МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МОЖАЄВ МИХАЙЛО ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 044.77:621.3(043.3)

МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ СИНТЕЗУ СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СУДОВО-ЕКСПЕРТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Спеціальність 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

доктора технічних наук

Черкаси – 2021

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі інформаційної безпеки та комп’ютерної інженерії Черкаського державного технологічного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Рудницький Володимир Миколайович,
Черкаський державний технологічний університет,
завідувач кафедри інформаційної безпеки та комп'ютерної інженерії.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,
старший науковий співробітник
Чемерис Олександр Анатолійович,
Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України,
заступник директора з наукової роботи;

доктор технічних наук, професор
Кошовий Микола Дмитрович,
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут"
професор кафедри інтелектуальних вимірювальних систем та інженерії якості;

доктор технічних наук, професор
Лужецький Володимир Андрійович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри захисту інформації

Захист відбудеться «29» вересня 2021 р. о $12^{\underline{00}}$ на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 73.052.04 при Черкаському державному технологічному університеті за адресою: 18006, Черкаси, бульвар Шевченка, 460.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Черкаського державного технологічного університету за адресою: 18006, Черкаси, бульвар Шевченка, 460.

Автореферат розіслано «27» серпня 2021 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради Ю. Ю. Бондаренко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. За останні декілька років в Україні значно збільшилося кількість кримінальних та адміністративних проваджень. Ця тенденція викликана в тому числі загостренням суспільно-політичної ситуації в Україні, посяганнями на її конституційний лад і територіальну цілісність, анексією Автономної Республіки Крим, окупацією частини території Донецької і Луганської областей України. Останнім часом у нашій державі набули поширення випадки тероризму і сепаратизму. Крім того, на збільшення злочинності справила значний вплив пандемія коронавірусу COVID-19. У межах боротьби із загрозою життю та здоров'ю людства, влада багатьох держав запровадила жорсткі карантинні заходи, а отже, змінила звичний спосіб життя соціальних груп. У зв'язку з цим, держави постали не лише перед загрозою коронавірусу, а й перед фактичними та потенційними змінами у стані злочинності, як за кількісними, так і за якісними показниками. Це, в свою чергу, тягне за собою збільшення кількості призначення судових експертиз до державних спеціалізованих установ, зокрема до науково-дослідних установ судових експертиз Міністерства юстиції України.

В ст. 1 Закону України «Про судову експертизу» зазначено: «Судова експертиза – це дослідження на основі спеціальних знань у галузі науки, техніки, мистецтва, ремесла тощо об'єктів, явищ і процесів з метою надання висновку з питань, що є або будуть предметом судового розгляду», а в абзаці третьому пункту 1.8 розділу I «Інструкції про призначення та проведення судових експертиз та експертних досліджень» зазначено, що «… результати проведення експертиз та експертних досліджень викладаються у письмовому документі – висновку експерта».

Наразі інформаційні системи підтримки прийняття рішень і керуючі інформаційні системи знаходять застосування в різноманітних сферах життя людського суспільства: промисловості, бізнесі, науці та освіті, фінансах і інфраструктурних проектах, будівництві та правоохоронної діяльності. Важливе місце такі інформаційні системи займають і в системі судових експертиз, функціонування якої дозволяє істотно підвищити достовірність виконуваних експертиз, знизити вплив людського фактору на прийняття експертних рішень, істотно скоротить час, необхідний на проведення експертизи.

Різноманітна за формами і змістом судово-експертна діяльність неможлива без залучення інформаційних ресурсів, під якими законодавець розуміє окремі документи і окремі масиви документів, документи і масиви документів в інформаційних системах (бібліотеках, архівах, фондах, банках даних, інших інформаційних системах). Інформаційне забезпечення судової експертизи має являти собою процес, який визначається законодавцем як процес збору, обробки, накопичення, зберігання, пошуку і розповсюдження інформації. Таким чином, інформаційне забезпечення судової експертизи є необхідним для вирішення судово-експертних завдань.

На даний час судові експертизи проводяться з використанням спеціалізованої комп'ютерної системи для забезпечення судово-експертної

діяльності, але у зв’язку зі стрімким збільшенням призначених експертиз і досліджень виникає проблема з дотриманням необхідних умов до достовірності результатів проведених експертиз і досліджень, оскільки істотно збільшується навантаження на систему.

Актуальність теми дисертаційної роботи зумовлена необхідністю дотримання вимог до достовірності висновку судової експертизи з використанням спеціалізованої комп'ютерної системи для забезпечення судово-експертної діяльності. Аналіз сучасного стану розвитку комп'ютерних систем судової експертизи показав тенденцію до підвищення об’ємів даних, що підлягають обробці. Це в свою чергу, призводить до додаткового навантаження на апаратне устаткування та програмні засоби спеціалізованої комп'ютерної системи для забезпечення судово-експертної діяльності, що може призвести до зниження показників достовірності висновків судових експертиз.

Науково-технічні та методичні компоненти оцінки достовірності висновку експерта автори описують по-різному: О.М. Зінін та Н.П. Майліс в «суттєвій» оцінці висновку експерта вбачають такі елементи – «допустимість об’єктів, досліджуваних експертом; встановлення достовірності висновку; достатність наданих експерту матеріалів для проведення дослідження; правильність наданих експерту вихідних даних; визначення повноти проведеного дослідження». М.Г. Щербаковський в загальну оцінку «спеціальної» сторони висновку експерта вкладає такі окремі її складові: «визначення достатньої кількості наданих на експертизу об’єктів для вирішення поставлених питань, оцінку доброякісності наданих об’єктів, правильності вихідних даних; оцінку цілеспрямованості, правомірності і наукової обґрунтованості застосованої експертом методики (метода) дослідження; оцінку повноти проведеного дослідження; оцінку правильності опису і інтерпретації встановлених ознак об’єктів; оцінку наукової обґрунтованості проміжних і підсумкових висновків; визначення компетентності експерта». Крім того, він зазначає про наступне: «Правильність, точність методів і засобів вимірювання. Під правильністю розуміють здатність методу дати вірний результат. Точність – ступінь близькості один до одного незалежних результатів, отриманих в конкретних регламентованих умовах. Достовірність результатів експертного дослідження прямо залежить від застосовуваних засобів вимірювання». Ю.К. Орлов, розглядаючи в більш широкому вмісті критерій достовірності висновку експерта, називає такі умови як: «надійність застосованої експертом методики; достатність і доброякісність наданого експерту матеріалу; повнота проведеного експертом дослідження; аргументованість висновків експерта в самому висновку; узгодженість (непротиріччя) висновку із наявними в справі доказами (в тому числу, з іншими висновками)».

При використанні спеціалізованої комп'ютерної системи для забезпечення судово-експертної діяльності виникають завади, що можуть знизити достовірність висновку судової експертизи.

Таким чином, має місце **протиріччя** між фактичними можливостями існуючих моделей та методів синтезу спеціалізованої комп'ютерної системи для забезпечення судово-експертної діяльності, з одного боку, і необхідністю дотримання вимог до достовірності висновку судової експертизи, з іншого боку.

