

УДК 656.71.06:629.7.08 (045)

Чепіженко В.І., д.т.н.,
Терещенко Л.Ю.

МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИЧНОГО ЗОБРАЖЕННЯ ВНУТРІШНЬОЇ СТРУКТУРИ ОБ'ЄКТІВ КОНТРОЛЮ

Національний авіаційний університет

chiv@nau.edu.ua

10118@ukr.net

Розглянуто аналітичні моделі отримання оптичного зображення внутрішньої структури об'єктів контролю та на їх основі проаналізовано спотворення, які набувають зображення в залежності від параметрів системи візуалізації та типу джерел випромінювання

Ключові слова: служба безпеки аеропортів; аналітичні моделі; внутрішня структура об'єктів контролю; джерела випромінювання; тінь об'єктів контролю

Вступ

Діяльність служб безпеки аеропортів спрямована на забезпечення авіаційної безпеки, регулярності та ефективності роботи аеропортів цивільної авіації шляхом заходів щодо захисту від актів незаконного втручання згідно з чинними правилами, рекомендованою практикою та процедурами.

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 електронного моделювання [13].

При опроміненні об'єктів контролю (ОК) електромагнітними хвилями, в розглянутій статті це рентгенівське опромінення, отримуються внутрішні візуалізації ОК, тобто іншими словами тіні ОК. Тіні ОК можуть мати вигляд, які відрізняються від самого ОК. Візуалізація ОК може бути деформована, мати розташовані форми та змінені до невпізнанності відносно самого ОК. Ці явища залежать від безліч факторів. Наприклад наскільки ОК прозорий для рентгенівського опромінення, яким джерелом його опроміню-

ють (точений, лінійний та площинний джерела опромінення), наскільки складний ОК, в якому положенні і під яким ракурсом він знаходиться відносно джерела опромінення і т.д. Приведені вище чинники значною мірою ускладнюють задачі виявлення небезпечних ОК в службах авіаційної безпеки (САБ)

При аналізі існуючих факторів стало вочевидь, що необхідне рішення проблеми по зниженню хибних спрацьовувань у інтроскопічній системі, а також підвищення виявлення небезпечних ОК. Ця проблема особливо стосується України і країн з аналогічною розвиненістю у сфері САБ

Побудова моделей тіней ОК різної форми і з використанням різних джерел опромінення дає можливість класифікувати ці ОК, аналізувати їх для подальшої обробки.

Аналіз останніх досліджень

Сучасні системи виявлення на основі рентгенотехніки, комп'ютерної томографії та спектроскопії рухомих іонів мають певні недоліки [1 - 5], [8], [9-12]. 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).

Таким чином розроблення аналітичних моделей отримання багатовимірних тіней напівпрозорих об'єктів для подальшої обробки, дадуть змогу класифікувати ОК, що значно полегшить роботу операторів які обслуговують інтроскопи в службах САБ, зменшуючи кількість помилкових тривог.

Моделювання внутрішньої структури ОК простих та складних форм з використанням точкового джерела опромінення по центру, а також зі зміщенням відносно центру, розглянуті у роботах [13].

Постановка задачі

Мета статті – розроблення аналітичних моделей отримання багатовимірних тіней напівпрозорих об'єктів для подальшої обробки. В статті наведені ОК простої форми при різних джерелах опромінення: точкові та лінійні джерела опромінення

Розробка математичного апарату

Можна стверджувати, що всім методам прямої візуалізації притаманні однотипні операції: опромінення об'єкта контролю (ОК) первинним випромінюванням (у випадку активного метода), прийом

$$g(\xi, \eta) = \iint_{xy} f(x, y) h(\xi, \eta, x, y) dx dy + n(\xi, \eta)$$

де h – оператор перетворення; x, y – просторові координати ОК; $f(x, y)$ – справжній просторовий розподіл візуалізованого параметру, який є заздалегідь заданим для розроблюваних моделей; ξ, η – координати тривимірного оптичного зображення внутрішньої структури ОК та додані шуми у тракці обробки сигналів з розподілом імовірності $n(\xi, \eta)$.

Оператор $h(\xi, \eta, x, y)$, чи апаратна функція, описує діаграми направленості джерела і приймача випромінювання. 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. Внаслідок не-

вторинного (розсіяного чи того, яке пройшло крізь об'єкт) випромінювання, перетворення його в електричний сигнал, обробка та перетворення електричного сигналу в оптичний. [2, 3].

