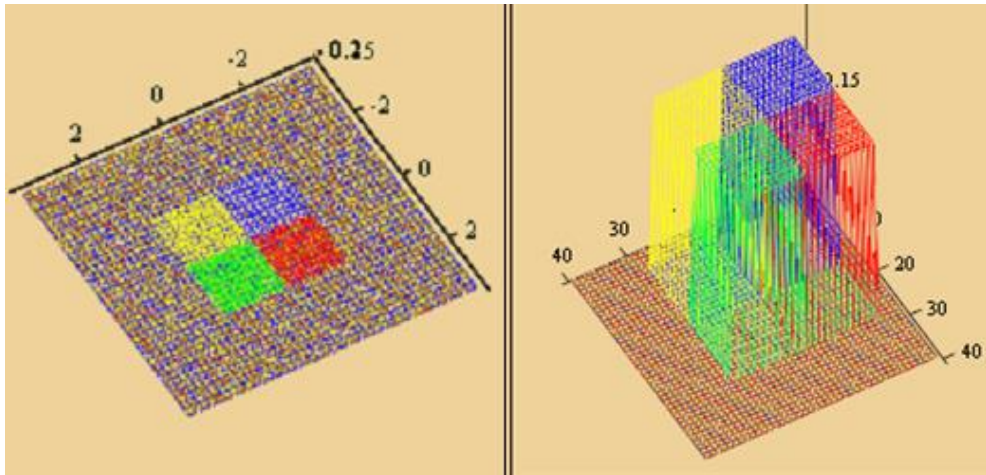


Рисунок 3.45 – Проекція другого шару.

Візуалізаційне зображення для третього шару наведено на рис. 3.46.

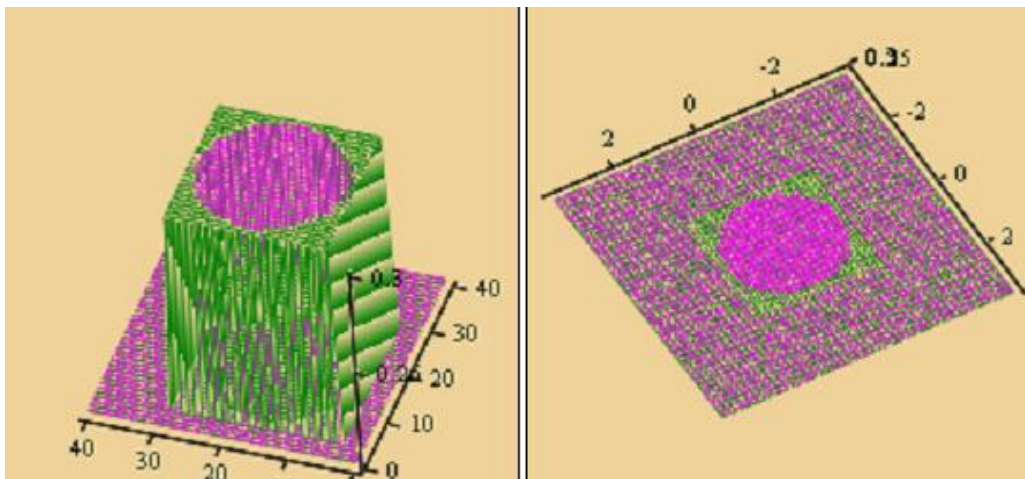


Рисунок 3.46 – Проекція третього шару

Розподіл коефіцієнту згасання всього ОК наведено на рис. 3.47.

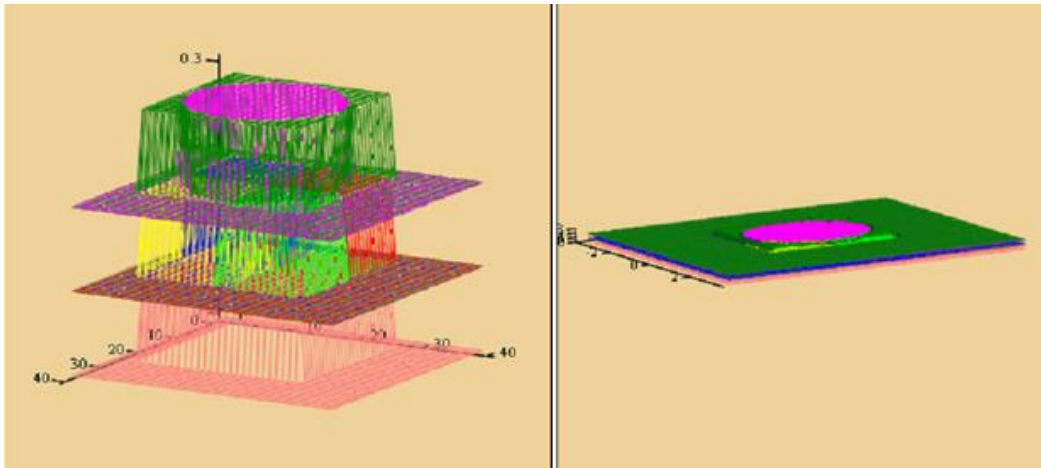


Рисунок 3.47 – Розподіл коефіцієнту згасання всього ОК

3.6 Програми моделювання отримання зображення

Спрощена модель просвічування ОК подана на рис.3.48.

Джерело випромінювання є точковим, а промені поширюються прямолінійно (не будемо враховувати дифракцію та заломлення на межі двох середовищ). Початок відліку системи координат приймемо в точці знаходження джерела випромінювання. Вісь z направимо від джерела випромінювання до екрану, на якому буде отримуватись зображення тіні ОК. Система координат – права. Об'єкт контролю розміщено між джерелом та екраном (рис. 3.48).

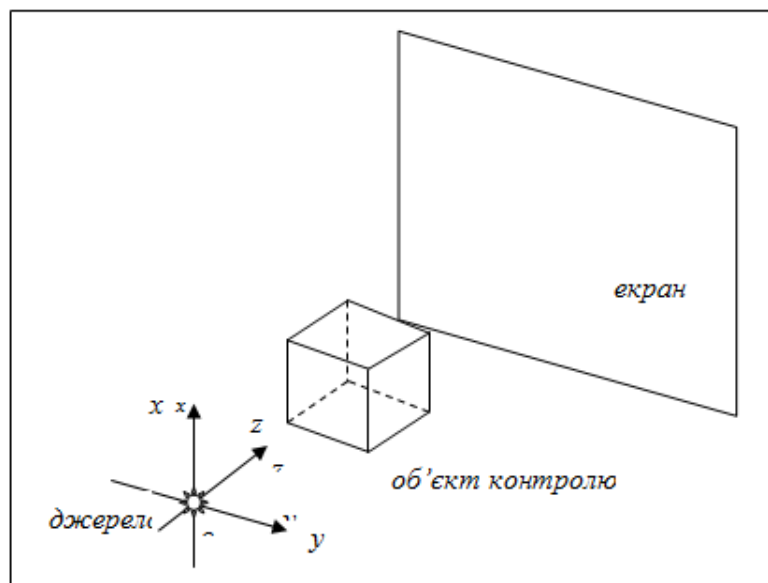


Рис. 3.48. Схематичне зображення моделі

Об'єкт ОК будемо задавати просторовим розподілом питомого коефіцієнту затування. Зображенням буде площинний розподіл на екрані загального затування випромінювання, що пройшло через ОК, тобто вважаємо, що детектор залишкового випромінювання – логарифмічний. Вважатимемо, що поза ОК затування відсутнє.

Запишемо аналітичний вираз функції розподілу затування на екрані:

$$F(\eta, \xi) = \int_{L_{\eta, \xi}} \alpha(x, y, z) dl.$$

Тут $L_{\eta, \xi}$ – лінія, що сполучає джерело та точку з координатами (η, ξ) на екрані;

$\alpha(x, y, z)$ – просторовий розподіл питомого коефіцієнту затування в ОК. Поза ОК $\alpha(x, y, z) = 0$.

Оскільки моделювання відбуватиметься на ЕОМ, то замість неперервного інтегрального розподілу запишемо дискретну формулу розподілу через скінченні суми:

$$F(\eta_i, \xi_j) = \sum_{L_{\eta_i, \xi_j}} \alpha(x, y, z) \Delta l.$$

Таким чином, ми ніби скануємо простір між джерелом та екраном, накопичуючи затування на кожному промені, що сполучає джерело з відповідною точкою екрану. Область сканування визначається розмірами екрану та заданими значеннями мінімальної та максимальної радіальних меж r_{\min} та r_{\max} . Таким чином, область сканування являє собою сектор порожнистої кулі з товщиною стінки $\Delta r = r_{\max} - r_{\min}$, обмежений площинами, що проходять через межі екрану та джерело випромінювання.

Оскільки ОК може мати довільне положення в просторі між джерелом та екраном, а задавати саме тіло легше на початку координат та без початкового повороту, то для визначення функції просторового розподілу питомого коефіцієнту затування $\alpha(x, y, z)$ використаємо наступний підхід.

Довільне положення тіла в просторі можна отримати поворотом тіла з центром у початку координат та наступним зсувом його. Відповідно, значення питомого коефіцієнта затухання $\alpha(x, y, z)$ можна отримати зворотно зсунувши деяку точку, в якій ми шукаємо значення $\alpha(x, y, z)$, зворотно повернувши її, та отримавши значення $\alpha(x, y, z)$ в цій точці для тіла, яке було повернуте та зсунуте для отримання досліджуваного тіла.

Зсув тіла легко задається додаванням зсувів окремих координат:

$$\alpha_1(x, y, z) = \alpha(x + \Delta x, y + \Delta y, z + \Delta z).$$

Для того, щоб задати поворот, використаємо відомі з геометрії формули повороту системи координат на кут:

$$\begin{aligned} x' &= x \cdot \cos(\gamma) - y \cdot \sin(\gamma), \\ y' &= x \cdot \sin(\gamma) + y \cdot \cos(\gamma). \end{aligned}$$

Наведені формули визначають поворот двовимірної системи координат. Щоб отримати поворот у трьох вимірах, треба по чергово виконувати повороти у взаємно перпендикулярних площинах yOz , zOx , xOy .

Наведена методика використана для розроблення програм отримання зображення тіні напівпрозорого ОК на екрані розміром 100×100 точок.

Побудуємо зображення тіні на екрані (рис.3.49) та варіанти тіней при обертанні ОК навколо координатних осей (рис.3.49 – 3.52):

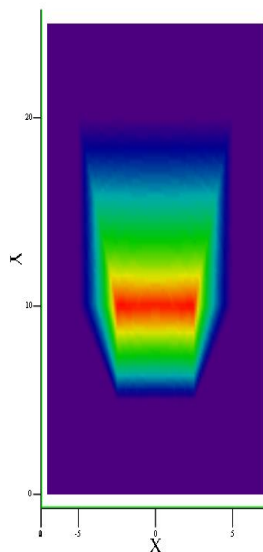


Рис. 3.49. Зображення тіні тіла

Обрахуємо параметри тіні тіла, що має вигляд паралелепіпеда із питомим коефіцієнтом згасання $\alpha = 1$, в середині якого розташований «пісочний годинник» із питомим коефіцієнтом затухання $\alpha = 4$, а також тіні цього тіла, якщо його обертати навколо однієї з осей. Обертати будемо навколо осі O_y з кроком обертання $d\beta = \frac{\pi}{12}$ (рис. 3.50 – 3.55).

Ці дванадцять тіней представляють собою варіації можливого обертання ОК, якщо цей об'єкт не має певного розташування усередині багажу, тобто неприв'язаний до певної осі інспекційної системи візуалізації.

Для виявлення вихідного ОК із довільним розташуванням у багажу ОК необхідно сформувати маски для кожного варіанту тіні і відшукувати подібні тіні на загальному візуалізаційному зображенні, що звичайно потребує багато часу.

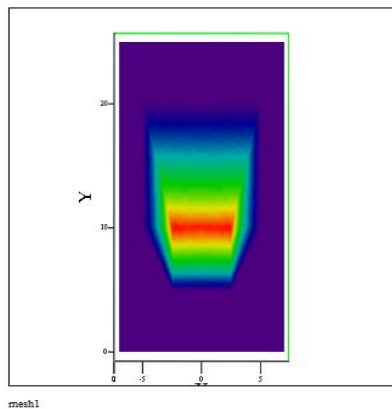


Рис. 3.50. Зображення тіні тіла
 $d\alpha = 0, d\beta = 0, d\gamma = 0$

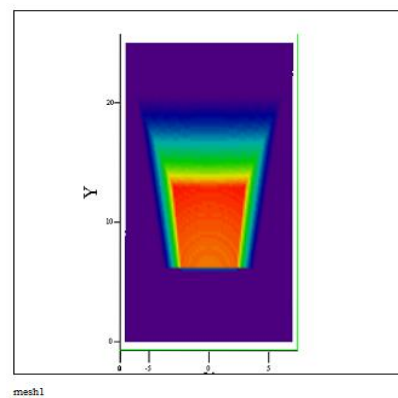


Рис. 3.51. Зображення тіні тіла
 $d\alpha = \frac{\pi}{6}, d\beta = 0, d\gamma = 0$

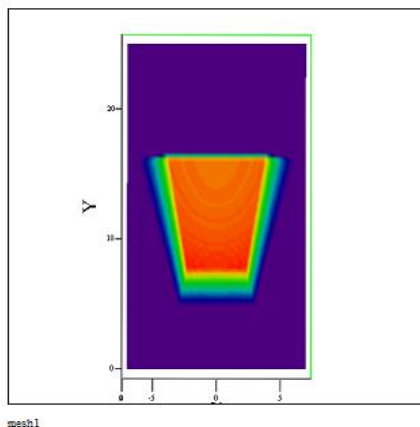


Рис. 3.52 Зображення тіні тіла
 $d\alpha = \frac{2\pi}{6}, d\beta = 0, d\gamma = 0$

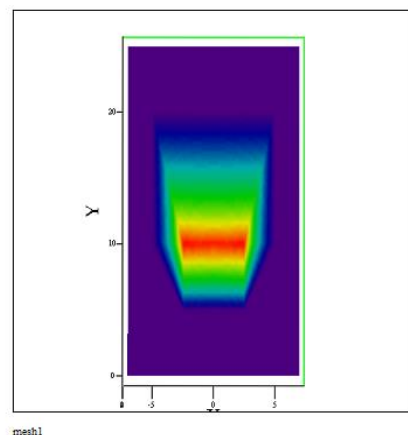


Рис. 3.53 Зображення тіні тіла
 $d\alpha = \frac{3\pi}{6}, d\beta = 0, d\gamma = 0$