Подолати це протиріччя можна шляхом вирішення **актуальної науково-прикладної проблеми** підвищення достовірності висновків судових експертиз в умовах обробки значних масивів даних на основі розробки математичних моделей та методів синтезу спеціалізованої комп'ютерної системи забезпечення судово-експертної діяльності.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, результати яких викладено в дисертаційній роботі, виконувались у межах зареєстрованих НДР Національного наукового центру «Інститут судових експертиз ім. Засл. проф. М. С. Бокаріуса» Міністерства юстиції України: «Розробка методики визначення фактів знищення інформації на цифрових носіях» (ДР № 0117U004748), «Методичні основи використання спеціальних знань експертів у галузі комп’ютерно-технічних досліджень при проведенні комплексних досліджень цифрової інформації» (ДР № 0115U000734), «Розроблення наукового звіту «Удосконалення класифікації судових експертиз» (ДР № 0116U003867), «Розробка методики судових комп’ютерно-технічних експертиз з дослідження шкідливого програмного забезпечення» (ДР № 0119U100797), «Розроблення методики дослідження ознак монтажу цифрових зображень на основі аналізу ентропії шумів» (ДР № 0117U004744), «Розробка методичних рекомендацій з визначення вартості комп’ютерно-технічних та телекомунікаційних засобів при проведенні судово-товарознавчих експертиз» (ДР № 0116U003877), «Розробка методики дослідження алгоритмічних кодграбберів на базі пульта автосигналізації «SHERIFF» (ДР № 0118U004620), «Розробка науково-методичних рекомендацій з дослідження апаратних та програмних засобів, що використовуються для термінації голосового трафіку» (ДР № 0120U101995) та «Розробка автоматизованої системи накопичення емпіричних даних з практики комп’ютерно-технічних експертиз» (ДР № 0117U004747).

Мета і завдання дослідження. Метою досліджень є підвищення достовірності висновків судових експертиз в умовах обробки значних масивів даних шляхом розробки математичних моделей та методів синтезу спеціалізованої комп'ютерної системи забезпечення судово-експертної діяльності.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі були сформульовані такі завдання:

1) аналіз вимог до сучасних спеціалізованих комп'ютерних системи забезпечення судово-експертної діяльності;

2) розроблення комплексу взаємопов’язаних моделей складових комп'ютерної системи для забезпечення судово-експертної діяльності з використанням формалізму континуальних інтегралів;

3) розроблення комплексу методів оперативної оцінки якості функціонування комп'ютерної системи для забезпечення судово-експертної діяльності з контролем основних параметрів сигналів;

4) розроблення комплексу моделей впливу завад на апаратні складові, а саме на мережне обладнання комп’ютерної системи для забезпечення судово-експертної діяльності;

5) розроблення методу дослідження ознак монтажу фото- та відео- даних із застосуванням комплексного критерію виділення шуму;

6) розроблення імітаційної моделі передачі інформації у комп'ютерній системі для забезпечення судово-експертної діяльності на основі вивчення структури мережі з використанням просторово-часового вимірювача доступної смуги пропускання;

7) розроблення методу перерозподілу обчислювальних ресурсів комп'ютерної системи для забезпечення судово-експертної діяльності за рахунок використання алгоритмів обробки сигналів

8) проведення порівняльної оцінки розроблених та існуючих моделей та методів синтезу спеціалізованих комп'ютерних систем забезпечення судово-експертної діяльності;

9) дослідження та впровадження розроблених моделей та методів синтезу спеціалізованих комп'ютерних систем забезпечення судово-експертної діяльності.

Об'єкт дослідження – процес проведення судової експертизи з використанням спеціалізованої комп'ютерної системи.

Предмет дослідження – моделі та методи синтезу спеціалізованої комп'ютерної системи судової експертизи.

Методи дослідження. При розв'язанні науково-прикладної проблеми було використано широкий спектр методів. Так, при розробці математичних моделей синтезу спеціалізованої комп'ютерної системи судової експертизи використовувалися: теоретико-множинний підхід: методи теорії масового обслуговування, теорії графів, дослідження операцій та еволюційні методи комп'ютерного моделювання, методи математичної фізики, електромагнетизму. При розробці методів розподілу інформаційних потоків та динамічного перетворення інформаційних структур використовувалися методи теорії інформації та теорії складних систем, функціонального аналізу, математичного програмування. Оцінка експериментальних даних, отриманих у ході роботи, проводилася на основі методів математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів обумовлена розробленими синтезу спеціалізованої комп'ютерної системи судової експертизи, які надали подальший розвиток відповідному науковому напряму, та в межах яких отримані такі нові наукові результати:

вперше розроблені:

– комплекс взаємопов'язаних моделей складових комп'ютерної системи для забезпечення судово-експертної діяльності з використанням формалізму континуальних інтегралів, який враховує особливості передачі інформації по оптичних каналах та базується на визначенні інформаційних параметрів шляхом дослідження просторово-часових і просторово-частотних кореляцій поля хвилі. Використання даного комплексу моделей при прогнозуванні розподілу інформаційних потоків у комп'ютерній системі дозволяє враховувати вплив слабкої неоднорідності середовища розповсюдження сигналу та нелінійних ефектів, які при цьому виникають, що приводить до покращення показників достовірності комп'ютерної системи для забезпечення судово-експертної діяльності;

– комплекс методів оперативної оцінки якості функціонування комп'ютерної системи для забезпечення судово-експертної діяльності з контролем основних параметрів сигналів, які забезпечують передачу інформації, акустооптичними спектроаналізаторами, що дозволяє покращити достовірність передачі пакетів у мережі;

– комплекс моделей впливу завад на апаратні складові, а саме на мережне обладнання комп’ютерної системи для забезпечення судово-експертної діяльності, який враховує процес формування високо провідного електронного каналу, що впливає на зміну провідного стану повітряного проміжку різних геометричних розмірів. Застосування цих моделей при синтезі комп’ютерної системи дозволить покращити умови передачі інформації у комп’ютерній системі для забезпечення судово-експертної діяльності, що підвищить достовірність результатів експертизи;

дістала подальшого розвитку:

– імітаційна модель передачі інформації у комп'ютерній системі для забезпечення судово-експертної діяльності на основі підходу, орієнтованого на вивчення структури мережі з використанням просторово-часового вимірювача доступної смуги пропускання, що дозволяє визначати місцезнаходження з'єднань з меншою доступною пропускною здатністю, ніж всі попередні з'єднання на досліджуваному маршруті та сформувати збалансоване навантаження на вузли базової мережі. Застосування результатів використання цієї моделі при розробці методів передачі інформації у комп'ютерній системі для забезпечення судово-експертної діяльності дозволить підвищити пропускну здатність віртуальних маршрутів, що забезпечує покращення показників достовірності результатів експертизи за рахунок покращення достовірності первинних даних, які передаються та обробляються у комп’ютерній системі

удосконалені:

– метод дослідження ознак монтажу фото- та відео- даних, який відрізняється від відомих використанням ортогональних адаптивних перетворень із застосуванням комплексного критерію виділення шуму з урахуванням ентропії та дисперсії часткових зображень. Використання цього методу дозволяє зменшити час на обробку первинних даних та за рахунок покращення якості виділення ознак монтажу досягнути підвищення достовірності результатів відповідної експертизи;