Природно, що найвищу точність візуалізації дають джерела ЕМХ (електромагнітні вимірювання) рентгенівського діапазону, власне для якого розроблена наведена нижче теорія. Але вона абсолютно застосована і для джерел інших діапазонів: субміліметрового, міліметрового, інфрачервоного та ін. Лише обов'язкове виконання умови лінійного поширення ЕМХ, тобто розміри локальних неоднорідностей мають бути значно меншими за довжиною хвилі.

Для спрощення опису візуалізованої структури ОК приймемо її двовимірною. Дійсний просторовий розподіл параметра, зображення якого формується, описується функцією $f(x, y)$, яку вважатимемо функцією вихідного (початкового) зображення ОК. На індикаторі трансмісійної інтроскопічної системи отримують оптичне зображення, яке відрізняється від вихідного та є розподілом яскравості зображення [1, 2]:

ідеальності 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 демонструються у розроблюваних в роботі моделях просвічування об'єктів. Ці спотворення є недоліками 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 цифровою обробкою сигналів в ЕОМ.

Для втілення останнього методу необхідно передбачити математичні описи процесів, які спричиняють неідеальність вагової функції. У цій роботі описані математичні процеси, які відбуваються під час перетворення вихідного зображення $f(x, y)$ в оптичне $g(\xi, \eta)$ для ОК певної відомої геометричної форми, тобто іншими словами із задалегідь відомим справжнім просторовим розподілом візуалізованого параметру $f(x, y)$.

Кожен ОК має безліч параметрів, які характеризують його структуру: густина, опір та ін. У загальному випадку дійсний просторовий розподіл певного параметру є тривимірним (x, y, z) . Однак для аналітичного опису моделей зробимо деякі спрощення та завдамо функцію дійсного просторового параметру таким чином: припустимо, що існує деяка функція $f(x, y)$, яка в об'ємі, обмеженим графіком цієї функції, має дійсний просторовий постійний параметр α . За межами цього об'єму $\alpha = 0$.

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 рисунку 1,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, $m.O$, розміщувався всередині нього. Площину екрану розмістимо в півпросторі $z > 0$ та перпендикулярно осі OZ , джерело випромінювання в півпросторі $z < 0$ на осі OZ .

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. Нехай деяким значенням величини кута β визначається положення площини, в якій пересувається промінь сканування (рис. 1,б). Тоді конкретне положення променя визначається координатою ρ завданої циліндричної системи. Іншими словами, промінь скануватиме простір при послідовній зміні значень β та ρ .

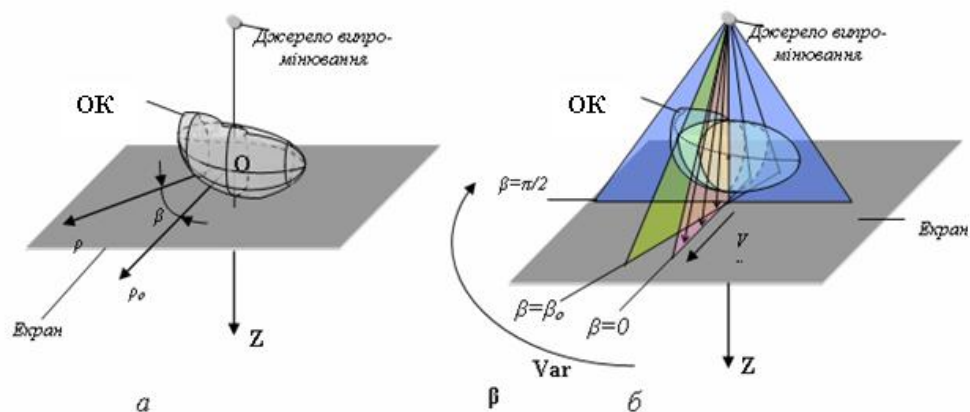


Рис. 1. Сканування ОК:

а – завдання циліндричної системи координат;
б – завдання положення скануючого променя

Цей вид сканування визначимо, як сканування за круговою траєкторією.

З використанням джерела випромінювання точкової геометрії для визначення положення джерела випромінювання, ОК та екрану доцільною є робота в циліндричній системі координат, яка завдана на рис. 1, а.

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

Прийmemo метод сканування ОК, який доцільний для використання джерела випромінювання точкової геометрії [1], коли деяким значенням кута β визначається положення площини, в якій пересувається промінь сканування (рис. 1, б). Тоді конкретне положення променя визначається координатою ρ заданої циліндричної системи, тобто промінь скануватиме простір з послідовною зміною значень β та ρ .

Цей вид сканування визначимо, як сканування за круговою траєкторією.