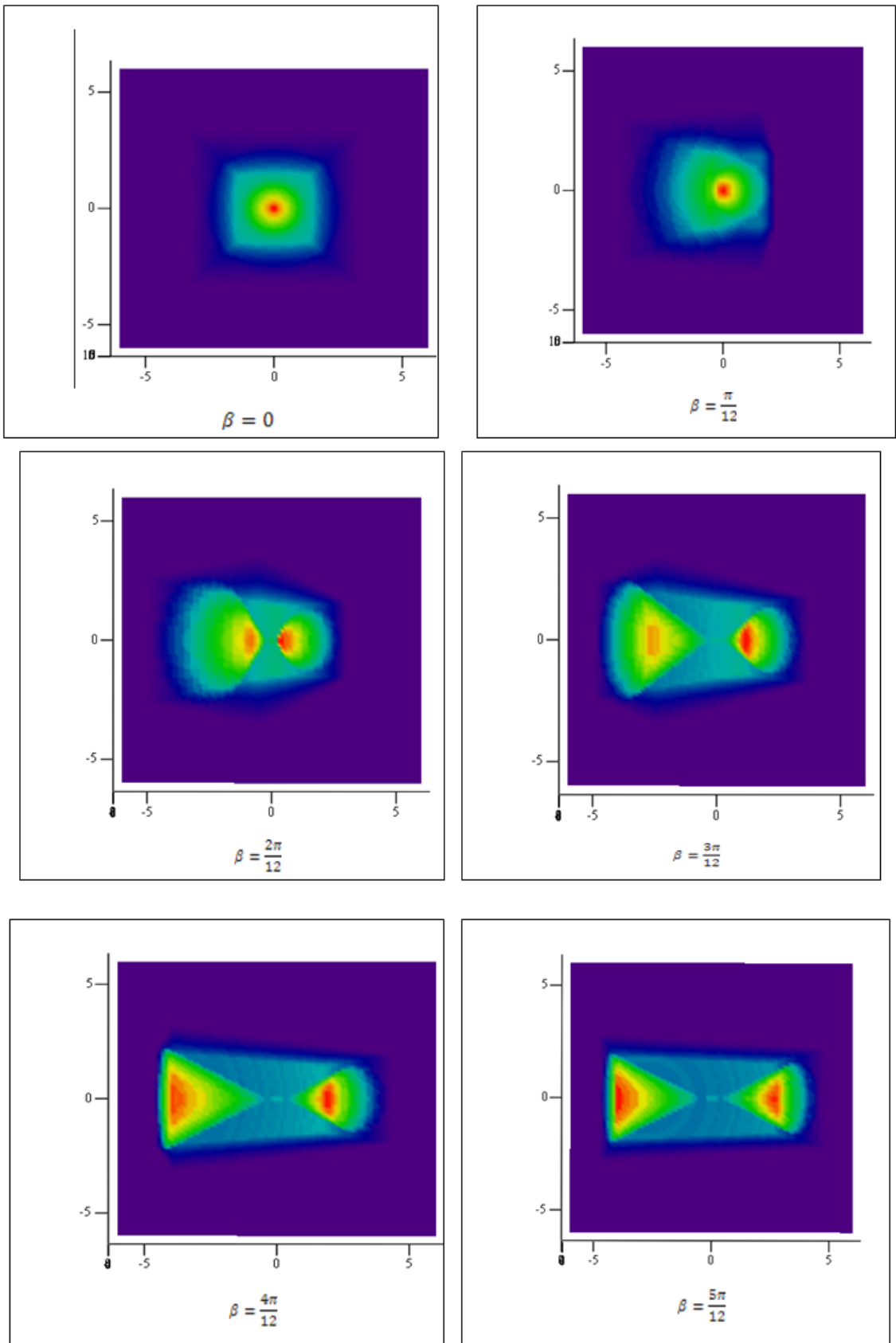


Рис. 3.54 Зображення тіні складного тіла (початок)

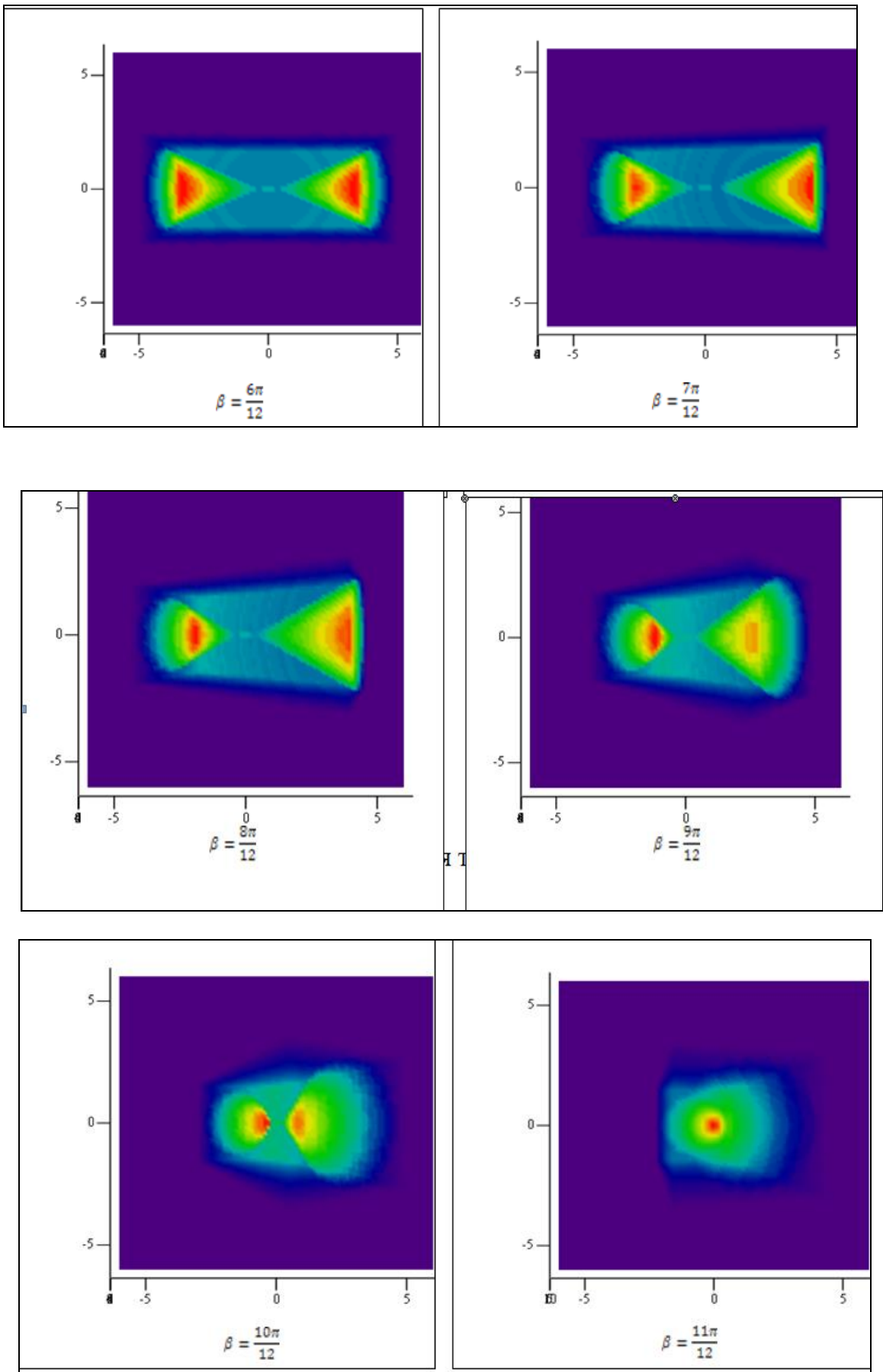


Рис. 3.55 Зображення тіні складного тіла (кінець)

3.7 Висновки до розділу

1. Розроблені в роботі аналітичні моделі у геометричному, математичному та програмному вигляді дозволяють отримати адекватні моделі візуалізаційних зображень внутрішніх структур ОК.

2. Розроблені аналітичні моделі легко перелаштовуються на генерацію проєкційних тіней певних видів ОК для різних ракурсів, сумісних груп тіл та взаємного розташування тощо.

3. Розроблене програмне забезпечення має просту структуру і не потребує великих обчислювальних ресурсів.

4. Найменш спотворень та найбільшу адекватність мають проєкційні тіні ОК від площинного джерела. Це пояснюється відсутністю крайового ефекту і може бути спостережено візуально.

5. Використання площинних джерел випромінювання з найменшими геометричними спотвореннями зображень при одночасному логарифмуванні сигналів може бути використано для подальшого спрощення спектральної та статистичної обробки.

Список публікацій здобувача:

1. Терещенко Л.Ю. Побудова аналітичних моделей отримання оптичного зображення внутрішньої структури об'єктів контролю / Семенов О.О./ Електроніка та системи управління: Вісник ІЕСУ.–№1(11).–2007.–С.212-218

2. Терещенко Л.Ю. Моделювання візуалізації внутрішньої структури об'єктів контролю / Семенов О.О./ Електроніка та системи управління: Вісник ІЕСУ.–№1(15).–2008.–С.144-148

3. Tereschenko L. Construction of obtaining optical image analytical models of internal structure controlled objects / Signal Processing Symposium (SPS), 2013/ Publication Year: 2013 , Page(s): 1 - 4

4. Терещенко Л.Ю. Построение аналитических моделей получения оптического изображения внутренней структуры объекта контроля / Водний транспорт. Збірник наукових праць.–№3(21).–2014.–С.60-65

5 Tereschenko L. Analytical modeling for optical imaging of controlled object's internal structure /Silantieva, I./ Signal Processing Symposium (SPS), 2013/ Publication Year: 2016, Page(s): 1 - 4

6. Терещенко Л.Ю. Теоретичні основи та принципи побудови технічних засобів служби авіаційної безпеки / Семенов О.О., Соломенцев О.В., Заліський М.Ю., Хмелько Ю.М./ навчальний посібник.–2016.

7. Терещенко Л.Ю. Системи і пристрої доглядової техніки та їх експлуатація / Семенов О.О., Соломенцев О.В., Заліський М.Ю., Хмелько Ю.М./ навчальний посібник.–2014.

8. Терещенко Л.Ю. Моделирование оптического изображения внутренней структуры объектов контроля / Чепіженко В.І./ Проблеми інформатизації та управління.–№2(54).–2016.–С.73-81

9. Tereshchenko L. J. Method for optical imaging of the three-dimensional manifold structure / Chepizhenko V. I/ Electronics and Control Systems 2017. N 2(52): 16-19

Матеріали конференцій

Основні положення та результати досліджень доповідалися і обговорювалися на 17 конференціях з них 2 входять до міжнародної наукометричної бази Scopus. Перелік конференцій: Міжнародна НТК «АВІА–2006» (Київ, 2007); VII Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2007» (Київ, 2007); VIII Міжнародна НТК «АВІА–2007» (Київ, 2007); IX Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2009» IX Міжнародна НТК «АВІА–2009» (Київ, 2009); X Міжнародна НТК «АВІА–2011» (Київ, 2011); «Statistical Methods of Signal and Data Processing (SMSDP-2010)»: International Conference, Kiev, Ukraine, October 13-14, 2010, VIII Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2008» (Київ, 2008); IX Міжнародна НК студентів та

молодих учених «Політ–2009» (Київ, 2009); X Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2010» (Київ, 2010); XI Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2011» (Київ, 2011); XII Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2012» (Київ, 2012); на Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів та молодих учених «Проблеми навігації та управління рухом» у 2011р., на IV Всесвітньому конгресі “Авіація у XXI столітті”, на науково-технічній конференції «Проблеми розвитку глобальної системи зв’язку навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM», 2016 р.

4 СПЕКТРАЛЬНА ОБРОБКА ТІНЕЙ ОБ'ЄКТІВ КОНТРОЛЮ

4.1 Застосування перетворення Фур'є для двовимірного випадку

Розробникам технічних засобів для служби авіаційної безпеки висунута задача значного підвищення ефективності – достовірного виявлення корисних сигналів із суміші із завадами – цих засобів. Процес виявлення ґрунтується на застосуванні статистичних та фільтраційних методів обробки сигналів, що у свою чергу базуються на методах комп'ютерного моделювання [9, 26].

Мета розділу – на базі розроблених аналітичних моделей багатовимірних тіней напівпрозорих об'єктів отримання спектральних образів цих об'єктів за допомогою перетворення Фур'є.

Більша частина відомих результатів у сфері обробки зображень не приділяла достатньо уваги аналізу зображень внутрішньої структури об'єктів контролю (ОК), тобто проєкційним тіням, що отримані за допомогою проникного випромінювання. Це призводить до того, що під час використання службами авіаційної безпеки доглядової техніки виникає велика кількість хибних спрацьовувань. Аналіз тіней ОК та спектральне виявлення цих тіней на фоні завад набагато спростило б роботу операторів САБ, які знаходяться за пультами доглядової техніки.

Алгоритм обробки зображення в частотній області має велику обчислювальну складність, яка обмежує їхнє використання для роботи із зображенням в реальному часі, але дозволяє вирішити ряд задач з покращання зображення, пряме вирішення яких в просторовій області складне або неможливе взагалі.

4.2 Фільтрація зображення в частотній області

Кожний елемент Фур'є-образу $F(u, v)$ містить всі відліки функції $f(x, y)$, помножених на значення експоненціальних членів./ Оскільки частота прямо

зв'язана зі швидкістю змінення сигналу, то частоти Фур'є - перетворення пов'язані з варіацією яскравості на зображенні. Низькі частоти, які відповідають точкам поблизу початку координат Фур'є перетворення, належать компонентам зображення, що змінюються повільно.

Процедура фільтрації у частотній області досить проста і складається з таких кроків (рис. 4.1): обчислюємо пряме дискретне перетворення Фур'є $F(u,v)$ зображення; Функцію $F(u,v)$ множимо на функцію фільтра $H(u,v)$; обчислюється зворотне перетворення від результату $H(u,v)F(u,v)$; виділяємо дійсну частину результату кроку .

Процедура фільтрації у частотній області досить проста і складається з таких кроків (рис. 4.1):

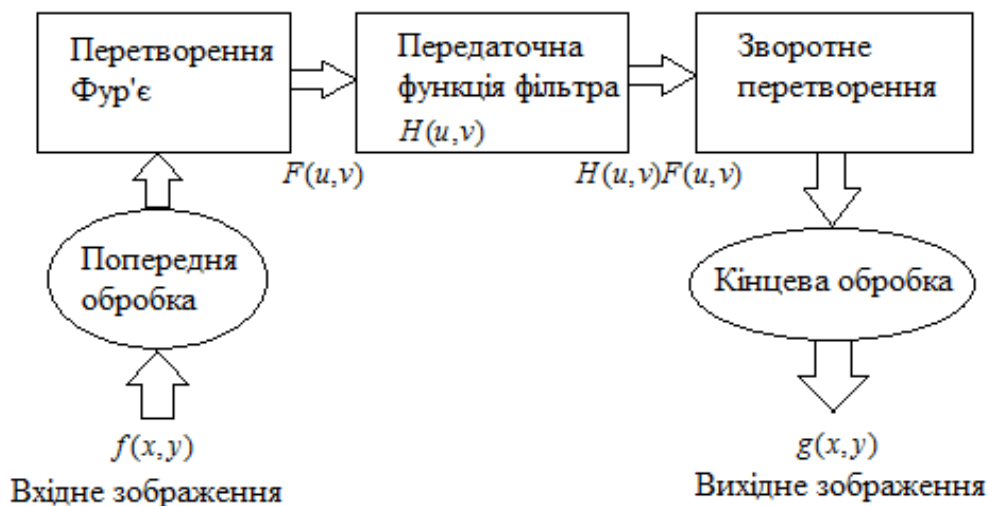


Рис. 4.1. Основні етапи фільтрації в частотній області

Найпростіший ФНЧ – це фільтр, який обрізає всі високочастотні складові Фур'є-образу, що знаходяться на більшій відстані від початку координат перетворення, ніж деяка задана відстань D_0 . Такий фільтр називається двовимірним ідеальним ФНЧ і має передаточну функцію

$$H(u,v) = \begin{cases} 1 & \text{при } D(u,v) \leq 0, \\ 0 & \text{при } D(u,v) > 0, \end{cases} \quad 4.5$$

де D_0 – задана невід’ємна величина, а $D(u, v)$ визначає відстань від точки (u, v) до початку координат (центр частотного прямокутника).