дістав подальшого розвитку:

– метод перерозподілу обчислювальних ресурсів комп'ютерної системи для забезпечення судово-експертної діяльності за рахунок використання алгоритмів обробки сигналів, які використовуються в MIMO технологіях, що приводить до зменшення помилок в процесі передачі інформації, таким чином дозволить підвищити якість передачі інформації в складних умовах, і тим самим значно покращити достовірність результатів функціонування комп'ютерної системи судово-експертної діяльності;

Достовірність нових наукових положень і висновків дисертаційної роботи підтверджується:

- збіжністю результатів експериментальних досліджень, отриманих при програмній реалізації розроблених моделей та методів, з теоретичними і практичними результатами, відображеними в публікаціях, і обумовлена їх відповідністю до положень теорії синтезу спеціалізованих комп'ютерних систем;
- зведенням розроблених моделей до відомих та апробованих моделей при граничних значеннях параметрів, які було враховано при їх розробленні;
- обґрунтованістю припущень, зроблених при розробленні моделей і методів, виходячи з досвіду експлуатації комп’ютерних систем;
- результатами практичного впровадження моделей та методів синтезу комп'ютерних систем судово-експертної діяльності.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що розроблені у роботі моделі та методи є науково-практичною основою для створення та вдосконалення комп’ютерних систем судово-експертної діяльності. Представлені на їх основі інженерні методи та алгоритми дають змогу:

– виконати моделювання комп’ютерної системи судово-експертної діяльності та її комп’ютерної мережі;

– оптимізувати перерозподіл обчислювальних ресурсів у комп’ютерної системи та зменшити навантаження на спеціалізовану комп’ютерну систему для забезпечення судово-експертної діяльності на 8%;

– вдосконалити комплексний критерій виділення шуму з урахуванням ортогональних адаптивних перетворень дозволяє зменшити ймовірність помилки висновку експертизи фотозображень на 7%;

– визначати місцезнаходження з’єднань з меншою доступною пропускною здатністю, ніж всі попередні з’єднання на досліджуваному маршруті та сформувати збалансоване навантаження на вузли базової мережі;

– зменшити витрати на експлуатацію комп’ютерної системи судово-експертної діяльності на 3-7%.

Результати досліджень впроваджено у: Національному науковому центрі «Інститут судових експертиз ім. засл. проф. М.С. Бокаріуса» в ході дослідницьких робіт та реалізовані в науково-дослідній роботі; Науково-дослідному центрі судової експертизи з питань інтелектуальної власності Міністерства юстиції України (м. Київ) при розв’язанні перспективних задач синтезу спеціалізованої комп’ютерної системи судово-експертної діяльності; ТОВ «ХарківПромпостач» (м. Харків) при виконанні науково-дослідної роботи; у навчальному процесі Черкаського державного технологічного університету.

Особистий внесок здобувача. Усі основні результати, які виносяться на захист, одержані здобувачем особисто, серед них: дослідження нових принципів та підходів до синтезу спеціалізованих комп'ютерних системи забезпечення судово-експертної діяльності; розробка нових моделей та методів, що реалізують ці принципи та дозволяють підвищити достовірність результатів експертиз; проведення експериментальних досліджень розроблених моделей та методів; участь у впровадженні результатів дисертаційних досліджень. Особистий внесок здобувача у наукових працях, написаних у співавторстві, зазначений у списку опублікованих праць за темою дисертації та відповідає темі та змісту дисертації.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися, обговорювалися та були визнані на таких науково-технічних конференціях і симпозіумах: I Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми науково-технічного та правового забезпечення кібербезпеки у сучасному світі» (Харків, 2016); Міжнародній науково-практичної конференції, присвяченої 90-річчю від дня народження видатного вченого-криміналіста, доктора юридичних наук, професора Л.Ю. Ароцкера (Полтава, 2017); 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies-2017 (AICT-2017) (Львів, 2017) ; Четверта IEEE науково-практична конференції «Проблеми інфокомунікацій. Наука та технології» (PICS&T-2017) (Харків, 2017); Всеукраїнська науково-практична конференція Актуальні питання протидії кіберзлочинності та торгівлі людьми (Харків, 2018, 2019, 2020); 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT). (Львів, 2019); науково-практичний семінар Застосування інформаційних технологій у діяльності правоохоронних органів (Харків, 2019); міжнародна науково-практичної конференція «Юридична практика в країнах ЄС та в Україні на сучасному етапі» (м. Арад, 2019); Міжнародна. науково-практична конференція, присвячена 150-річчю з дня народження Засл. проф. М. С. Бокаріуса Актуальні питання судової експертизи і криміналістики (Харків, 2019); двадцята міжнародна науково-технічна конференція Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-2020) (Харків, 2020); VIII Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми інформатизації» (Черкаси, 2020).

Публікації. Матеріали дослідження опубліковані у 35 наукових працях, з яких: 19 наукових статей (з них 2 входить до бази даних Scopus 3 квартиль; 2 – входить до бази даних Web of Science; 1 – у закордонному рецензованому виданні; 14 – у вітчизняних фахових наукових журналах), 3 монографії (1 – за кордоном), а також 13 тез доповідей (з них 3 входить до бази даних Scopus).

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотацій двома мовами, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації становить 322 сторінок: з них 92 рисунки за текстом; 5 таблиць за текстом; додатки на 11 сторінках; 250 найменувань використаних літературних джерел на 25 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційних досліджень, сформульовано її мету та задачі, визначено об’єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну та практичну значущість роботи.

У першому розділі проведено аналіз науково-прикладної проблеми, досліджено сучасний стан та тенденції розвитку спеціалізованих комп'ютерних системи забезпечення судово-експертної діяльності, а також особливості складових, які забезпечують функціонування цих систем. На основі аналізу існуючих вимог до сучасних спеціалізованих комп'ютерних системи забезпечення судово-експертної діяльності сформульовані загальні вимоги до необхідного складу програмних компонентів системи та підтримуючих їх апаратних засобів мережі комп’ютерної системи.

Показано, що поряд зі збільшенням обсягів інформації, яка передається між компонентами комп’ютерної системи, суттєво збільшується навантаження на ці компоненти, що потребує значного удосконалення моделей та методів контролю та забезпечення якості функціонування КС. Найбільші проблеми виникають при порушенні частотно-часових параметрів КМ КС, які повинні забезпечувати надійну та достовірну передачу даних у КМ. Тому розробка нових методів та моделей контролю, діагностики та функціонування є необхідною реальністю, що дозволить покращити достовірність прийняття рішень у судово-експертної діяльності. Були виділені особливості завадового впливу високо енергійних завад на живучість КС та сформульовані основні задачі дослідження цього впливу. Виділені основні фактори, які заважають отримати достовірні результати експертизи Показана необхідність вирішення завдання удосконалення методу дослідження ознак монтажу фото- та відео- даних, що дозволить знизити час на обробку первинних даних та досягнути покращення достовірності відповідної експертизи. Обрано загальний критерій оцінки ефективності синтезу спеціалізованих комп'ютерних системи забезпечення судово-експертної діяльності.