Сканування ОК при використанні джерела випромінювання лінійної геометрії

Для визначення положення джерела випромінювання, ОК та екрану доцільною є робота в декартовій системі координат, яка завдана на рисунку 2, а.

Об'єкт контролю розташуємо таким чином, щоб початок координат, $m.O$, розміщувався всередині нього. Площину

екрану розмістимо в півпросторі $z > 0$ та перпендикулярно осі OZ , джерело випромінювання в півпросторі $z < 0$ паралельно осі OY у площині yOz .

Розробимо метод сканування ОК, який буде доцільним при використанні джерела випромінювання лінійної геометрії. Нехай деяким значенням координати u визначається положення площини, в якій пересувається промінь сканування (рис. 2, б). Тоді конкретне положення променя визначається координатою x заданої декартової системи. Іншими словами, промінь скануватиме простір при послідовній зміні значень x та u . Цей вид сканування визна

чимо, як сканування за лінійною траєкторією.

Для визначення положення джерела випромінювання, ОК та екрану доцільною є робота в декартовій системі координат, яка завдана на рисунку 2.

Об'єкт контролю розташуємо таким чином, щоб початок координат, $t.O$, розміщувався всередині нього. Площину екрану розмістимо в півпросторі $z > 0$ та перпендикулярно осі OZ , джерело випромінювання в півпросторі $z < 0$ паралельно осі OY у площині yOz .

Розробимо метод сканування ОК, який буде доцільним при використанні джерела випромінювання лінійної геометрії. Нехай деяким значенням координати u визначається положення площини, в якій пересувається промінь сканування (рис. 2). Тоді конкретне положення променя визначається координатою x заданої декартової системи. Іншими словами, промінь скануватиме простір при послідовній зміні значень x та u . Цей вид сканування визначимо, як сканування за лінійною траєкторією.

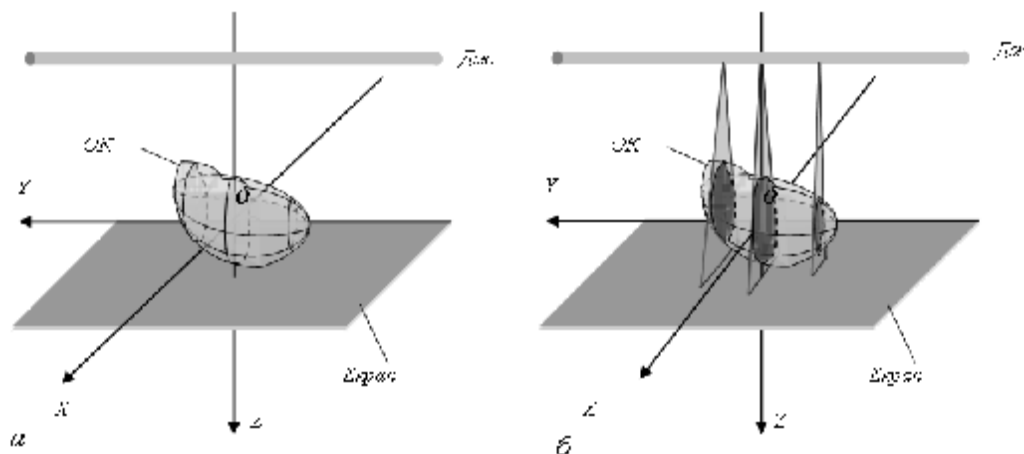


Рис. 2. Сканування ОК при використанні лінійного джерела випромінювання:
 а – завдання системи координат;
 б – завдання положення скануючого променя

Для глибшого розуміння процесу формування тіні представимо його у вигляді сканування, що здійснюється по лінійній траєкторії.

Побудова аналітичної моделі отримання оптичного зображення внутрішньої структури об'єкту контролю з використанням джерела випромінювання точкової та лінійної геометрії, геометричною формою якого є паралелепіпед.

Нехай ОК є паралелепіпедом, виготовленим з одного матеріалу. Отже, в межах цього паралелепіпеду коефіцієнт згасання a є сталим. За межами цього паралелепіпеду коефіцієнт згасання дорівнює нулю. Побудуємо аналітичну модель отримання оптичного зображення внутрішньої структури цього ОК в середовищі *MathCad*.

Завдамо геометричні параметри системи візуалізації.

Функція $g(\rho, \beta)$ для сталого значення β визначається добутком показника поглинання випромінювання a та відстанню, яку пройшов промінь у матеріалі ОК. На рис.3 ілюструється випадок для $a = 1$. Після деяких перетво-

рень одержимо формули залежності функції g від координат ξ та η .