На рис. 4.2, *a* зображено тривимірний вигляд функції $H(u, v)$, а на рис. 4.2, *б* – поверхня, яку задає ця функція. Назва ідеальний фільтр вказує на те, що частоти в середині круга радіусом D_0 проходять без змін, а інші придушуються фільтром повністю. Це означає, що радіального профілю, функції відстані від початку координат достатньо, щоб задати фільтр (рис. 4.2, *в*). А сама передаточна функція отримується обертанням профілю на 360° .

У такому випадку відстань від довільної точки (u, v) до центру (початку координат) Фур’є перетворення задається формулою

$$D(u, v) = \left[\left(\frac{u - M}{2} \right)^2 + \left(\frac{v - N}{2} \right)^2 \right]^{1/2}. \quad (4.6)$$

На відміну від ідеального ФНЧ (рис.4.3) фільтр Баттерворта (рис.4.4) не має розривів, які встановлюють точну границю поміж частотами, що обрізуються і пропускаються. Для фільтра з гладкою передаточною функцією звичайною практикою являється визначення місця частот, що обрізуються, як множина точок, у яких значення функції $H(u, v)$ стає меншою деякої частини її максимального значення.

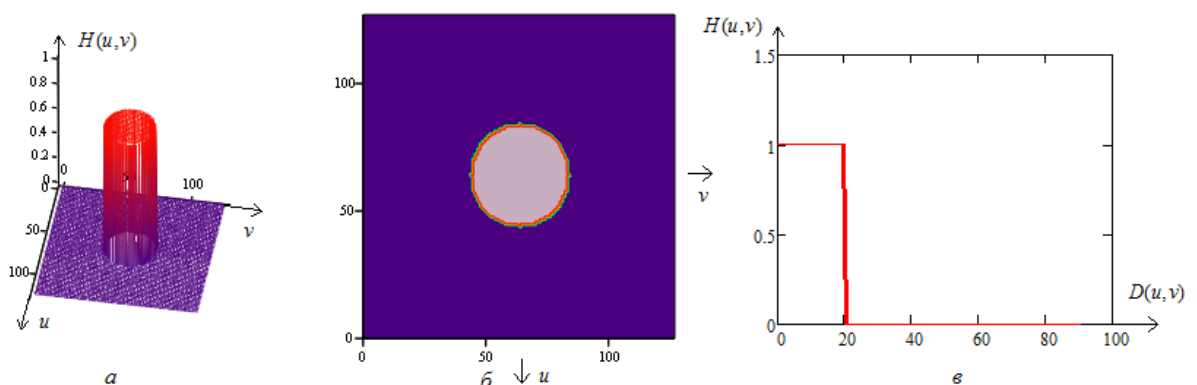


Рис. 4.2. Ідеальний ФНЧ: *a* – тривимірне зображення ідеального ФНЧ; *б* – представлення фільтра у вигляді поверхні; *в* – радіальний профіль фільтра

Передаточна функція ФНЧ Баттерворта n порядку з частотою зрізу на відстані D_0 від початку координат задається формулою

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + \left[\frac{D(u, v)}{D_0} \right]^{2n}}, \quad (4.7)$$

де відстань $D(u, v)$ задано формулою (4.4). Тривимірне зображення, зображення фільтра у вигляді поверхні і радіальне зображення ФНЧ Баттерворта наведено на рис. 4.4.

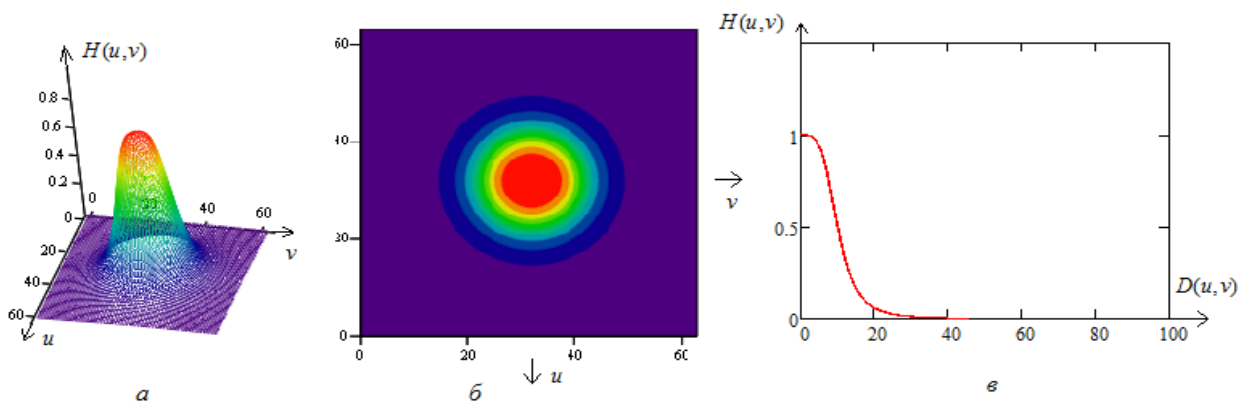


Рис. 4.3. – Фільтр Баттерворта: a – зображення передаточної функції ФНЧ Баттерворта; b – представлення фільтра у вигляді поверхні; v – радіальний профіль фільтра

Отже, частотну область можна вважати досить широким полем для дослідження візуалізаційних зображень ОК. Деякі задачі з покращання зображення ОК, пряме вирішення яких в просторовій області є досить складним або взагалі неможливим, стають найпростішими у частотній. Обираючи деякі характеристики фільтра для експериментування з ним у частотній області, ми здійснюємо реалізацію цього методу у просторовій області.

4.3. Стійкий до розташування ОК на полі екрану алгоритм виявлення сигналів візуалізаційних систем

Числове подання результатів рентгенівського контролю вигідно відрізняє і доповнює звичну для інтроскопії форму відображення досліджуваних об'єктів у вигляді світлових чи кольорових зображень.

Безконтактність дослідження і запам'ятовування цифрової інформації про об'ємну структуру ОК на тривалий час створюють якісно нові можливості використання результатів томографічного контролю при контролі промислових зразків і високу оперативність при використанні РОТ у службі авіаційної безпеки.

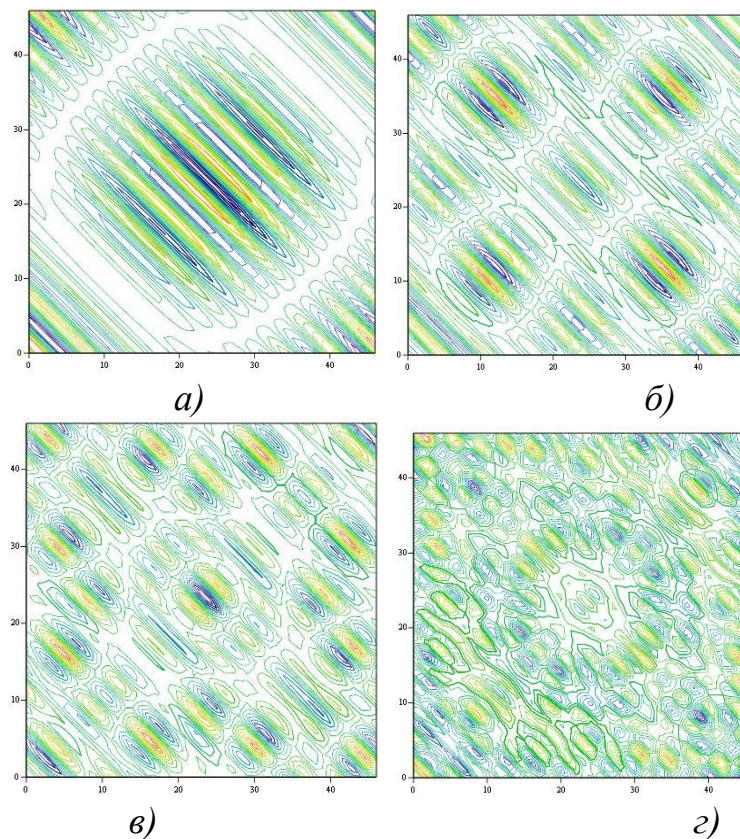


Рис. 4.4. Двовимірні просторові спектри кола з радіусами:

$a - 1$, $б - 3$, $в - 5$ і $з - 10$ на площині 100×100

На рис.4.4 наведені просторові спектри тіней непрозорого кола, який розташований практично над центром екрану. Зменшення радіусу кола з 10

одиниць до однієї призводить, як і годиться, до збільшення головної пелюстки спектру k . Значення амплітуди спектру кодується у програмному середовищі кольором чи у монохромному варіанті відтінками сірої гами, що і спостерігається на рисунках.

На рис.4.5 наведено амплітудний спектр зображення тіні непрозорого кола на площині екрану розміром 100×100 з пересунутим центром кола відносно його первинного положення з відповідним просторовим спектром рис.4.5 *a*. Ліва частина рис.4.5 – зображення просторового спектру кола з координатами $(20, 20, 10)$, а права – $(40, 40, 20)$. Схоже пересування тіней інших кіл також не впливає на спектрограму. Можливі деякі спотворення на краях екрану, що залежить від параметрів матриці зображення.

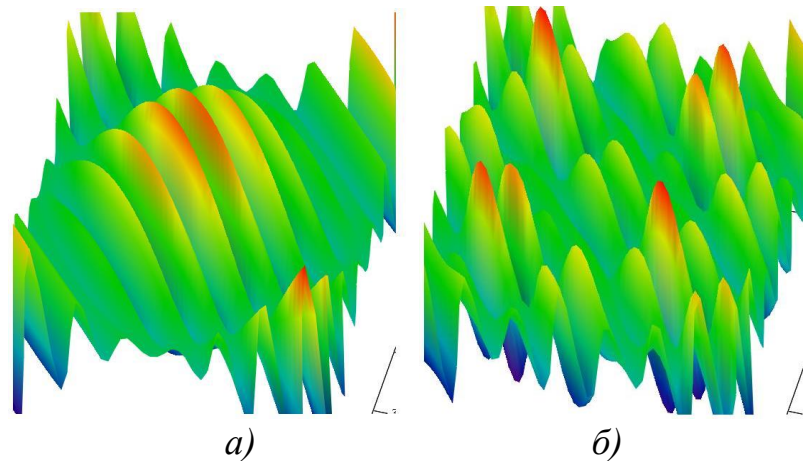


Рис. 4.5. Тривимірні зображення двовимірних просторових амплітудних спектрів тіні кола з радіусом: $a - 1$, $b - 3$.

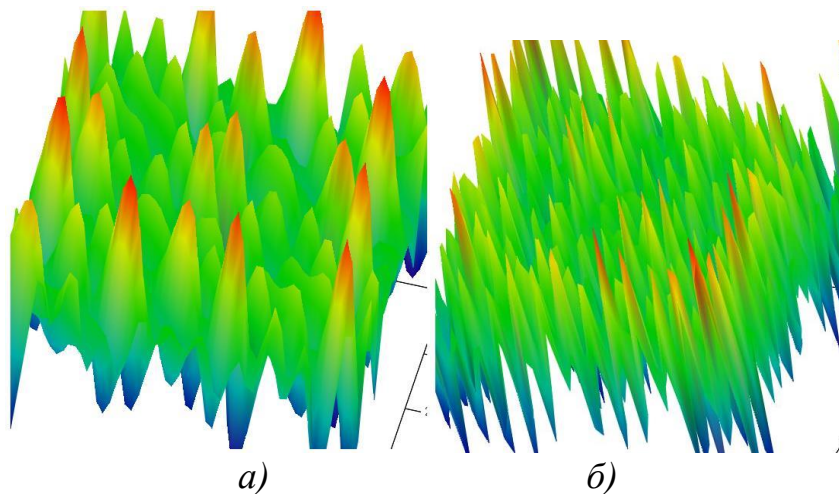


Рис. 4.6. Тривимірні зображення двовимірних просторових амплітудних спектрів тіні кола з радіусом: $a - 5$, $b - 10$.

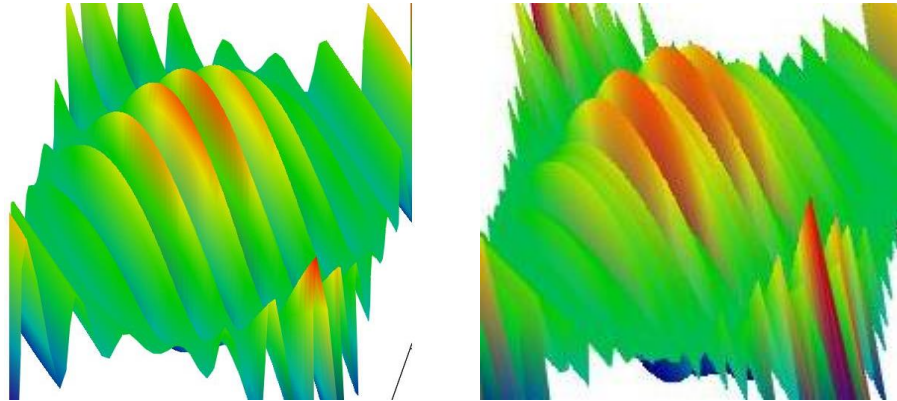


Рис. 4.7. Тривимірне зображення двовимірного просторового амплітудного спектру тіні кола з радіусом 1 і різним розташуванням над екраном

Інваріантність обчисленого спектру до розташування об'єкту контролю на площині екрану надає можливість застосування алгоритмів обрахування двовимірних просторових спектрів візуалізаційного зображення стосовно розшукуваних образів деяких аномалій зображень в інтроскопічних системах візуалізації САБ.

Тобто, шуканому розподілу щільності речовини об'єкту контролю $\mu(x, y)$ треба поставити у відповідність його двовимірний просторовий спектр – Фур'є-образ $M(k_x, k_y)$. У подальшій обробці візуалізаційних даних знаходимо рішення у частотному просторі $M(k_x, k_y)$, а потім через обернене перетворення Фур'є обраховується шуканий розподіл $\mu^*(x, y)$. Цей отриманий розподіл перебиранням ставиться у відповідність тим образам, що знаходяться у пам'яті інтроскопічної системи. Рішення приймається про виявлення певного об'єкту після співпадиння отриманого образу $\mu^*(x, y)$ та маски $\mu(x, y)$.

На рис.4.8 наведено спектри зображень різних тіней непрозорих ОК простої форми на площині екрану розміром 100x100 які розташовані практично над центром екрану.

Нижче наведені приклади перетворення Фур'є функцій різних тіней простих форм у програмі *MathCad* (рис 4.8 - 4.12).