Другий розділ присвячено розробці методів оцінки якості функціонування комп’ютерної мережі (КМ) КС для забезпечення судово-експертної діяльності. Попередньо було розглянуто основні фактори, які впливають на якість функціонування КМ КС та підкреслено значний вплив якості пристроїв синхронізації для забезпечення якості передачі інформації у КМ. Було проаналізовано основні види синхронізації комп'ютерних систем (бітова синхронізація, синхронізація канального інтервалу та кадрова синхронізація). та встановлено, що для якісної роботи КМ максимальна нестабільність частоти на виході цифрової системи синхронізації може досягти рівня $1x10^{-11}$. Для визначення факту та моменту порушення синхронізації в комп'ютерних системах критичного застосування необхідно використовувати відповідні обчислювальні комплекси, які повинні з високою швидкодією і точністю визначати поточну частоту генераторів в мережі. В даний час такими апаратними засобами є акустооптичні аналізатори спектра (АОАС) з просторовим інтегруванням (рис. 1).

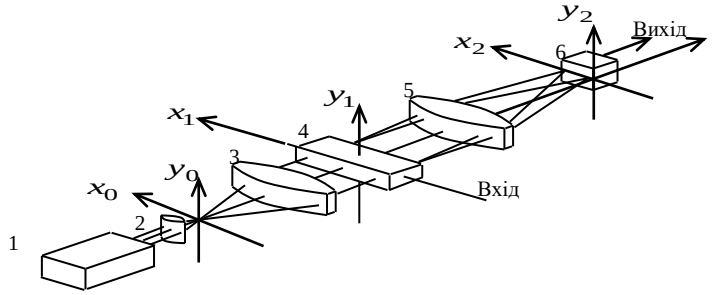


Рисунок 1 – Структурна схема акустооптичного спектроаналізатора

На структурній схемі аналізатора (рис. 1), позначені: 1 – лазер. 2 – конденсатор, 3 – коліматор, 4 – акустооптичний модулятор (АОМ), 5 – фур'є-лінза, 6 – пристрій, що реєструє зображені системи координат x_1, y_1, z_1 та x_2, y_{12}, z_2.

Конденсатор і коліматор перетворять випромінювану лазером монохроматичну хвилю $exp[i(\omega_L t - k_L z_1)]$ в падаючу під кутом Θ_i на АОМ плоску хвилю $E_0(x_1, t) = r(x_1) exp[i(\omega_L t - k_L z_1 + k_L z_1 tg\Theta)_i]$ з заданою апертурою:

$$r(x_1)\begin{cases}1, & |x_1| \le D/2;\\ 1, & |x_1| > D/2.\end{cases}$$

На вхід аналізатора надходить радіосигнал *S(t)*, який потім перетворюється в біжучу акустичну хвилю $r(x_1)S\left(t - \frac{x_{1+D/2}}{v}\right)$, що поширюється зі швидкістю *v*. У лінійному наближенні поле світлової хвилі першого дифракційного порядку представляється у вигляді:

$$E_1(x_1, t) = Ar(x_1)S\left(t - \frac{x_{1+D/2}}{v}\right) exp[i(\omega_L t - k_L z_1 + k_L z_1 tg\Theta)_i], \qquad (1)$$

де *A* характеризує вплив акустичної хвилі, що моделює лазерне випромінювання, яке проходить через АОМ.

У вихідний площині аналізатора, що збігається із задньою фокальною площиною лінзи 5, поле записується як

$$E_2(x_2, t) = \int_{-\infty}^{\infty} d\,x_1\; E_1(x_1, t) exp\left(i\frac{2\pi}{\lambda F}x_1\;\; x_2\right), \qquad (2)$$

де *F* - фокусна відстань лінзи, λ - довжина хвилі лазерного випромінювання.

Розглянемо некогерентне перетворення вихідного світлового розподілу в електричний сигнал, пропорційний інтегралу за часом від його інтенсивності

$$U(\omega_x, T_R) = \int_0^{T_R} dt|E_2(\omega_x), t|\,, \qquad (3)$$

де T_R - час реєстрації, що відраховується від моменту *t=0*.

Нехай на вхід аналізатора одночасно надходять два імпульси прямокутної форми з однаковою одиничною амплітудою, але з різними несучими частотами ω_a, тривалістю τ_a та часом затримки t_a $(a = 1,2)$; $s(t) = s_1(t) + s_2(t)$, де

$$s_a(t) = \begin{cases} 0, & t < t_a;\\ \sin\big(\omega_a(t - t_a)\big), & t_a \le t \le t_a + \tau_a;\\ 0, & t > t_a + \tau_a.\end{cases} \qquad (4)$$

Підстановка (4) в (2) дає

$$E_2(x_2, t) = E_2^{(1)}(\omega_x, t) + E_2^{(2)}(\omega_x, t), \qquad (5)$$

де доданок $E_2^{(a)}(\omega_x, t)$ відповідає відгуку на *a*-й вхідний імпульс (*a=1,2*), у випадку часової апретури *T*, меншої тривалості імпульсу τ_a.

Таким чином, згідно (3) та (5) сумарний реєстрований сигнал можна записати у вигляді

$$U(\omega_x, T_R) = U_1(\omega_x, T_R) + U_2(\omega_x, T_R) + U_{1,2}(\omega_x, T_R)\,, \qquad (6)$$

де $U(\omega_x, T_R) = \int_0^{T_R} dt \left|E_2^{(a)}(\omega_x, t)\right|^2$ є вихідним сигналом при наявності на вході тільки *a*-го імпульсу, а третій доданок

$$U_{1,2}(\omega_x, T_R) = 2Re\left[\int_0^{T_R} dt E_2^{(1)}(\omega_x, t)\overline{E_2^{(2)}(\omega_x, t)}\;\right], \qquad (7)$$

виникає як результат інтерференції перших двох (риса зверху означає комплексне сполучення).

На основі чисельних розрахунків за виразами (4) – (7) було отримані результати часової еволюції залежності вихідного сигналу $U(\omega_x, T_R)$ від величини ω_x, пропорційній координаті x_2 для відносної растройки несучих частот $\varepsilon = (\omega_2 - \omega_1)/\omega_1 = 0{,}02$, що представлено на рис. 2.