Графік тривимірної функції $g(\xi, \eta)$ зображено на рис. 3. Цей графік є так називаною “тривимірною тінню” ОК, отриману в розглянутій системі візуалізації з використанням точкового джерела випромінювання.

Тривимірне відображення функції $g(\xi, \eta)$ подане у сірій гамі, хоча у середовищі *MathCad* вона обчислена у кольоровій з кодуванням колір-згасання сигналу у речовині ОК.

Моделі спроектованих тіней ОК, які представлені на рисунку 3 показують перетворення ОК після опромінення його точковим та лінійним джерелами опромінення. Візуалізація внутрішньої структури ОК після точкового джерела опромінення більш спотворена ніж після лінійного опромінення. Це пояснюється тим, що при точковому опроміненні ОК сканується променями які йдуть з однієї точки під кутами, а при лінійному скануванні промінь скануватиме простір при послідовній зміні значень x та y .

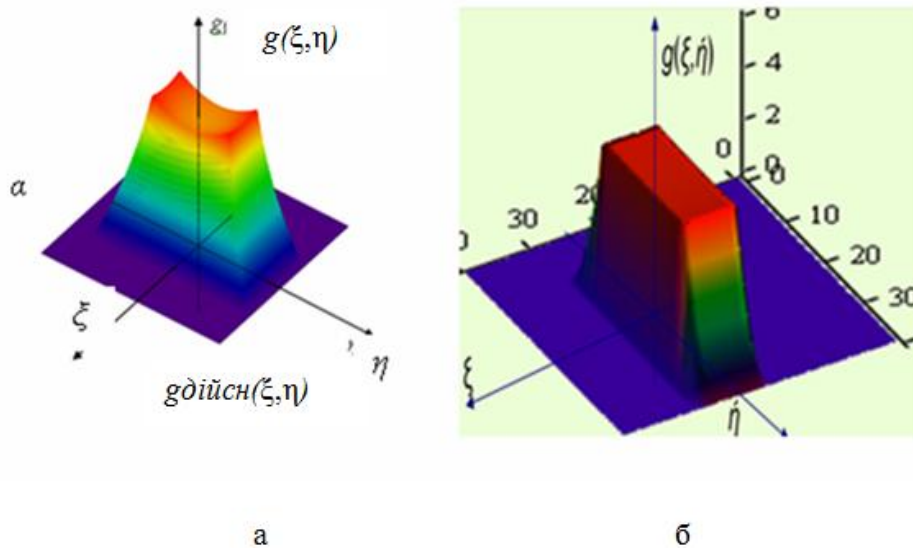


Рис. 3. Тривимірні тіні ОК (паралелепіпеда)
 а) опромінений ОК за допомогою точкового джерела опромінення;
 б) опромінений ОК за допомогою лінійного джерела опромінення

Побудова аналітичної моделі отримання оптичного зображення внутрішньої структури об'єкту контролю з використанням джерела випромінювання точкової та лінійної геометрії, геометричною формою якого є куля, виготовленою з однорідного матеріалу

Припустимо, що у межах цієї кулі коефіцієнт згасання a є сталим. За межами кулі коефіцієнт згасання дорівнює нулю. Аналітична модель отримання оптичного зображення внутрішньої структури цього ОК у *MathCad* будується аналогічно випадку розглянутому у [13].

Завдамо геометричні параметри системи візуалізації. Функція, що описує

справжній просторовий розподіл візуалізованого параметру $f(x, y)$, є кулею. У середовищі *MathCad* ця функція є внутрішньою.

Сканування кулі відбувається аналогічно попередньому випадку візуалізації, коли об'єктом контролю був паралелепіпед [13]. За будь-якого значення b формується переріз, що має вигляд кола діаметром d , а отже графік розподілу візуалізованого параметру буде симетричним відносно осі Oz .

Візуалізація кулі при точковому та лінійному скануванні наведено на рис. 4.