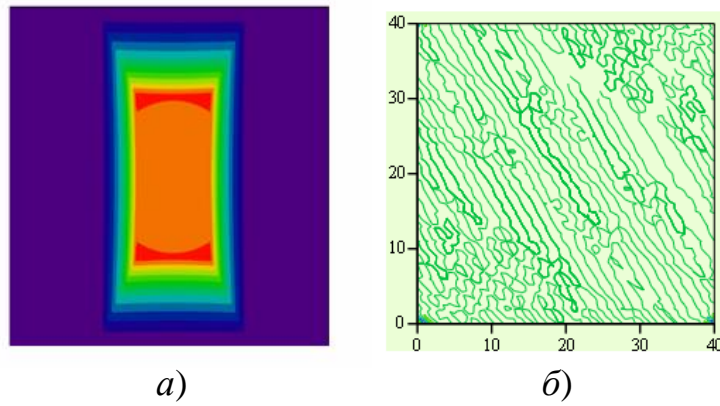


Рис. 4.8. Тінь (а) паралелепіпеда та її спектр (б)

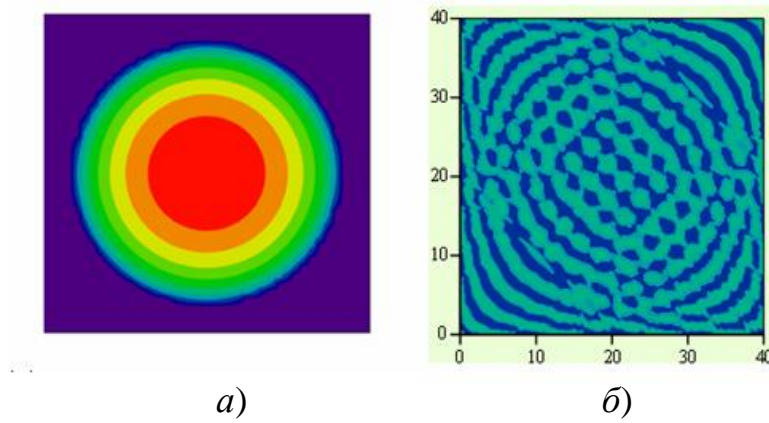


Рис. 4.9. Тінь (а) кулі та її спектр (б)

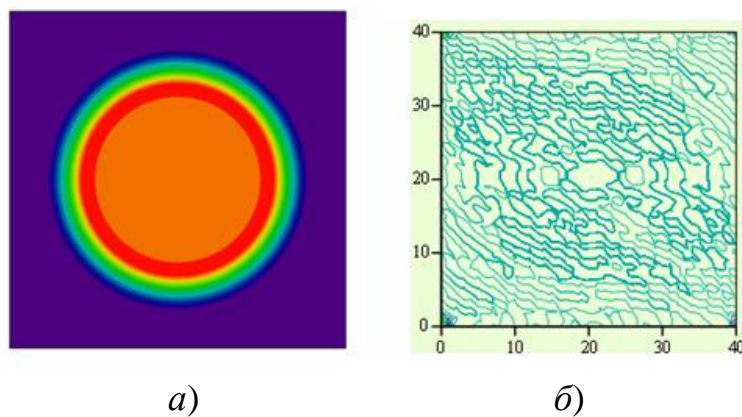


Рис. 4.10. Тінь (а) циліндра та її спектр (б)

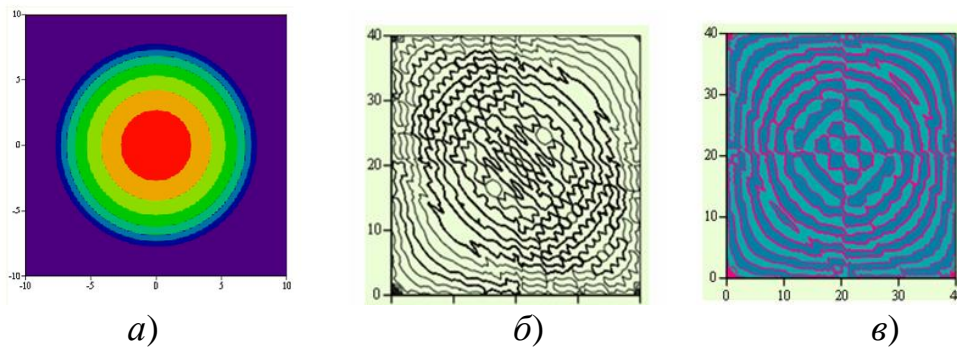


Рис. 4.11. Тінь (а) конуса та її спектр (б, в)

На одній площині розташовано тіні двох паралелепіпедів, та отримані їх спектральні образи (рис. 4.12). На цьому рисунку можна побачити, що шукані об'єкти виявлені.

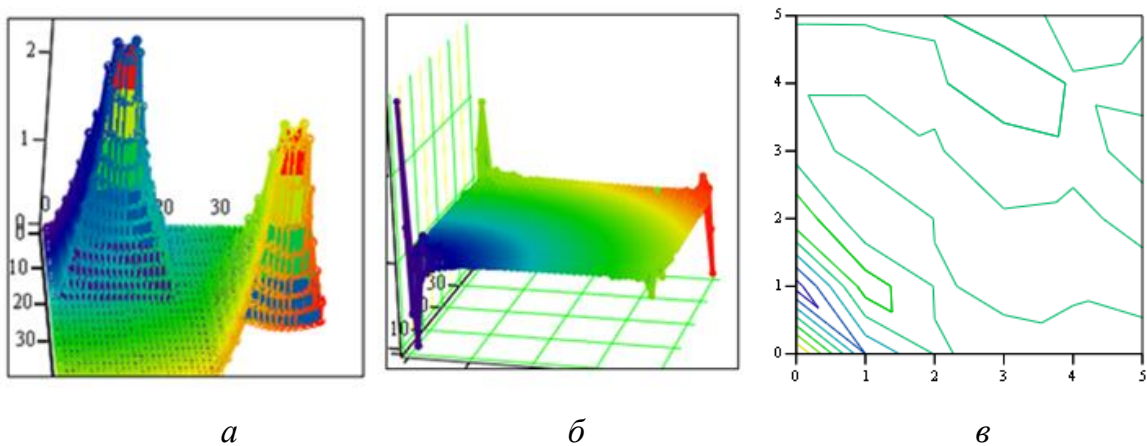


Рис. 4.12. Тіні двох паралелепіпедів та їх спектр

a – тіні двох паралелепіпедів; *б* – тривимірне зображення спектру тих тіней; *в* – двовимірна проекція спектру тіней паралелепіпедів.

Приклад розташування у просторі одного об'єкту – кулі, її тінь та отриманий спектральний образ цього об'єкту наведені на рис. 4.13.

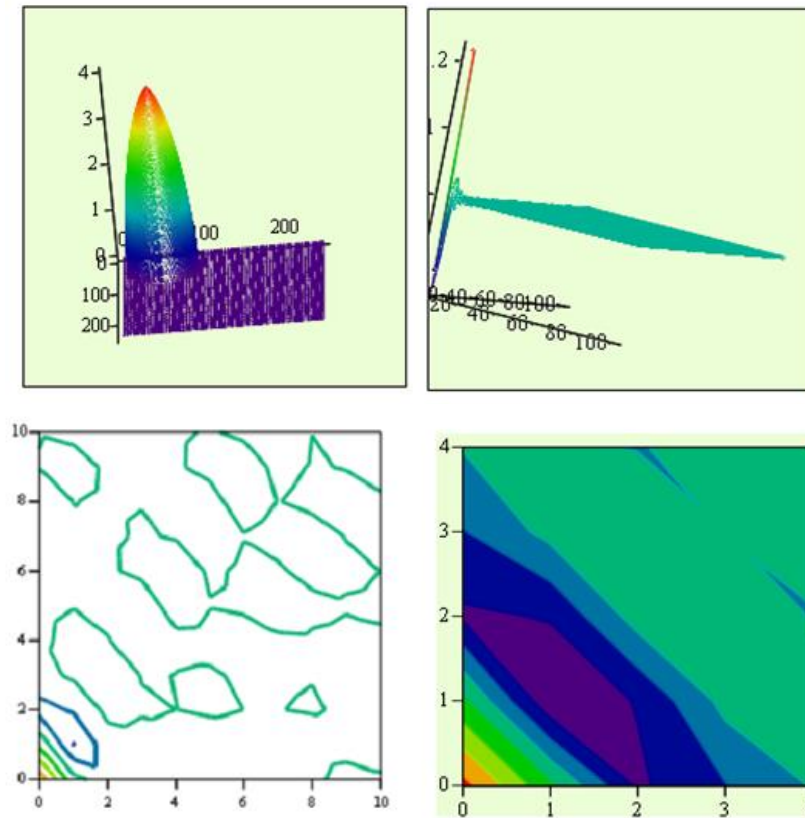


Рис. 4.13. Тінь кулі на площині та її спектр

На поданих нижче рисунках наведені спектральні образи тіней паралелепіпеда та кулі, які були розташовані у просторі (рис 4.14). Для подальшого виявлення необхідно зформувати два 2D фільтра з певними спектральними характеристиками.

Моделювання показує, що найпростіші тіла мають тіні з перехідними характеристиками, напівтінями, спотвореннями типу кратера там, де взагалі пласкі опромінювані площини. Зміна ракурсу опромінення змінює тінь до невпізнаваності. Для чіткого достовірного виявлення передбачуваних ОК необхідно автоматизувати процес розпізнавання тіней з урахуванням можливих співвідношень відстаней між джерелом, ОК та екраном-приймачем, ракурсів опромінення тощо.

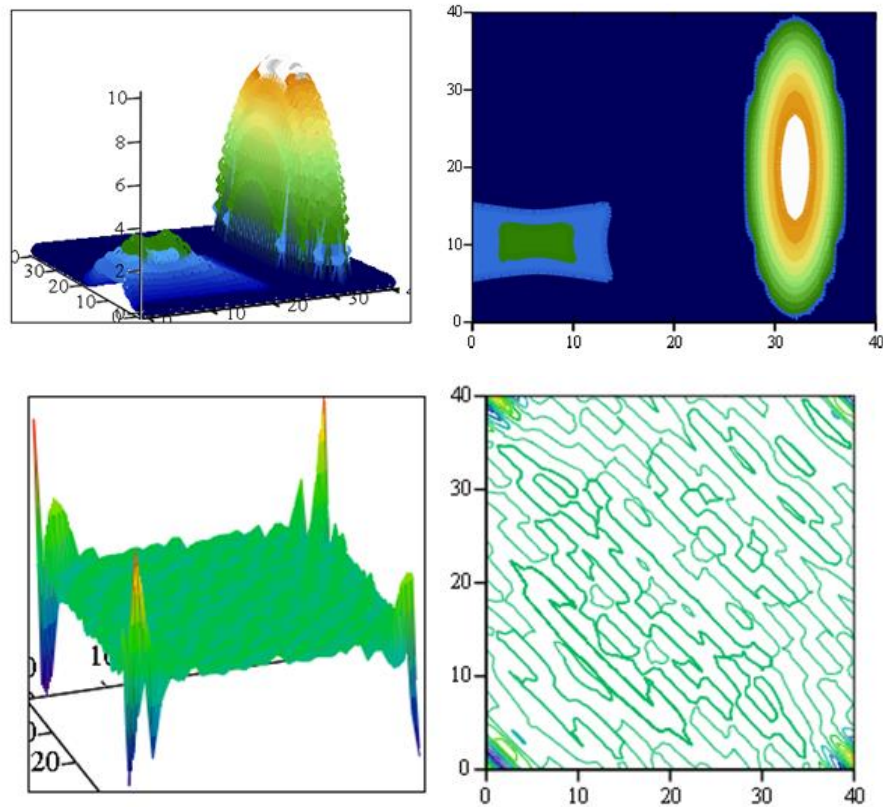


Рис. 4.14. Тіні паралелепіпеда й кулі та спектр їх сумісної тіні

4.3 Спектральний виявлювач

Розглянуті у попередніх розділах процедури та математичні моделі відносяться до побудови тіньових зображень та їх фільтрації. Під час використання інтроскопічних систем з метою забезпечення автоматизації догляду та підвищення достовірності прийняття рішень щодо наявності у ОК заборонених предметів та речовин виникають задачі виявлення різних за формою та розташуванням ОК. У цьому параграфі розглянута задача виявлення ОК заданої форми.

Для цього на прикладі лінійного фільтра була побудована модель спектрального виявлювача у середовищі *Matlab*. При цьому виявлення відбувається незалежно від розташування ОК та незалежно від його форм та розмірів.

Розглянуті моделі – тіні двох об'єктів на полі з заданими межами. Один об'єкт – це звичайний квадрат, а інший, це модель автомата типу «УЗІ» (рис. 4.15). Також змодельований білий гаусівський шум та суміш зображення та шуму (рис. 4.16). Розроблена програма дозволяє виявити ОК із заданою ймовірністю хибних спрацьовувань для відповідного порогу рішення у залежності від розмірів ОК. Програма обчислює ймовірність правильного виявлення сигналу від ОК.

На рисунку 4.15 отримані тіні для об'єктів контролю (сигналів) з висотою 1 умовна одиниця.

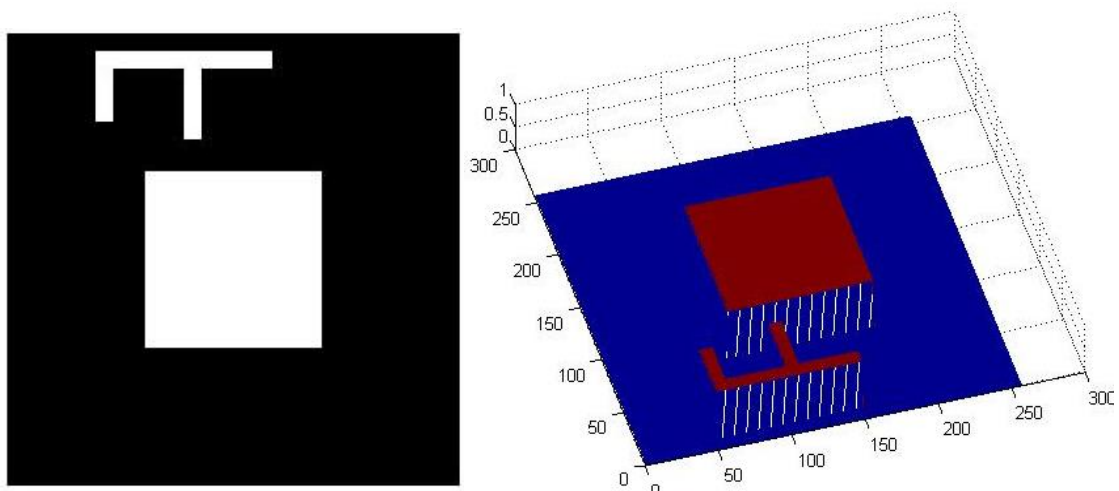


Рис. 4.15 – Модель тіні ОК

На тінь ОК накладається гаусівський некорельований шум. Суміш корисного сигналу і шуму показано на рисунку 4.16.