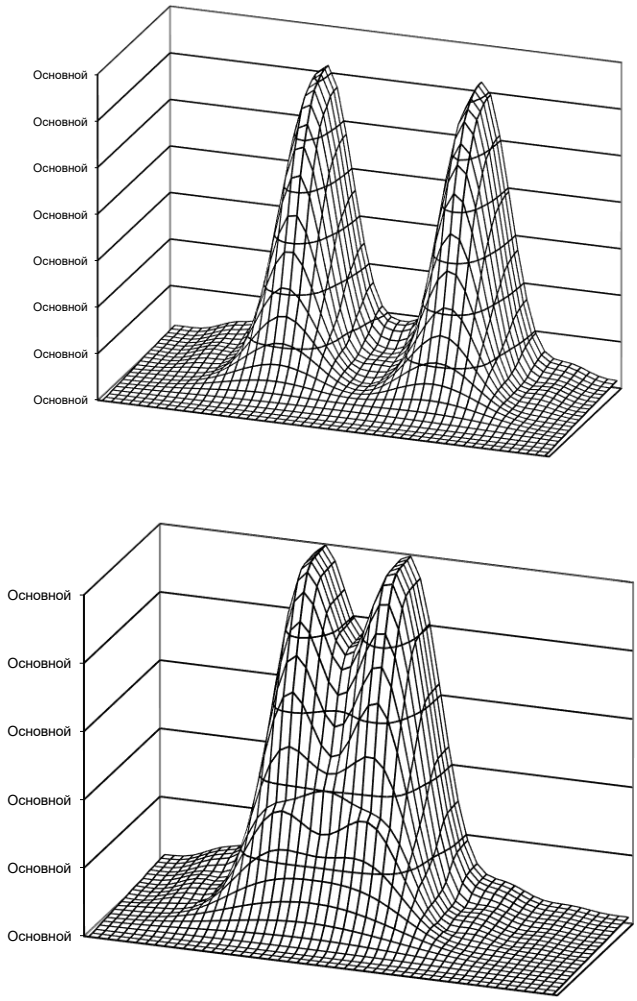


Рисунок 1,2 – Вихідний сигнал спектроаналізатора
при значному розладнанні несучих частот вхідних імпульсів

Подальші дослідження стосувалися визначення джитера для проведення динамічного перенастроювання мережевих параметрів. Найбільш простим способом є оцінка джиттера по глазковій діаграмі. Глазкова діаграма – це сумарний вигляд всіх бітових періодів вимірюваного сигналу, накладених один на одного. На рис. 3 представлена гістограма області переходу глазкової діаграми. Таким чином, якість визначення джиттера в частотному поданні вимагає підвищення точності вимірювання частоти, прийнятого сигналу, що, в свою чергу, викликає необхідність підвищення роздільної здатності сучасних аналізаторів спектра. У лінійному наближенні поле світлової хвилі першого дифракційного порядку представляється у вигляді:

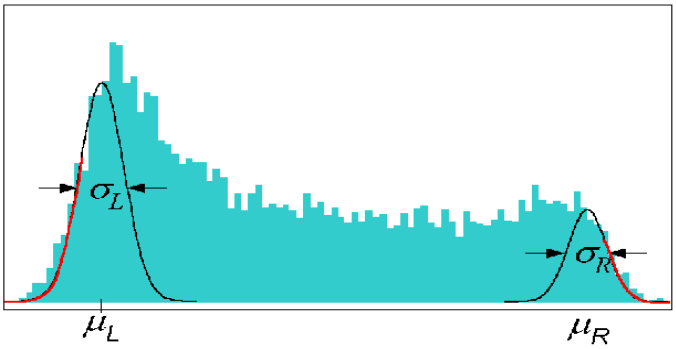


Рисунок 3 – Гістограма області переходу глазкової діаграми

$$E_1(x_1,t) = Ar(x_1)\cdot s\left(t - \frac{x_1+D/2}{v}\right) exp[i(\omega_L t - k_L z_1 + k_L x_1 tg\theta)], \qquad (8)$$

де A характеризує модулюючий вплив акустичної хвилі на лазерне випромінювання, що проходить через акустооптичний модулятор.

У вихідний площині акустооптичного спектроаналізатора поле буде записуватися у вигляді

$$E_2(x_2,t) = \int dx_1 E_1(x_1,t) exp\left(i\frac{2\pi}{\lambda F}x_1 x_2\right). \qquad (9)$$

Використовуючи вираз (8), формулу (9) можна перетворити до вигляду

$$E_2(x_2,t) = Avexp(-i\omega_x T/2)\int_0^T d\tau \exp(-i\omega_x\tau)\cdot s(t-\tau)\,. \qquad (10)$$

Нехай на вхід нелінійного аналізатора одночасно надходять два монохроматичних радіосигналу одиничної амплітуди, але з різними несучими частотами ω_a (a = 1,2):

$$S(t) = S_1(t) + S_2(t),$$

де

$$S_a(t) = \sin(\omega_a + \phi_a). \qquad (11)$$

Підстановка (11) в (10) дає:

$$E_2(\omega_x,t) = E^{(1)}(\omega_x,t) + E^{(2)}(\omega_x,t), \qquad (12)$$

де доданок $E^{(a)}(\omega_x,t)$ відповідне відгуку на a -й вхідний радіосигнал.

Таким чином, з огляду на нелінійність елементів реєструючого пристрою, а також в силу (4) сумарний реєстрований сигнал можна записати у вигляді

$$U(\omega_x,t) = U_1(\omega_x,t) + U_2(\omega_x,t) + U_{1,2}(\omega_x,t), \qquad (13)$$

третій доданок:

$$U_{1,2}(\omega_x,t) = E^{(1)}(\omega_x,t) * \overline{E^{(2)}(\omega_x,t)} \qquad (14)$$

виникає як результат інтерференції перших двох (риса зверху – комплексне сполучення).

Також було запропоновано структурну схему пристрою обробки спектральної інформації для підвищення роздільної здатності акустооптичного аналізатора спектра. Цей пристрій виконує інтегрування імпульсного сигналу по стробу змінного знаку та подальше підсумовування цього результату, що дозволяє значно покращити роздільну здатність АОАС та покращати достовірність даних, що обробляються у КС.

При оцінці потенційної точності визначення розладу по частоті двох імпульсів прирізній частоті дискретизації параметра встановлено, що залежність

середньоквадратичної помилки оцінювання розладу по частоті від її величини носить періодичний характер.

При малому числі дискрет ($N = 10$) та невеликій величині розладнання $\Delta < 0.4$ середньоквадратична помилка оцінюваного параметра порівняна з його величиною. Це означає, що отримання достовірних оцінок в цих умовах малоймовірно. Зі збільшенням числа дискрет на обраному інтервалі ($N = 100$) величина середньоквадратичної помилки становить менше 10% від величини оцінюваного параметра на всьому інтервалі.

Таким чином, проведено дослідження розподіленої інформаційної системи судової експертизи. В рамках проведеного аналізу було встановлено, що для їх ефективного функціонування необхідне виконання досить жорстких вимог до комп'ютерної мережі, яка забезпечує інформаційний обмін в інформаційній системі. Забезпечення необхідних показників якості функціонування комп'ютерної мережі необхідно здійснювати за рахунок контролю основних параметрів сигналу, який забезпечує передачу інформації в каналах зв'язку.

При проведенні контролю за частотою поширення в каналах зв'язку імпульсів пропонується використання акустооптичних спектроаналізаторів, які забезпечують досить високі значення роздільної здатності за частотою. Обґрунтована можливість застосування надрелеєвського розширення імпульсів за частотою в акустооптичних спектроаналізаторах. Отримано вираз для оцінки потенційної точності величини розладу за частотою двох імпульсів. Аналіз розрахунків потенційної точності показав, що для практичного використання ідеї надрелеєвського розширення імпульсів в акустооптичних спектроаналізаторах необхідно забезпечити потрібну частоту дискретизації вибірки.