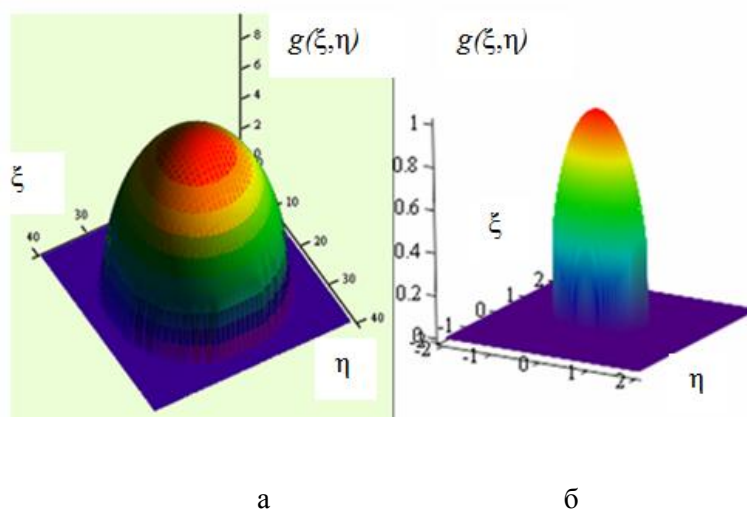


Рис. 4. Тривимірна тінь ОК (кулі)

- а) опромінений ОК за допомогою точкового джерела опромінення;
- б) опромінений ОК за допомогою лінійного джерела опромінення

Побудова аналітичної моделі отримання оптичного зображення внутрішньої структури об'єкту контролю, геометричною формою якого є циліндр, виготовленою з однорідного матеріалу

Коли ОК є циліндром, формування зображення його внутрішньої структури відбувається аналогічно випадку, коли

ОК є паралелепіпедом. Єдиною відмінністю є те, що при формуванні певного перерізу сканування за будь-якої величини кута α цей переріз має вигляд прямокутника зі сторонами d та $2 \cdot r$, де r – радіус заданого циліндру. Отже графік уявного розподілу буде симетричним відносно осі $O\theta$.

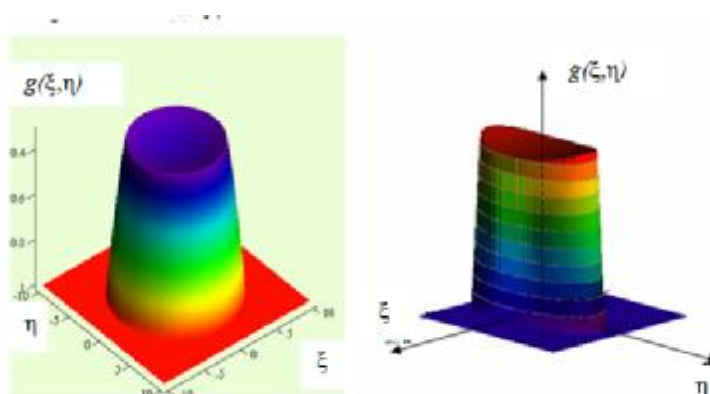


Рис. 5. Тривимірна тінь ОК (циліндра)

- а) опромінений ОК за допомогою точкового джерела опромінення;
- б) опромінений ОК за допомогою лінійного джерела опромінення

Висновки

Отримані вирази і програми формування багатовимірної тіні напівпрозорих ОК 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. Зміна ракурсу опромінення змінює тень 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.

Описані методи застосовні у візуалізаційних процесах променевого наближення, тобто без дифракційних, інтерференційних явищ.

Список літератури

1. Теоретичні основи та принципи побудови технічних засобів САБ: Навч. посібник. –К.:Вид-во НАУ, 2001. –214 с. А.А.Семенов
2. 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.
3. Неразрушающий контроль: В 5 кн. Кн.2. Акустические методы контроля: Практик. пособие / Под ред. В.В.Сухорукова. - М.: Высш. шк., 1993. - 380 с.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. - Чинний від 01.01.1996.
8. Рентгенотехника: Справочник: В 2-х кн. / Под ред.В.В.Клюева. - М.: Машиностроение, 1980.- Кн.1 -431 с., кн.2 -383 с.
9. 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.
10. Оперативная техника //Ин. печать о технич. оснащении полиции заруб. гос-в: Информ. бюлл. -М.: ВИНТИ, 1998, №7. - С.14-24.
11. Комплексное применение различных технологий с целью повышения безопасности аэропортов // Ин. печать о технич. оснащении полиции заруб. гос-в: Информ. бюлл. - М.:ВИНТИ,1997, №1.- С. 11-17.
12. Оперативная техника // Ин. печать о технич. оснащении полиции заруб. гос-в: Информ. бюлл. –М.: ВИНТИ, 1999, №4. - С.11-16.
13. Семенов А.А. Терещенко Л.Ю.Моделювання візуалізації внутрішньої структури об'єктів контролю // ВІСНИК Інженерної академії України.– 2088.–1.– С.144-148.

Статтю подано до редакції 22.05.2016