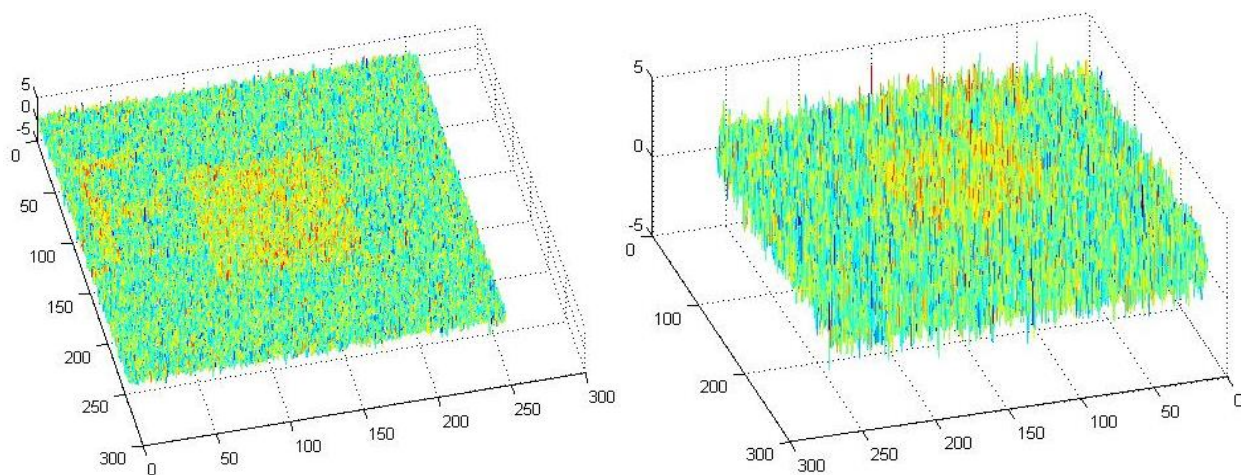


Рис. 4.16. Суміш сигналу з шумом для амплітуди сигналу 1

Для оптимального виявлення ОК застосован критерій Неймана – Пірсона.

Згідно з критерієм Неймана–Пірсона пороговий рівень V визначається з умови, що при заданій ймовірності хибної тривоги F ймовірність правильного виявлення D , була максимальною. Отже, оптимальний характер критерія Неймана–Пірсона полягає у тому, що максимізує ймовірність правильного виявлення при фіксованій ймовірності хибної тривоги.

Помилки процесу прийняття рішення ілюструє табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Імовірності помилок під час прийняття статистичних рішень.

Гіпотеза	$\gamma (X_1, \dots, X_n)$	
	0	1
H0	$1-\alpha$	α
H1	β	$1-\beta$

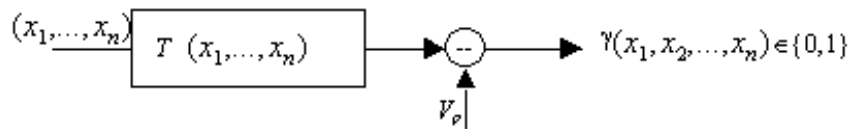


Рис. 4.17. Узагальнена структурна схема виявляча сигналів

Після проведення серії з m випробувань підраховують кількість одиниць k , що зафіксована в цій серії і оцінюють ймовірність правильного виявлення сигналу

$$D(b) = k/m.$$

Точність оцінок ймовірностей F і D в методі статистичних випробувань визначається точністю моделювання сигнально-завадової ситуації і кількістю випробувань m . Зі зростанням m ця точність збільшується [27].

Програма виявлювана створена у середовищі *MatLab*. У цій програмі поріг обраний таким чином, що за 1000 експериментів було 30 (при 100% - 3% хибних) хибних спрацьовувань. Зі збільшенням відношення сигнал/шум ймовірність правильного виявлення зростає.

Крім того слід зазначити, що у програмі проводиться розрахунок характеристик виявлення. Приклад цих характеристик наведено на рис. 4.18.

На цих графіках видно, що при зменшенні порогу прийняття рішень характеристика виявлення більш ефективна, однак при цьому ймовірність хибного виявлення збільшується.

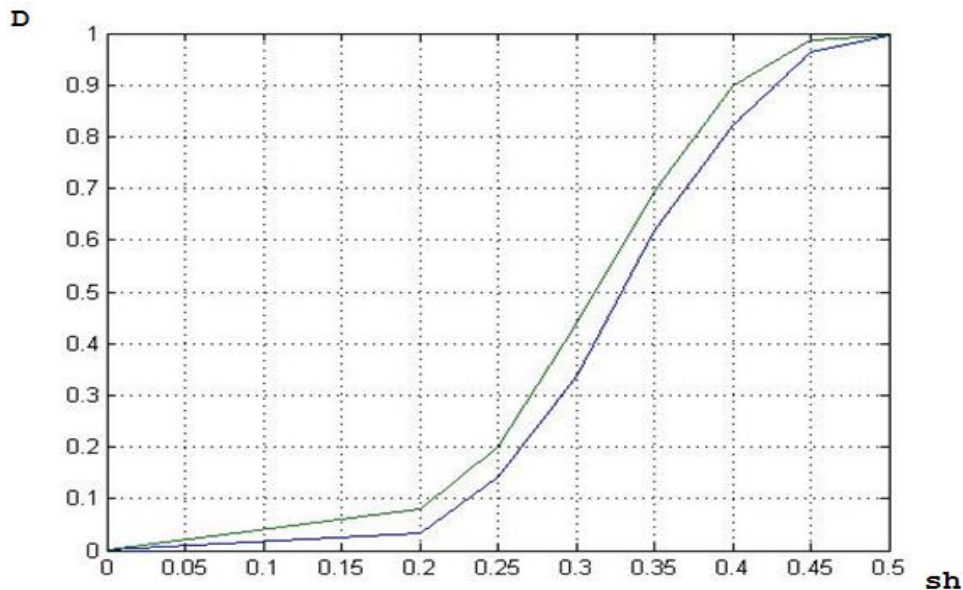


Рис. 4.18. Характеристики виявлення сигналу при різних відношеннях сигнал/шум для вибірки 1000 та значення хибних тривог $F=0.05$ (вищий графік) та $F=0.03$ (нищий графік)

Аналіз показав, що розроблений спектральний виявлювач має хороші характеристики виявлення навіть за малих значень відношення сигнал/шум. Інший спосіб виявлення, це використання фільтрів з різними масками.

4.4 Фільтрація зображень

Звичайно, зображення, сформовані різними інформаційними системами, як вже зазначалось, спотворюються під дією завад. Це ускладнює як їхній візуальний аналіз людиною-оператором, так і автоматичну обробку. Під час розв'язання деяких завдань обробки зображень у якості завад можуть виступати ті або інші компоненти самого зображення. Наприклад, при аналізі зображення ОК може стояти завдання визначення границь поміж його окремими ділянками – органікою і неорганікою, металом і пластмасою, тощо. (рис. 4.19) [26].

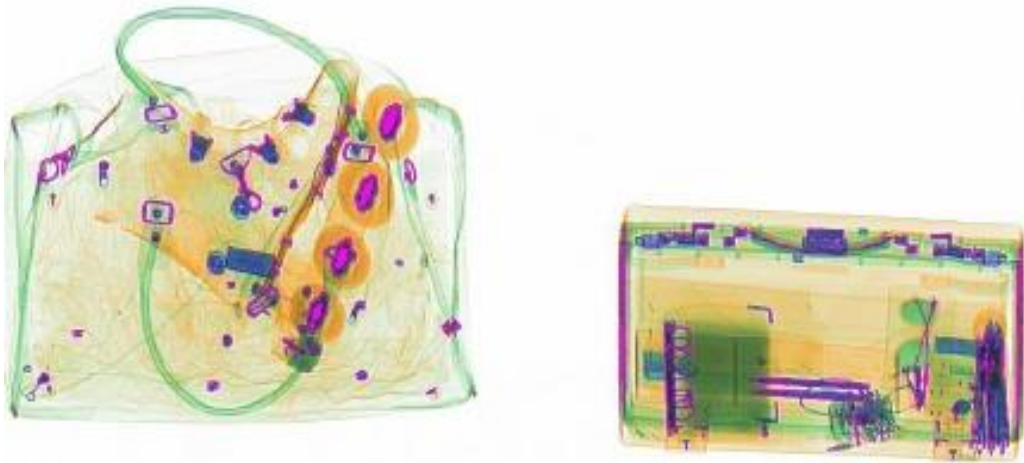


Рис. 4.19. Рентгенівське зображення ручної поклажі з виділенням контурів металевих предметів

Ослаблення завад досягається фільтрацією. При фільтрації яскравість (сигнал) кожної точки вихідного зображення, спотвореного завадою, замінюється деяким іншим значенням яскравості, яке визнається в найменшому ступені спотвореним завадою (рис. 4.20).

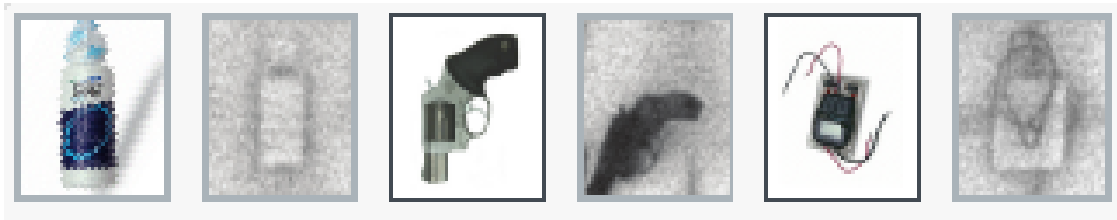


Рис. 4.20. Рентгенівські зображення небезпечних предметів без обробки фільтрами

Основою для таких рішень може послужити те, що зображення часто являє собою двовимірну функцію просторових координат, яка змінюється за цими координатами повільніше (іноді значно повільніше), ніж завада, що також є двовимірною функцією. Це дозволяє при оцінюванні корисного сигналу в кожній точці кадру взяти до уваги деяку множину сусідніх точок, скориставшись певною подібністю сигналу в тих точках. В інших випадках, навпаки, ознакою

корисного сигналу є різкі перепади яскравості. Однак, як правило, частота цих перепадів відносно невелика, так що на значних проміжках між ними сигнал або постійний, або змінюється повільно. І в цьому випадку властивості сигналу виявляються при спостереженні його не тільки в локальній точці, але й при аналізі її окола.

Таким чином, ідея фільтрації ґрунтується на раціональному використанні даних як з робочої точки, так і з її окола. Фільтрація не може бути по-елементною процедурою обробки зображень.

4.6 Фільтрація деталей зображення та виділення їх контурів

З погляду розпізнавання й аналізу об'єктів на зображенні найбільш інформативними є не значення яскравостей об'єктів, а характеристики їхніх границь – контурів. Основна інформація закладена в їхніх обрисах. Завдання виділення контурів складається в побудові зображення саме границь об'єктів і обрисів однорідних областей.

Процедуру виділення контурів ілюструє схема, зображена на рис. 4.21.

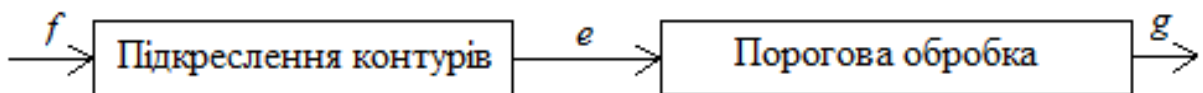


Рис. 4.21. Порогова обробка зображень

Вихідне зображення f піддається лінійній або нелінійній обробці для того, щоб виділити перепади яскравості. В результаті цієї операції формується зображення e , функції яскравості якої значно відрізняються від нуля тільки в області різкої зміни яскравості зображення f . Далі в результаті обробки із зображення e формується графічний (контурний) об'єкт g . Правильний вибір порогу на другому етапі повинен виходити з наступних домислів. При надто високому порогові можуть появитись розриви, а слабкі перепади яскравості не

будуть виявлені. За надто низького порогу із-за шумів і неоднорідності області можуть з'явитися хибні контури.

На рис. 4.22, *а* показане вихідне зображення, а також результат фільтрації з використанням фільтра Робертса (рис. 4.22, *б*).

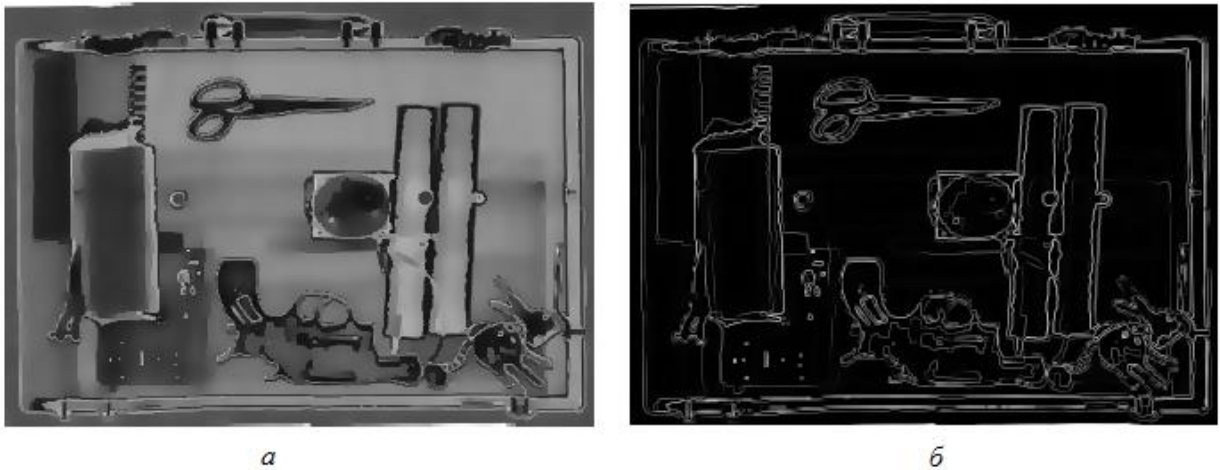


Рис. 4.22. Результат фільтрації фільтром Робертса:

а – вихідне зображення;

б – відфільтроване зображення

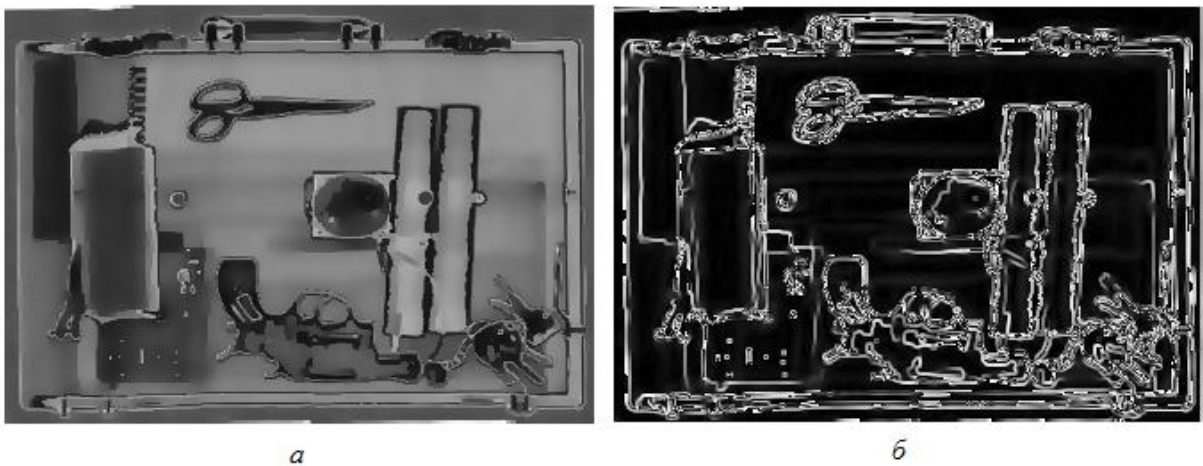


Рис. 4.23. Результат фільтрації фільтром Собела:

а – вихідне зображення; *б* – відфільтроване зображення

При проходженні інтроскопу були отримані тіні ОК у вигляді набору куль різного діаметру, та набору кубиків з різними довжинами ребер, які розміщені

довільно (модель отримання тіней розроблена у розділі 2). В інтроскопі використовується площинне джерело випромінювання, що дає найменші спотворення тіней ОК після проходження інтроскопу. Тому отримане зображення з тінями об'єктів контролю матиме вигляд, як показано на рис. 4.24. Фон для зображення обрано довільний, для більш точної, та наочної демонстрації аналізу змодельованого зображення.