Третій розділ присвячено моделюванню складових мережі комп'ютерної системи забезпечення судової експертизи. Забезпечення підвищення якості передачі даних можна досягти застосуванням оптичних технологій, що актуально в даний час і для досліджуваної мережі ІС судової експертизи. Але навіть незначні зміни протоколів передачі та обробки інформації на фізичному рівні можуть призвести до суттєвих змін всіх вищих рівнях класичної моделі OSI ISO. Причому такі зміни можуть інтегрально зростати при переході на більш високий рівень моделі. Уникнути таких порушень режимів функціонування мережі можна за рахунок безперервного контролю параметрів роботи і виявлення моментів неузгодженості мережі. Основною проблемою, що виникає при поширенні оптичного сигналу, є нелінійний характер цього процесу, викликаний як особливостями самого фізичного каналу, так і процесами, що протікають на більш високих рівнях сьомирівневої моделі, які мають фрактальні характеристики.

Для опису процесу передачі інформації в неоднорідному нелінійному середовищі, яким можна вважати і оптичне середовище передачі інформації, можна скористатися формалізмом континуальних інтегралів (КІ) Феймана, які можуть дозволити проводити оцінку імовірнісних характеристик даних. Розглянемо можливість визначення використання формалізму КІ для моделювання процесу поширення сигналу в оптичному каналі зв'язку за рахунок дослідження просторово-часових і просторово-частотних кореляцій поля хвилі.

Розглянемо скалярну величину $H(\vec{r},t)$ – одну з компонент електромагнітного поля. У припущенні вузькосмугового джерела сигналу поле можна представити у вигляді

$$H(\vec{r},t)=H_{\omega}(\vec{r},t)\,e^{-i\omega t},$$

де ω – частота хвилі, а часовий масштаб зміни H_{ω} багато більше ω^{-1}.

Поширення хвиль описується хвильовим рівнянням, до якого входить випадкова функція координат:

$$\left[\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}+\frac{\partial^2}{\partial z^2}+k^2\mu_{\omega}(\vec{r},t)\right]H_{\omega}(\vec{r},t)=0.$$

Оскільки поле в середовищі з великомасштабними неоднорідностями сконцентровано у вузькому конусі напрямків, то його можна представити у вигляді обуреної плоскої хвилі: $H_{\omega}(\vec{r},t)=U_{\omega}(\vec{r},t)\exp(ikz)$. При цьому комплексна амплітуда хвилі розподіляється уздовж позитивного напрямку осі z в середовищі з магнітною проникністю $\mu_{\omega}(\vec{r})=1+\Delta\mu(\vec{r};k)$, та описується параболічним рівнянням

$$\left[\frac{i}{k}\frac{\partial}{\partial z}+\frac{1}{2k^2}\Delta_{\perp}+\frac{1}{2}\Delta\mu(\vec{\rho},z;k)\right]U(\vec{\rho},z;k)=0, \tag{15}$$

де $\Delta_{\perp}$ - оператор Лапласа по поперечних координатах $\vec{\rho}=(x,y)$.

Рішення рівняння (15) для довільних початкових умов записується як

$$U(\vec{\rho},z;k)=\int d\vec{\rho}_o G(\vec{\rho},z|\vec{\rho}_o,z_o;k)U(\vec{\rho}_o,z_o;k), \tag{16}$$

де функція Гріна $G(\vec{\rho},z|\vec{\rho}_o,z_o;k)$ задовольняє за першою парою аргументів того ж рівняння (15), але з початковою умовою $G(\vec{\rho},z|\vec{\rho}_o,z_o;k)=\delta(\vec{\rho}-\vec{\rho}_o)$.

Рівняння (15) після перетворень ($k^{-1}=\hbar$ – постійна Планка, $\Delta\varepsilon(\vec{r})=-2V(\vec{r})$) збігається з двовимірним рівнянням Шредінгера для частки одиничної маси, в зовнішньому полі $V(\vec{r})$, що дозволяє записати вираз для $G(\vec{\rho},z|\vec{\rho}_o,z_o;k)$ у вигляді КІ:

$$G(\vec{\rho},z|\vec{\rho}_o,z_o;k)=\frac{1}{N}\int\exp\left\{\frac{ik}{2}\int_{z_o}^{z}dz'\left[\dot{\vec{\eta}}^2(z')+\Delta\varepsilon(\vec{\eta}(z'),z';k)\right]\right\}\prod_{z'}d\vec{\eta}(z'). \tag{17}$$

Інтегрування проводиться за всіма двовимірними траєкторіями, що задовольняє граничним умовам $\vec{\eta}(z_o)=\vec{\rho}_o$, $\vec{\eta}(z)=\vec{\rho}$, а нормувальний множник N знаходиться з умови

$$\frac{1}{N}\int\exp\left\{\frac{ik}{2}\int_{z_o}^{z}dz'\dot{\vec{\eta}}^2(z')\right\}\prod_{z'}d\vec{\eta}(z')=G_o(\vec{\rho}-\vec{\rho}_o,z-z_o;k), \tag{18}$$

де $G_o(\vec{\rho},z;k)=\dfrac{k}{2\pi iz}\exp\left(\dfrac{ik}{2z}\vec{\rho}^2\right)$ – функція Гріна рівняння (15) для однорідного середовища. В силу лінійності співвідношення (16) моменти комплексної амплітуди $U(\vec{r};k)$ очевидним чином виражаються через моменти функцій Гріна, задовольняючи тим же рівнянням, але іншим початковим умовам. Тому будемо розглядати моменти

$$\Gamma_{n,m}\left(\{\vec{\rho}_p, k_p\}, \{\vec{\rho}'_s, k'_s\}, z\right) = \left\langle G_1 \ldots G_n \, G'^*_1 \ldots G'^*_m \right\rangle, \tag{19}$$

де $G_p\left(\vec{\rho}_p, z \middle| \vec{\rho}_{op}, z_o; k\right)$, $p = 1, \ldots, n$, $G'^*_s\left(\vec{\rho}_s, z \middle| \vec{\rho}_{os}, z_o; k'_s\right)$, $s = 1, \ldots, m$, а кутові скобки позначають усереднення за ансамблем реалізацій флуктуацій $\Delta\mu(\vec{r}; k)$.

Починаючи з найпростішого з моментів (19), усереднимо вираз (17) для $G\left(\vec{\rho}, z \middle| \vec{\rho}_o, z_o; k\right)$ - по суті, поля точкового джерела, розташованого в точці $(\vec{\rho}_o, z_o)$:

$$\Gamma_{1,o}(\vec{\rho}, k, z) = \int \exp\left\{\frac{ik}{2}\int_{z_o}^{z} dz' \, \dot{\vec{\eta}}^2(z')\right\} \Phi\left[\lambda_{1,o}\right] D\vec{\eta}, \tag{20}$$

де
$$\lambda_{1,o}(\vec{\rho}, z) = \frac{1}{2} k\varepsilon(k) \, h(z' - z_o) \, h(z - z') \, \delta(\vec{\rho}' - \vec{\eta}(z')); \tag{21}$$

$h(z)$ – ступінчаста функція Хевісайда, а $\Phi[\lambda] = \left\langle \exp\left[i\int d\vec{r} \, \delta\mu(\vec{r}) \, \lambda(\vec{r})\right]\right\rangle$ – характеристичний функціонал випадкового поля.

Порівнюючи (20) з (17), зрозуміло, що $\Gamma_{1,o}(\vec{\rho}, k, z)$ задовольняє рівнянню (15), в якому $\delta\mu(\vec{r}, z)$ замінено на $\delta\mu_{эф}(\vec{\rho}, z)$. Якщо флуктуації магнітної проникності є однорідними, то $K_n\left(\vec{\rho}_1, \ldots, \vec{\rho}_n, z_1\right) = K_n$ і вираз (21) не залежить від координат

$$\delta\mu_{эф} = \frac{2}{ik}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n!}\left[\frac{ik}{2}\,\varepsilon(k)\right]^n K_n = const. \tag{22}$$

Тоді можна отримати аналітичний вираз для найпростішого з моментів функції Гріна параболічного рівняння з використанням формалізму КІ Феймана:

$$\Gamma_{1,o}(\vec{\rho}, k, z) = G_o\left(\vec{\rho} - \vec{\rho}_o \middle| z - z_o; k\right) \exp\left[\frac{ik}{2}\,\delta\mu_{эф}(z - z_o)\right]. \tag{23}$$

Для отримання $\Gamma_{1,1}$ потрібно усереднити добуток 2-х функцій Гріна $G_1 G_2^*$, для кожної з яких використовуємо вираз у вигляді КІ. В результаті отримаємо:

$$\Gamma_{1,1}(\vec{\rho}_1, k_1, \vec{\rho}_2, k_2, z) = \int \exp\left\{\frac{i}{2}\int_{z_o}^{z} dz'\left[k_1\dot{\vec{\eta}}_1^2(z') - k_2\dot{\vec{\eta}}_2^2(z')\right]\right\} \Phi\left[\lambda_{1,1}\right] D\vec{\eta}_1 \, D\vec{\eta}_2, \tag{24}$$

де інтегрування ведеться по двовимірних траєкторіях з граничними умовами $\vec{\eta}_1(z_o) = \vec{\rho}_{o1}$, $\vec{\eta}_2(z_o) = \vec{\rho}_{o2}$, $\vec{\eta}_1(z) = \vec{\rho}_1$, $\vec{\eta}_2(z) = \vec{\rho}_2$.

Вираз (15) з урахуванням (17) дає остаточний результат у формі КІ, з вигляду якого відразу виписується рівняння

$$\left[\frac{\partial}{\partial z} + \frac{1}{2i}\left(\frac{1}{k_1}\Delta_{\perp 1} - \frac{1}{k_2}\Delta_{\perp 2}\right) - Q(\vec{\rho}_1, \vec{\rho}_2, z; k_1, k_2)\right]\Gamma_{1,1}(\vec{\rho}_1, k_1, \vec{\rho}_2, k_2, z) = 0, \tag{25}$$

де $Q(\vec{\rho}_1, \vec{\rho}_2, z; k_1, k_2) = \dot{\theta}_z\left[\frac{k_1}{2}\mu(k_1)\,\delta(\vec{\rho} - \vec{\rho}_1) - \frac{k_1}{2}\mu(k_2)\,\delta(\vec{\rho} - \vec{\rho}_2)\right]$; $\Delta_{\perp 1}$, $\Delta_{\perp 2}$ – поперечний лапласіан за координатами $\vec{\rho}_1, \vec{\rho}_2$.

Розглянемо рівняння для кореляційних функцій довільного порядку. В цьому випадку усереднюючи добуток $G_1 \ldots G_n \, G'^*_1 \ldots G'^*_m$ і використовуючи для

кожного із співмножників подання до вигляді КІ, отримаємо:

$$\Gamma_{n,m} = \int \exp\left\{\frac{i}{2}\int_{z_o}^{z} dz'\left[\sum_{p=1}^{n} k_p \dot{\vec{\eta}}_p^2(z') - \sum_{s=1}^{m} k'_s \dot{\vec{\eta}}'^2_s(z')\right]\right\} \Phi[\lambda_{n,m}] D\vec{\eta}\, D\vec{\eta}', \tag{26}$$

Формула (26) з дає вираз для $\Gamma_{n,m}$ в формі КІ, з вигляду якого можна записати відповідне рівняння:

$$\frac{\partial \Gamma_{n,m}}{\partial z} = \frac{i}{2}\left(\sum_{p=1}^{n}\frac{1}{k_p}\Delta_{\perp p} - \sum_{s=1}^{m}\frac{1}{k'_s}\Delta'_{\perp s}\right)\Gamma_{n,m} +$$
$$+ \dot{Q}_{z'}\left[\frac{1}{2}\sum_{p=1}^{n} k_p \mu(k_p)\delta(\vec{\rho}' - \vec{\rho}_p) - \frac{1}{2}\sum_{s=1}^{m} k'_s \mu(k'_s)\delta(\vec{\rho}' - \vec{\rho}'_s)\right]\Gamma_{n,m}. \tag{27}$$

Для створення моделі нелінійних елементів телекомунікаційного обладнання комп'ютерної мережі системи критичного застосування забезпечення необхідних параметрів QoS необхідно провести оцінку впливу малої нелінійності на процес формування вільних коливань резонансної коливальної системи окремого кварцового генератора.

Розглянемо рівняння вільного руху консервативного нелінійного осцилятора:

$$z + f(x) = 0, \tag{28}$$

де $f(x)$ – відновлююча сила в безрозмірному вигляді.

Поперечні переміщення стрижня, що підтримують пружне невагоме покриття, описуються за допомогою функції:

$$f(x) = x + \lambda x^3, \quad \lambda > 0 \tag{29}$$

Розглянемо вільний рух осцилятора, що має вигляд рівняння Дюффінга:

$$\ddot{x} + x + \lambda x^3 = 0. \tag{30}$$

Після перетворень рівняння (30) приймає вигляд:

$$v\frac{dv}{dx} + x + \lambda x^3 = 0, \tag{31}$$

а поділяючи змінні, отримаємо:

$$vdv + (x + \lambda x^3)dx = 0, \tag{32}$$

та інтегруючи останнє рівняння, знаходимо:

$$\frac{v^2}{2} + \Pi(x) = C_0, \quad C_0 = Const. \tag{33}$$

де $\Pi(x)$ – потенційна енергія.

Побудуємо загальний інтеграл рівняння Дюффінга для жорсткої системи:

$$\ddot{x} + x + \lambda x^3 = 0, \quad \lambda > 0. \tag{34}$$

Рішення (34) відшукуємо у вигляді еліптичного косинуса

$$x = acn(u,k), \quad u = \sigma t, \tag{35}$$

де a, σ, k – невідомі постійні.

В результаті маємо загальний інтеграл рівняння Дюффінга (жорстка система) у вигляді:

$$x = x_0 cn(\sigma t, k), \tag{36}$$

де

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{(1-2k^2)}}, \quad \lambda = \frac{2k^2}{x_0^2(1-2k^2)}. \tag{37}$$

Але λ> 0, тому в (37) значення *k* задовольняють нерівності

$$0 \le k \le \frac{1}{\sqrt{2}}. \tag{38}$$

Значення *k* (еквівалентного параметра нелінійності) в (38) відповідають інтервалу параметра нелінійності *λ*, який змінюється від нуля до нескінченності.

На рис. 4 представлені результати розрахунків впливу нелінійності елементів мережного обладнання на стабільність частоти переданої в мережі інформації. Цей графік демонструє, наскільки змінюється стабільність сигналу, що задається при відповідній зміні параметра *k*.