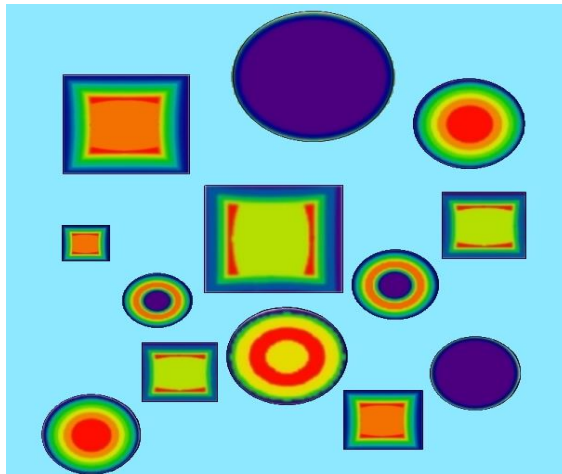
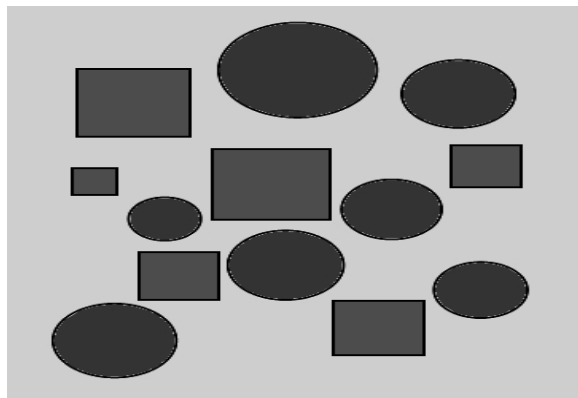


Рис. 4.24 . Априорне зображення ОК при використанні площинного джерела випромінювання

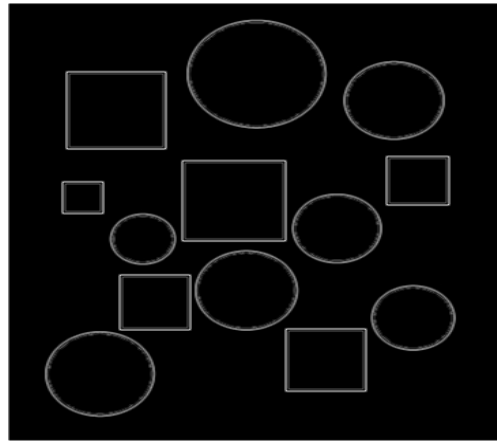


Р

Рис. 4.25 . Оригінал зображення у палітрі сірого

Після переводу зображення у палітру сірого (рис.4.25) необхідно виділити край кожного об'єкту на рис. 4.26. Це робиться за допомогою компас-градієнта,

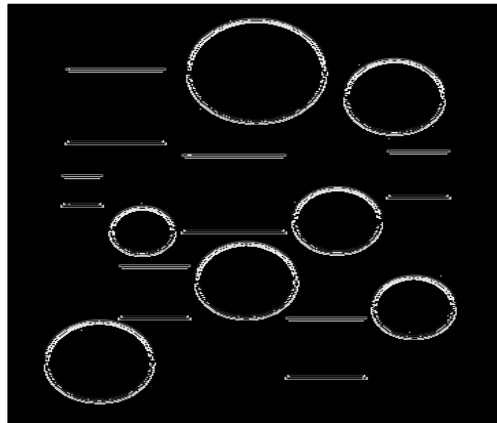
який виконує виявлення краю, порівнюючи градієнти восьми сусідів матриці “R”.
Усі інші деталі зображення переводяться після використання компас-градієнта у чорний колір, а край кожного з ОК на рисунку виділяються білим кольором. Ця операція чітко виділяє кульки та кубики (вже кружечки та квадратики) на зображенні за допомогою контрасту.



A

Рис. 4.26. Операція виділення краю кожного ОК на зображенні

Після того, як ми отримали зображення з виділеними краями об'єктів контролю, необхідно виключити вертикальну складову у квадратах на зображенні (оскільки задачею є виділення об'єктів круглої форми).



Q

Рис. 4.27. Операція виключення вертикальної складової з квадратів

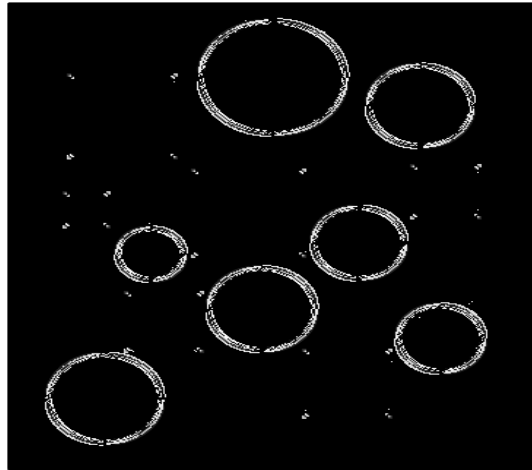


Рис. 4.28. Операція виключення горизонтальної складової з квадратів у зображенні

Після виключення горизонтальної та вертикальної складової з квадратів у зображенні спостерігається часткове зашумлення даного зображення (не чіткість контурів кругів, залишкові сліди від виключення квадратів із зображення). Це спостерігається через недосконалість масок сканування, та функцій виключення горизонтальних та вертикальних складових.

Для покращення якості отриманого зображення використаємо медіанний фільтр.

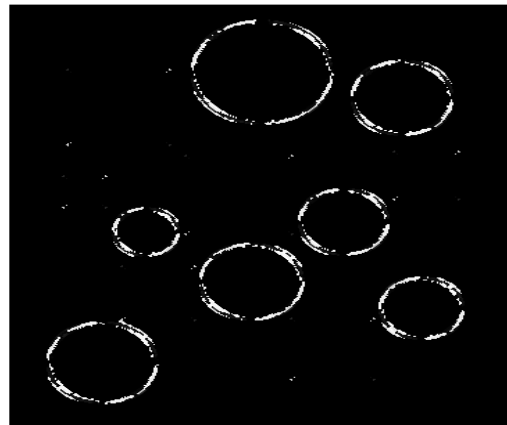


Рис. 4.29. Операція фільтрації зображення за допомогою медіанного фільтру

Отримане кінцеве зображення має вигляд, як показано на рис. 4.30.

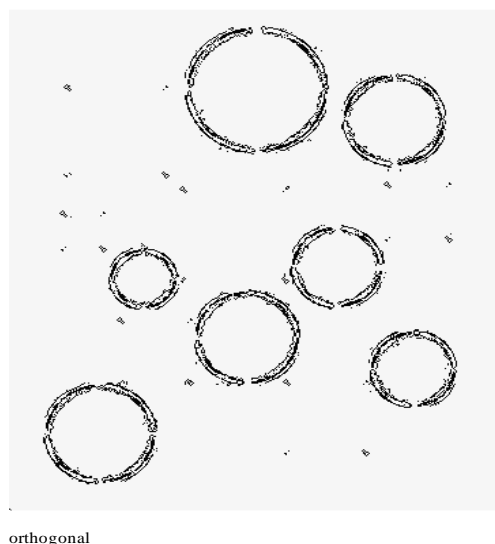


Рис. 4.30. Операція виділення і згладжування кінцевого зображення

4.7 Лінійні та нелінійні фільтри

Відгук найпростіших лінійних просторових фільтрів є середнє значення елементів по околиці, покритою маскою фільтра. Це фільтри усереднюючі або згладжуючі, або – фільтри низьких частот (ФНЧ).

Згладжуючі фільтри використовуються для розфокусування зображення чи усунення шуму. Розфокусування може використовуватися як перший крок обробки зображення, наприклад, для усунення невеликих деталей перед виявлення великих об'єктів, чи для усунення розривів в лініях чи деталях. Для усунення шумів використовується розфокусування з використанням як лінійної, так і нелінійної фільтрації.

Зазвичай, масштабування застосовується одразу до всіх точок зображення по закінченню процесу фільтрації (рис.4.32).

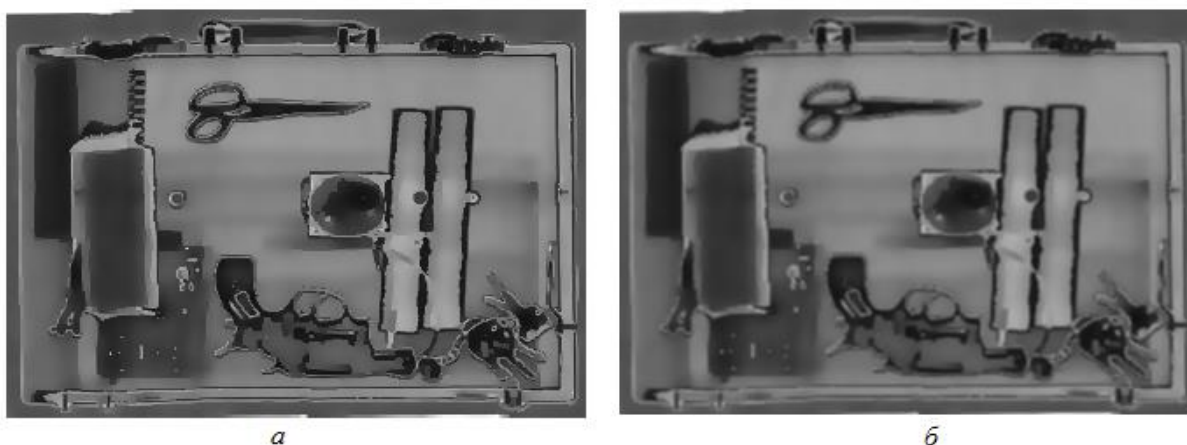


Рис. 4.31 – Фільтрація зображення з використанням лінійних згладжуючих фільтрів: *a* – вихідне зображення; *б* – відфільтроване зображення

Цифрова обробка зображень належить до тих напрямів наукових досліджень і розробок, що інтенсивно розвиваються. Характерно й різноманіття напрямів розвитку і постійно виникаючих нових задач.

На рис.4.32, 4.33 наведені зображення, зашумлені незалежними гаусівськими відліками. Центр зашумлення та потужність регулювалися параметрами датчика.

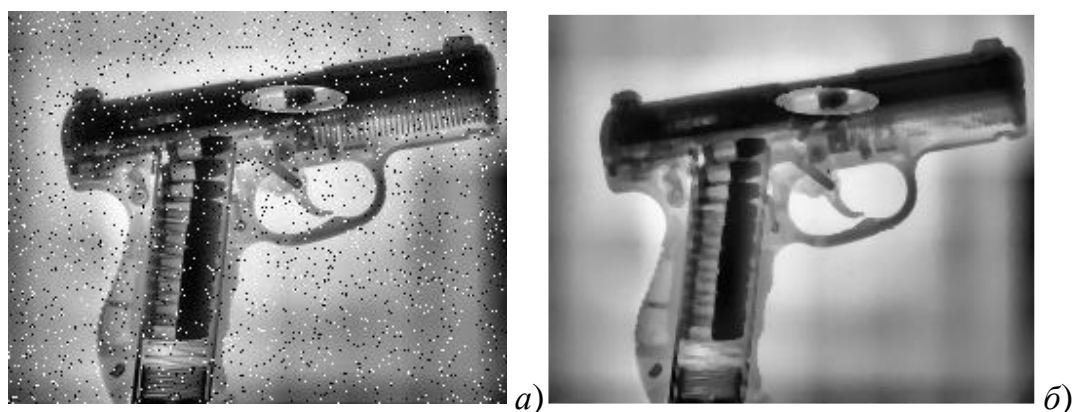


Рис. 4.32. Рентгенівське зображення:
a) 5% ($p = 0.05$) елементів спотворене дією імпульсної завади;
б) відфільтроване медіанним фільтром

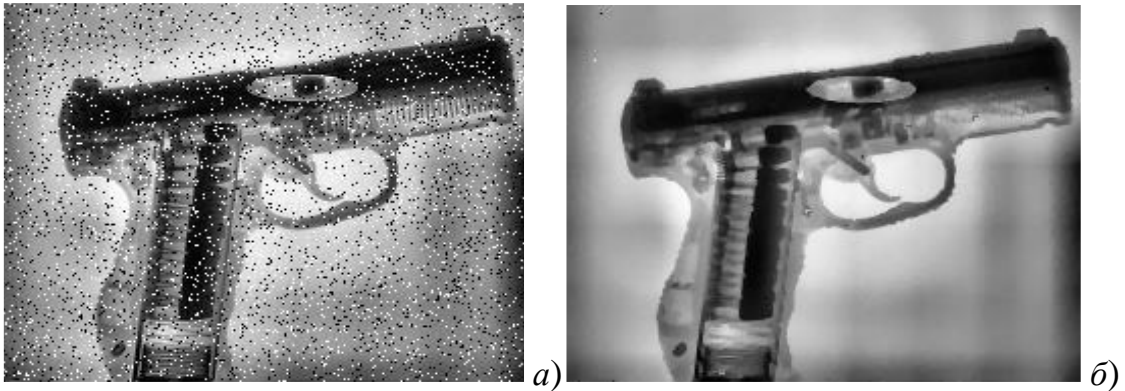


Рис. 4.33 – Рентгенівське зображення:

- а) 10% ($p = 0.1$) елементів спотворене дією імпульсної завади;
 б) відфільтроване медіанним фільтром

Вцілому, застосування описаних процедур фільтрації призводить до істотного зниження рівня шуму на зображенні. Кількісно ефективність цієї обробки можна характеризувати коефіцієнтом поліпшення відношення сигнал/шум $\gamma = \delta_{\varepsilon}^{-2} / q^2$, де враховано, що величина $\delta_{\varepsilon}^{-2}$ визначає відношення сигнал/шум після фільтрації.

У таблиці 4.1 наведені дані, що дають можливість такого порівняння. Для різних методів фільтрації в цій таблиці наводяться значення відносного середнього квадрата похибок δ_{ε}^2 і коефіцієнта ослаблення шуму γ для відношення сигнал/шум на вході фільтра -5 дБ.

Найбільшу ефективність має двовимірний фільтр Вінера, що зменшує середній квадрат похибок у 17 разів.

Медіанний фільтр має найменшу із усіх розглянутих фільтрів ефективність, йому відповідний коефіцієнт $\gamma = 5,86$. Проте навіть це значення свідчить, що й за допомогою МФ вдається значно знизити рівень шуму на зображенні. Разом з тим медіанна фільтрація меншою мірою згладжує гаусівські завади.

Таблиця 4.1 – Порівняння ефектів придушення шуму при фільтрації зображень

Параметр	Масочний фільтр з оптимальним СІХ	Масочний фільтр з рівномірним СІХ	Двовимірний рекурентний фільтр	Двовимірний фільтр Вінера	Медіанний фільтр
Середній квадрат похибок фільтрації, δ_ϵ^2	0,309	0,395	0,29	0,186	0,539
Коефіцієнт ослаблення шуму, γ	10,2	8,0	10,9	17,0	5,86

Отримані в дисертації теоретичні результати дозволяють провести удосконалення інтроскопічної системи з метою підвищення рівнів ймовірності правильного виявлення та зменшення рівня ймовірності хибної тривоги. Удосконалена апаратура повинна містити формувачі тіньового зображення запропоновані у розділі 2, а також додаткові блоки цифрової обробки сигналів, пам'яті та прийняття рішень (рис. 15).

В цілому удосконалена апаратура також дає можливість автоматизувати процес виявлення небезпечних та заборонених ОК.

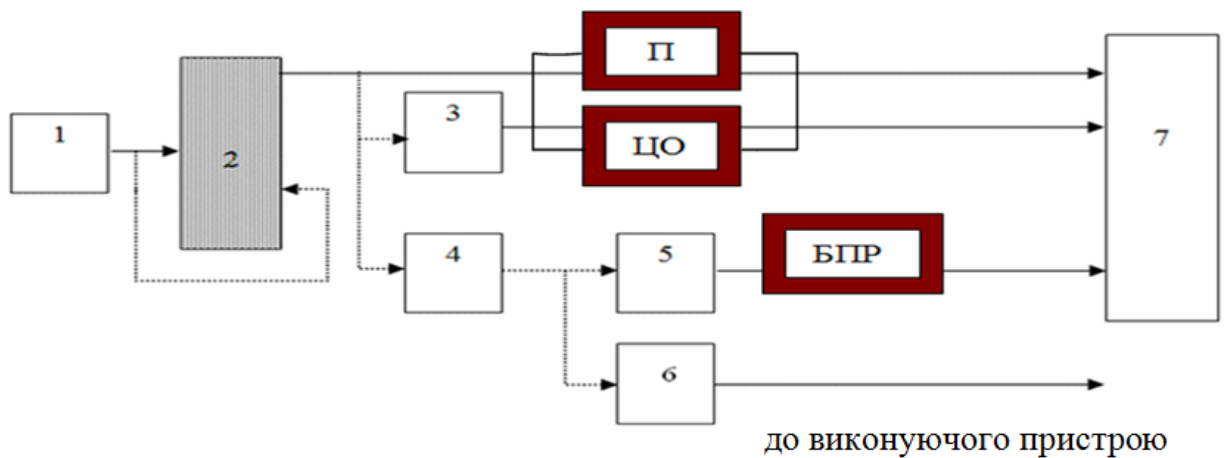


Рис. 15. Структурна схема удосконаленої інтроскопічної системи:

де 1 – джерело випромінювання; 2 – ОК; 3 – перетворювач “випромінювання – видиме зображення”; 4 – перетворювач “випромінювання – електричний сигнал”; 5 – перетворювач “електричний сигнал – оптичний сигнал”; 6 - автоматичний пристрій прийняття рішення; 7 – ЦО - оператор; цифрова обробка; П – блок пам'яті; БПР – блок прийняття рішень

Удосконалена структурна схема має блок пам'яті, в якому зберігаються тіньові зображення, розраховані за допомогою геометричного методу отримання тіньових зображень об'єктів контролю, що був розроблений у другому розділі дисертаційній роботі. За допомогою цифрової обробки система порівнює отримані в процесі сканування значення тіньових зображень із значеннями, які присутні у блоці пам'яті, на наявність небезпечного ОК. Блок прийняття рішень видає сигнал у разі отримання інформації щодо небезпечного ОК, що підвищує достовірність прийняття правильного рішення людиною-оператором. Таким чином, відбувається автоматизація процесу доглядового контролю.

Моделі, які розроблені при застосуванні розробленого в дисертації методу та самі моделі отриманні за цим методом, дають можливість створити базу об'єктів (об'єкти простої та складної форми), яку можна зберегти у блоці пам'яті для подальшої обробки.

4.8 Висновки до розділу

1. Моделювання показує, що найпростіші тіла мають тіні з перехідними характеристиками, напівтінями, спотвореннями типу кратера там, де взагалі пласкі опромінюванні площини. Зміна ракурсу опромінення змінює тінь до невпізнанності. Для чіткого достовірного виявлення передбачуваних ОК необхідно автоматизувати процес розпізнавання тіней з урахуванням можливих співвідношень відстаней між джерелом, ОК та екраном-приймачем, ракурсів опромінення тощо.

Для підтвердження адекватності та працездатності розроблених моделей у роботі були отримані багатовимірні спектри візуалізаційних зображень

2. Спектральний виявлювач, запропонований у роботі, інваріантний щодо фази сигналу (тінь ОК), чи, що в нашому випадку, стосовно місця розташування ОК на робочому полі. Це дозволяє створити базу даних спектрів тіньових зображень ОК для подальшого виявлення ОК різної форми.

Розроблений спектральний виявлювач має хороші характеристики виявлення навіть за малих значень відношення сигнал/шум.

3. Обрахований спосіб виявлення з використанням фільтрів із різними масками показав високу ефективність.

ВИСНОВКИ

1. Особливістю реалізації прямих рефлексного чи трансмісійного методів візуалізації ОК є те, що після опромінення ОК після певної обробки отримується зображення внутрішньої структури тих об'єктів – проєкційні тіні напівпрозорих ОК. Яскравість чи колір зображення кодується чи як величина згасання первинного випромінювання, чи прямий отриманий електричний сигнал детекторів.

Одним із основних шляхів удосконалення функціонування САБ є розвиток технічних заходів у напрямках: застосування новітніх принципів дії і діапазонів опромінення; ефективні алгоритми обробки даних; вдосконалення роботи системи людина-оператор САБ тощо.

2. Служба авіаційної безпеки країни повинна мати надійні недорогі технічні засоби контролю, які з високим ступенем ймовірності у неперервному режимі забезпечила би виявлення небезпечних ОК.

3. Останнім часом розроблено багато методів виявлення небезпечних ОК, але мало уваги приділяється аналізу візуалізації внутрішньої структури тих об'єктів

Аналіз внутрішньої структури ОК може значно підвищити ефективність виявлення небезпечних ОК, надати можливість автоматизувати цей процес та спростити виявлення ОК для людини-оператора за високої ймовірності правильного виявлення (понад 0,9) разом з малим рівнем хибних тривог (менше 0,3).

3. Проблема є актуальною і вимагає вдосконалення технічних засобів служби САБ, знаходження нових методів обробки інформації. Вирішення проблеми веде до підвищення убезпечення цивільної авіації.

4. Основною задачею візуалізації ОК на предмет виявлення небезпечних артефактів є розроблення аналітичних моделей отримання візуалізаційного зображення внутрішньої структури ОК, аналізування спотворень, які отримують зображення в залежності від параметрів системи візуалізації та типу джерел

випромінювання. Ці спотворення мають бути враховані та скориговані під час проектування нових більш досконалих інтроскопічних систем.

5. Метод візуалізації внутрішньої структури 3D-багатовиду ОК, розроблений у цій роботі, дозволяє отримати зображення внутрішньої структури, тобто тінь опроміненого напівпрозорого ОК 3D-багатовиду з застосуванням моделі схеми та типу опромінення. Цей метод можна застосовувати у різних галузях: САБ, медицині, промисловості тощо. Він може сприяти підвищенню ймовірності правильного виявлення небезпечних предметів та зменшує кількість хибних спрацьовувань у доглядових пунктах САБ.

6. Розроблений у роботі прямий трансмісійний проєкційний метод дозволяє отримувати внутрішню структуру ОК за допомогою проєкційної геометрії

7. Розроблені в роботі аналітичні моделі у геометричному, математичному та програмному вигляді дозволяють отримати адекватні моделі візуалізаційних зображень внутрішніх структур ОК з високим ступенем достовірності.

8. Розроблені аналітичні моделі легко перелаштовуються на генерацію проєкційних тіней певних видів ОК для різних ракурсів, сумісних груп тіл та взаємного розташування тощо.

9. Найменш спотворень та найбільшу адекватність мають проєкційні тіні ОК від площинного джерела. Використання площинних джерел випромінювання з найменшими геометричними спотвореннями зображень при логарифмуванні сигналів для подальшої спектральної та статистичної обробки.

10. Пряме детектування X-випромінювання на цьому технологічному рівні неможливе внаслідок відсутності чутливих та компактних X-детекторів, тому технологія візуалізації потребує низку перетворень проміжних сигналів (спектрів, типів тощо), що погіршує апертурну функцію згортки.

11. Моделювання показує, що найпростіші тіла мають тіні з перехідними характеристиками, напівтінями, спотвореннями типу кратера там, де взагалі пласкі опромінюванні площини. Зміна ракурсу опромінення змінює тінь до невпізнанності. Для чіткого достовірного виявлення передбачуваних ОК

необхідно автоматизувати процес розпізнавання тіней з урахуванням можливих співвідношень відстаней між джерелом, ОК та екраном-приймачем, ракурсів опромінення тощо.

12. Для підтвердження адекватності та роботоздатності розроблених моделей у роботі були отримані багатовимірні спектри візуалізаційних зображень.

13. Спектральний виявлювач, запропонований у роботі, інваріантний щодо фази сигналу (тінь ОК), чи, що в нашому випадку, стосовно місця розташування ОК на робочому полі. Це дозволяє створити базу даних спектрів тіньових зображень ОК для подальшого виявлення ОК різної форми.

14. Розроблений спектральний виявлювач має хороші характеристики виявлення навіть за малих значень відношення сигнал/шум.

15. Обрахований спосіб виявлення з використанням фільтрів із різними масками показав високу ефективність.

16. Через неідеальність апаратної функції $h(\xi, \eta, x, y)$ оптичне зображення $g(\xi, \eta)$ отримується спотвореним: із зміненими пропорціями, розмитим (дефокусованим). Саме ці спотворення для ОК різноманітної геометричної форми наочно демонструється у розроблюваних в роботі моделях просвічування об'єктів. Ці спотворення є недоліками для сучасної доглядової техніки. Для їх усунення можливе використання двох принципово різних шляхів. Першим є намагання отримати апаратну функцію $h(\xi, \eta, x, y)$ якомога ближчу до ідеальної. Другим способом є перетворення функції $g(\xi, \eta)$ для відновлення (формування) вихідного (початкового) зображення $f(x, y)$ за допомогою математичних операцій. Це здійснюється шляхом цифрової обробки сигналів в ЕОМ. Для втілення останнього методу необхідно передбачити математичні процеси, які спричиняють неідеальність вагової функції.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. *Акимов, П.С., Евстратов, Ф.Ф. и др.* Обнаружение радиосигналов. – Москва: Радио и связь, 1989. – 288 с.

2. *Алгоритмы* выделения контуров изображений [Электрон. ресурс] // http://habrahabr.ru/blogs/image_processing/114452/
3. *Арочные* системы для обнаружения паров взрывчатых веществ // Ин. печать о технич. оснащении полиции заруб. гос-в: Информ. бюлл. - М.: ВИНТИ, 1998, №7.-С. 28-31
4. *Борисов, Ю.П., Цветнов, В.В.* Математическое моделирование радиотехнических систем и устройств. – Москва: Радио и связь, 1985. – 176 с.
5. *Ван Трис Г.* Теория обнаружения, оценок и модуляции / Г. Ван Трис [Перевод с англ. / под ред. В. И. Тихонова]. – Москва: Сов. радио, 1972. – Т. 1. – 744 с.
6. Введение в теорию порядковых статистик.: Пер с англ. под. ред. А. Сархан, В. Гринберг, 1970. – 414 с.
7. *Визуализация* изображений [Электрон. ресурс] // [http:// www.femto-com.ua/articles/part_1/0489.html](http://www.femto-com.ua/articles/part_1/0489.html)
8. *Гаскаров, Д. В., Шаповалов, В. И.* Малая выборка. – Москва: Статистика, 1978. – 248 с.
9. *Грузман, И.С* Цифровая обработка изображений в информационных системах: учебное пособие [И.С. Грузман, В.С. Киричук, В.П. Косых, Г.И. Перетяги, А.А. Спектор]. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – 168 с.
10. *Двинских, В.А.* Вычисление параметров периодических составляющих дискретных данных с ограниченным интервалом наблюдения // Измерительная техника. – 1998. – № 4. – С.10-12.
11. *ДСТУ 2860-94.* Надійність техніки. Терміни та визначення. - Чинний від 01.01.1996.
12. *Кокрен, У.* Методы выборочного исследования. Пер. с англ. – Москва: Статистика, 1976. – 440 с.
13. *Комплексное применение* различных технологий с целью повышения безопасности аэропортов // Ин. Печать о технич. оснащении полиции заруб. гос-в: Информ. Бюлл. – М.:ВИНИТ, 1997, № 4 – С. 11 – 17
14. *Корнильев, Э.А.* Устойчивые алгоритмы в автоматизированных системах обработки информации. [Э.А.Корнильев, И.Г.Прокопенко, В.М.Чуприн]. – Київ: Техніка, 1989. – 224 с.
15. *Куликов, Е.И., Трифонов, А.П.* Оценка параметров сигналов на фоне помех. – Москва: Сов. радио, 1978. – 296 с.
16. *Левин, Б.Р.* Теоретические основы статистической радиотехники.- Москва: Радио и связь, 1989. – 656 с.

17. *Неразрушающий контроль*: В 5 кн. Кн.1. Общие вопросы. Контроль проникающими веществами: Практик. пособие / В.Н.Епифанов и др.; Под ред. В.В.Сухорукова. - М.: Высш. шк., 1993. - 350 с.

18. *Неразрушающий контроль*: В 5 кн. Кн.2. Акустические методы контроля: Практик. пособие / Под ред. В.В.Сухорукова. - М.: Высш. шк., 1993. -380 с.

19. *Неразрушающий контроль*: В 5 кн. Кн.3. Электрические, магнитные и вихретоковые методы контроля и приборы: Практик. пособие/В.Н.Епифанов, Е.А.Гусев и др.; Под ред. В.В.Сухорукова. -М.: Высш. шк., 1993. - 420 с

20. *Неразрушающий контроль*: В 5 кн. Кн.4. Контроль излучениями: Практик. пособие / В.Н.Епифанов, Е.А.Гусев и др.; Под ред. В.В.Сухорукова. – М.: Высш. шк., 1992.– 321 с.

21. *Неразрушающий контроль*: В 5 кн. Кн.5. Интроскопия и автоматизация контроля: Практик. пособие/В.В.Сухоруков, Э.И.Вайнберг, Р.-Й.Ю.Кажис, А.А.Абакумов; Под ред. В.В.Сухорукова. – М.: Высш. шк., 1993. – 329 с.

22. *Никитин, А.В., Юшанов, С.В.* Измерение мгновенной частоты широкополосных сигналов на коротком интервале наблюдения // Измерительная техника. – 2008. – № 12. – С.50-54.

23. *Обобщение медианного фильтра* [Электрон. ресурс] // http://habrahabr.ru/blogs/image_processing/114551/

24. *Оперативная техника* //Ин. печать о технич. оснащении полиции заруб. гос-в: Информ. бюлл. -М.: ВИНТИ, 1998, №7. - С.14-24

25. *Оперативная техника* // Ин. Печать о технич. оснащении полиции заруб. гос-в: Информ. Бюлл. – М.:ВИНИТ, 1999, № 1 – С. 11 – 16.

26. *Претт У.* Цифровая обработка изображений [Текст]: пер. с англ. – Москва: Мир, 1982. – Кн.2 – 480 с.

27. *Прокопенко, І.* Статистична обробка сигналів [Текст]: навч. посібник. – Київ: НАУ-Друк, 2011. – 200 с.

28. *Рентгенотехника*: Справочник: В 2-х кн. / Под ред.В.В.Клюева. - М.: Машиностроение, 1980.- Кн.1 -431 с., кн.2 -383 с.

29. *Розробка математичних моделей сумішей сигналів і завад і методи синтезу стійких алгоритмів обробки* [Текст]: Звіт про І етап НДР 492-ДБ08 держ. реєстрації № 0108U004062 «Стійкі методи і алгоритми обробки сигналів в інформаційно-вимірвальних системах». Наук. керівник І. Прокопенко. Відп. виконавець А.Семенов. – Київ: НАУ, 2008. – 140 с.

30. *Розробка математичних моделей сумішей сигналів і завад і стійких методів й алгоритмів обробки сигналів в ІВС* [Текст]: Звіт про I етап НДР 716-ДБ11 держ. реєстрації № 0111U002320 «Стійкі методи і алгоритми обробки сигналів в інформаційно-вимірювальних системах». Наук. керівник І. Прокопенко. Відп. виконавець А.Семенов. – Київ: НАУ, 2011. – 97 с.

31. *Розробка стійких методів і алгоритмів обробки сигналів в інформаційно-вимірювальних системах* [Текст]: Звіт про 2 етап НДР 492-ДБ08 держ. реєстрації № 0106U004062 «Синтез стійких алгоритмів обробки сигналів». Наук. керівник І.Прокопенко. Відп. виконавець А.Семенов. – Київ: НАУ, 2009. – 120 с.

32. *Розробка стійких методів і алгоритмів обробки сигналів в інформаційно-вимірювальних системах* [Текст]: Звіт про 3 етап НДР 492-ДБ08 держ. реєстрації № 0106U004062 «Апаратно-програмні комплекси обробки сигналів в інф.-вимірювальних системах». Наук. керівник І.Прокопенко. Відп. виконавець А.Семенов. – Київ: НАУ, 2010. – 102 с.

33. *Розробка стійких методів і алгоритмів обробки сигналів в інформаційно-вимірювальних системах* [Текст]: Звіт про 1 етап НДР 716-ДБ11 держ. реєстрації № 0106U002320 «Розробка математичних моделей сумішей сигналів і завад і методи синтезу стійких алгоритмів обробки». Наук. керівник І.Прокопенко. Відп. виконавець А.Семенов. – Київ: НАУ, 2011. – 100 с.

34. *Розробка стійких методів і алгоритмів обробки сигналів в інформаційно-вимірювальних системах* [Текст]: Звіт про 2 етап НДР 716-ДБ11 держ. реєстрації № 0106U002320 «Синтез стійких алгоритмів обробки, що використовують порядкові статистики». Наук. керівник І.Прокопенко. Відп. виконавець А.Семенов. – Київ: НАУ, 2012. – 130 с.

35. *Розробка стійких методів і алгоритмів обробки сигналів в інформаційно-вимірювальних системах* [Текст]: Звіт про 3 етап НДР 716-ДБ11 держ. реєстрації № 0106U002320 «Програмне забезпечення алгоритмів обробки, що використовують , що використовують порядкові статистики». Наук. керівник І.Прокопенко. Відп. виконавець А.Семенов. – Київ: НАУ, 2013. – 130 с.

36. *Семенов, А.А. та інші* [А.А.Семенов, О.В.Соломенцев, М.Ю.Заліський, Ю.М.Хмелько, Л.Ю.Терещенко] Теоретичні основи та принципи побудови технічних засобів САБ [Текст]: навч. посібник. – Київ: Вид-во Бізнес Медіа Консалтінг, 2014. – 255 с.

37. *Семенов, А.А. та інші* [А.А.Семенов, О.В.Соломенцев, М.Ю.Заліський, Ю.М.Хмелько, Л.Ю.Терещенко] Системи і пристрої доглядової техніки та їх

експлуатація [Текст + е-диск]: конспект лекцій. – Київ: Вид-во НАУ, 2016. – 216 с.

38. *Семенов, А.А., Мелкумян, В.Г.* Технічні засоби САБ [Текст]: навч. посібник. – Київ: Вид-во НАУ, 2000. – 174 с.

39. *Синтез* стійких алгоритмів обробки сигналів [Текст]: Звіт про II етап НДР 492-ДБ08 держ. реєстрації № 0108U004062 «Стійкі методи і алгоритми обробки сигналів в інформаційно-вимірювальних системах». Наук. керівник І. Прокопенко. Відп. виконавець А.Семенов. – Київ: НАУ, 2009. – 158 с.

40. *Согоконь, О.Б.* Цифровая Рентгенология. Методы получения изображения и преимущества перед традиционными радиационными технологиями [О.Б. Согоконь, И.Л. Волочай, Ю.Т. Киношенко, С.В. Бабанин, В.В. Колишкин] [Електрон. ресурс] // [http:// www.kvant.ua/ru/articles/13.html](http://www.kvant.ua/ru/articles/13.html)

41. *Специальная техника*, представленная на выставке Securitech'97 // Ин. печать о технич. оснащении полиции заруб. гос-в: Информ. бюлл. – М.: ВИНТИ, 1998, № 8. – С. 32-33.

42. *Стійкі* методи і алгоритми обробки сигналів в інформаційно-вимірювальних системах [Текст]: Заключний звіт НДР 492-ДБ08 держ. реєстрації № 0108U004062. Наук. керівник І. Прокопенко. Відп. виконавець А.Семенов. – Київ: НАУ, 2011. – 102 с.

43. *Терещенко, Л.Ю , Семенов, О.О.* Вітчизняна доглядова техніка для САБ // Матеріали МНТК Авіа-2006, Київ, НАУ, 25-27 вересня 2006. – К.: НАУ, 2006. – С. 65-70

44. *Терещенко, Л.Ю , Семенов, О.О.* Побудова аналітичних моделей отримання оптичного зображення внутрішньої структури об'єктів контролю // Електроніка та системи управління: Вісник ІЕСУ. – № 2 (23). – 2006. – С.31-37.

45. *Терещенко, Л.Ю , Семенов, О.О.* Моделювання візуалізації внутрішньої структури об'єктів контролю // Електроніка та системи управління: Вісник ІЕСУ. – № 25.– 2007. – С.30-36.

46. *Терещенко, Л.Ю , Семенов, О.О.* Моделювання візуалізації внутрішньої структури об'єктів контролю: Тези доповіді // Мат-ли НТК Політ-2007.

47. *Терещенко, Л.Ю , Семенов, О.О.* Моделювання візуалізації внутрішньої структури об'єктів контролю// Матеріали МНТК Авіа-2007, Київ, НАУ, 25-27 квітня 2007. – К.: НАУ, 2007. – С. 65-70.

48. *Tereschenko, L.Iu.* Construction of Obtaining Optical Image Analytical Models of Internal Structure Controlled Objects // *Statistical Methods of Signal and*

Data Processing (SMSDP-2010): International Conference Program, Kiev, Ukraine, October 13-14, 2010 / Chairman I. Prokopenko.

49. *Терещенко, Л.Ю.* Стійкий до розташування об'єкту контролю алгоритм виявлення сигналів візуалізаційних систем на полі екрану // *Statistical Methods of Signal and Data Processing (SMSDP-2010): International Conference Program, Kiev, Ukraine, October 13-14, 2010 / Chairman I. Prokopenko.*

50. *Tereschenko, L.Ju.* Construction of Obtaining Optical Image Analytical Models of internal Structure Controlled Objects // *Aviation in the XXI Centuries: The Fourth World Congress Proceedings, Kiev, Ukraine, September 21-23, 2010, V.1. – Kiev: NAU-Druk, 2010. – 21.86-21.90 pp. – англ.*

51. *Терещенко, Л.Ю., Семенов, О.О.* Ядерне оцінювання густини двовимірних візуалізаційних зображень / Всеукр. НПК молодих учених і студентів «Проблеми навігації та управління рухом», Київ, 21-22 листопада 2011: Тези доповідей. – Київ: НАУ-Друк, 2011. – С.88.

52. *Терещенко, Л.Ю., Семенов, О.О.* Візуалізація об'єктів складної форми [Науковий керівник – А.А Семенов., к.т.н., проф.]: Тези доповіді // *Матеріали МНТК «Політ-2012», 7-9 квітня 2012 р., Київ. – Київ: НАУ, 2012.*

53. *Tereschenko L.* Construction of obtaining optical image analytical models of internal structure controlled objects / *Signal Processing Symposium (SPS), 2013/ Publication Year: 2013 , Page(s): 1 – 4*

54. *Tereschenko L.* Analytical modeling for optical imaging of controlled object's internal structure /*Silantieva, I./ Signal Processing Symposium (SPS), 2013/ Publication Year: 2016, Page(s): 1 – 4*

55. Технические средства поиска и досмотра // *Ин. печать о технич. оснащении полиции заруб. гос-в: Информ. бюлл. – М.: ВИНТИ, 1999, №7. – С.25-36*

56. *Терещенко, Л.Ю.* Розробка стійких методів і алгоритмів обробки сигналів в інформаційно-вимірювальних системах: Звіт про 1 етап НДР 492-ДБ08 держ. реєстрації № 0106U004062 «Розробка математичних моделей сумішей сигналів і завад і методи синтезу стійких алгоритмів обробки». Наук. керівник І.Прокопенко. Відп. виконавець А.Семенов. – Київ: НАУ, 2008. – 120 с.

57. *Фокс, Дж.* Программное обеспечение и его разработка: пер. с англ.: – Москва: Мир, 1985. – 300 с.

58. *Формування систем управління якістю вищих навчальних закладів [Текст]:* Звіт про 1.1 етап НДР 400-ДБ07 держ. реєстрації № 0106U002741 «Аналіз провідного світового та вітч. досвіду з впровадження стандартів ISO серії

9000 у ВНЗ». Наук. керівник М. Кулік. Відп. виконавець А.Соломенцев. – Київ: НАУ, 2007. – 300 с.

59. *Формування систем управління якістю вищих навчальних закладів* [Текст]: Звіт про 1.2 етап НДР 400-ДБ07 держ. реєстрації № 0106U002741 «Обґрунтування типової структури СУЯ ВНЗ та розробка рекомендацій з формування політики ВНЗ у сфері якості підготовки фахівців з вищою освітою різних освітньо-кваліфікаційних рівнів». Наук. керівник М. Кулік. Відп. виконавець А.Соломенцев. – Київ: НАУ, 2007. – 236 с

60. *Чепіженко В.І.* Моделювання оптичного зображення внутрішньої структури об'єктів контролю /Терещенко Л.Ю/ Проблеми інформатизації та управління.–№2(54).–2016.–С.73-81

61. *David, H. A., Nagaraja, H. N.* Order statistics. – Third edition. – Wiley interscience, 2003. – 453 p.

62. *Chepizhenko V. I.* Method for optical imaging of the three-dimensional manifold structure / Tereshchenko L. J / Electronics and Control Systems 2017. N 2(52): 16-19

ДОДАТОК А

Список публікацій здобувача та відомості про апробацію
результатів дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати:

1. Tereschenko L. Construction of obtaining optical image analytical models of internal structure controlled objects / Signal Processing Symposium (SPS), 2013/ Publication Year: 2013 , Page(s): 1 - 4
2. Терещенко Л.Ю. Спектральні образи візуалізованих об'єктів простої форми / Вісник інженерної академії України.–№1.–2014.–С.137–141
3. Терещенко Л.Ю. Построение аналитических моделей получения оптического изображения внутренней структуры объекта контроля / Водний транспорт. Збірник наукових праць.–№3(21).–2014.–С.60-65
4. Tereschenko L. Analytical modeling for optical imaging of controlled object's internal structure /Silantieva, I./ Signal Processing Symposium (SPS), 2013/ Publication Year: 2016, Page(s): 1 - 4
5. Терещенко Л.Ю. Теоретичні основи та принципи побудови технічних засобів служби авіаційної безпеки / Семенов О.О., Соломенцев О.В., Заліський М.Ю., Хмелько Ю.М./ навчальний посібник.–2016.
6. Терещенко Л.Ю. Системи і пристрої доглядової техніки та їх експлуатація / Семенов О.О., Соломенцев О.В., Заліський М.Ю., Хмелько Ю.М./ навчальний посібник.–2014.
7. Терещенко Л.Ю. Моделирование оптического изображения внутренней структуры об'єктів контролю / Чепіженко В.І./ Проблеми інформатизації та управління.–№2(54).–2016.–С.73-81
8. Tereshchenko L. J. Method for optical imaging of the three-dimensional manifold structure / Chepizhenko V. I/ Electronics and Control Systems 2017. N 2(52): 16-19

Матеріали конференцій

Основні положення та результати досліджень доповідалися і обговорювалися на 17 конференціях з них 2 входять до міжнародної наукометричної бази Scopus. Перелік конференцій: Міжнародна НТК «АВІА–2006» (Київ, 2007); VII Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2007» (Київ, 2007); VIII Міжнародна НТК «АВІА–2007» (Київ, 2007); IX Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2009» IX Міжнародна НТК «АВІА–2009» (Київ, 2009); X Міжнародна НТК «АВІА–2011» (Київ, 2011); «Statistical Methods of Signal and Data Processing (SMSDP-2010)»: International Conference, Kiev, Ukraine, October 13-14, 2010, VIII Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2008» (Київ, 2008); IX Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2009» (Київ, 2009); X Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2010» (Київ, 2010); XI Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2011» (Київ, 2011); XII Міжнародна НК студентів та молодих учених «Політ–2012» (Київ, 2012); на Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів та молодих учених «Проблеми навігації та управління рухом» у 2011р., на IV Всесвітньому конгресі “Авіація у XXI столітті”, на науково-технічній конференції «Проблеми розвитку глобальної системи зв’язку навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM», 2016 р.