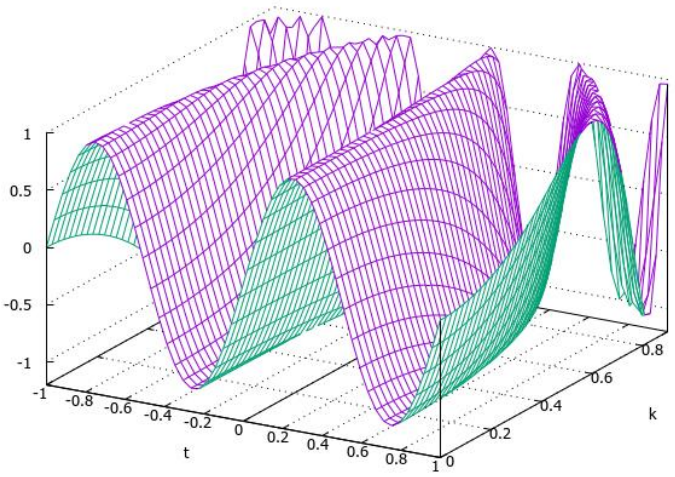
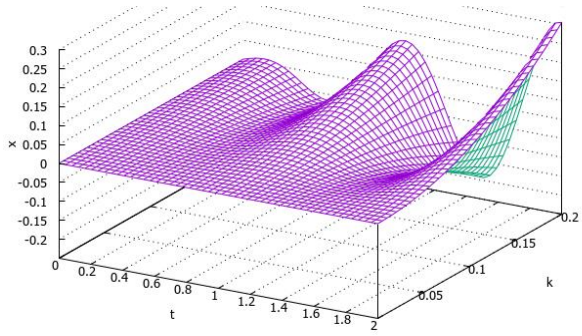


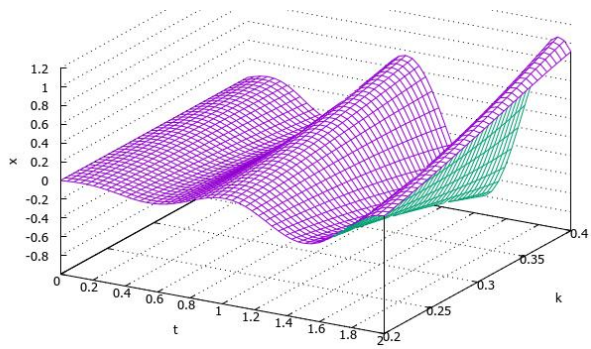
Рисунок 4 – Залежність координати коливань сигналу від еквівалентного параметра нелінійності *k*

Для більшої наочності на рис. 5,а -5.в представлені різниця між сигналом, що поширюється, і стандартним гармонійним сигналом для різних діапазонів еквівалентного параметра нелінійності.

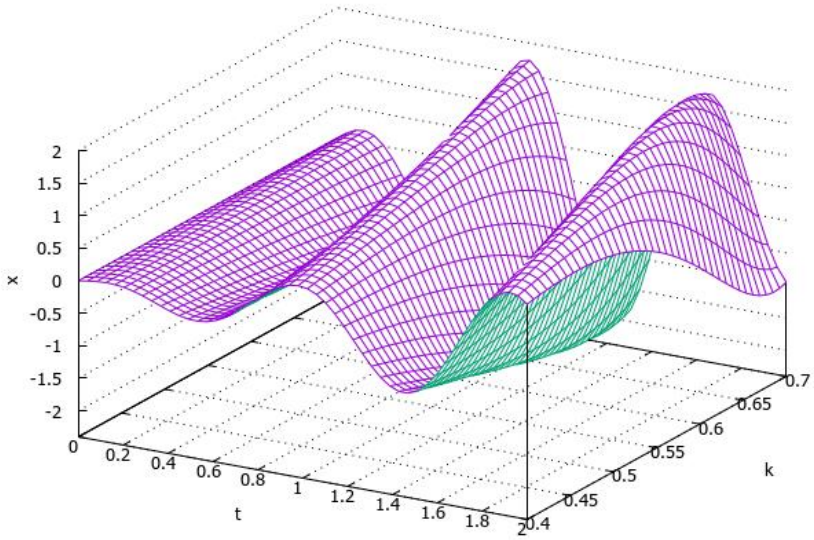
Таким чином, встановлено, що при малих значеннях параметра *k* в межах *0<k<0,01* коливання (рис. 5, а) системи є гармонійними або дуже близькими до них. Стабільність частоти коливань $\delta\omega \approx 2 \cdot 10^{-8}\omega$. Але при досягненні значень *k=0,25* стабільність частоти істотно погіршується до $\delta\omega \approx 5 \cdot 10^{-6}\omega$. Такі флуктуації частоти вже можуть призвести до зниження показників якості функціонування КС. Але при подальшому збільшенні параметра *k* спостерігається істотна неузгодженість гармонійного процесу. В результаті чисельного моделювання коливального процесу в каналах передачі даних КС встановлено, що навіть незначна нелінійність може призвести до істотних змін частоти переданого в мережі сигналу, що в свою чергу призведе до істотних втрат інформації або збільшення часу, необхідного для достовірної передачі.



а



б



в

Рисунок 5 – Різниця між сигналом, що поширюється, і стандартним гармонійним сигналом при а) *0<k<0,2; б) 0,2<k<0,4; в) 0,4<k<0,7*

Четвертий розділ присвячено моделюванню завадового впливу на апаратні складові комп’ютерної системи судової експертизи. Для забезпечення надійного функціонування комп’ютерної системи судово-експертної діяльності виникає важлива проблема забезпечення надійності мережного обладнання та захист його від активного впливу з метою пошкодження як інформації, що обробляється у системі, так й відповідних пристроїв. Зараз існує досить багато різноманітних високотехнологічних засобів електромагнітного впливу (ЕМВ), в першу чергу засобів, які засновані на фізичному принципі впливу та призначені для ураження радіоелектронного обладнання. До цих засобів відносяться радіочастотні, оптичні засобі та засобі електромагнітного імпульсу (ЕМІ).

В основу розробки запропонованої методики покладено розроблену автором узагальнену модель процесу функціонування РЕЗ ОВТ з урахуванням стану оперативно-тактичної обстановки (ОТО), структурна схема якої наведена на рис .6. Відповідно до цієї моделі в якості критерію ефективності засобів захисту РЕЗ КС обрано ймовірність виконання функціональних обов’язків РЕЗ в умовах впливу потужного ЕМВ (фактори, які впливають на функціонування РЕЗ та не залежать від дії ЕМЗ, в критерії не враховані):

$$P_{ВБЗ} = P\left(\Pi_{BX_{EMB}} \le \Pi_{ПОР} \right). \qquad (39)$$

де $P_{ВБЗ}$ – ймовірність виконання функціональних обов'язків в умовах можливих впливів; $П_{ВХ_{ЕМВ}}$ – потік падаючої потужності, що створюється засобами ЕМЗ; $П_{ПОР}$ – порогове значення потоку падаючої потужності, при якій здійснюється функціональне ураження РЕЗ.

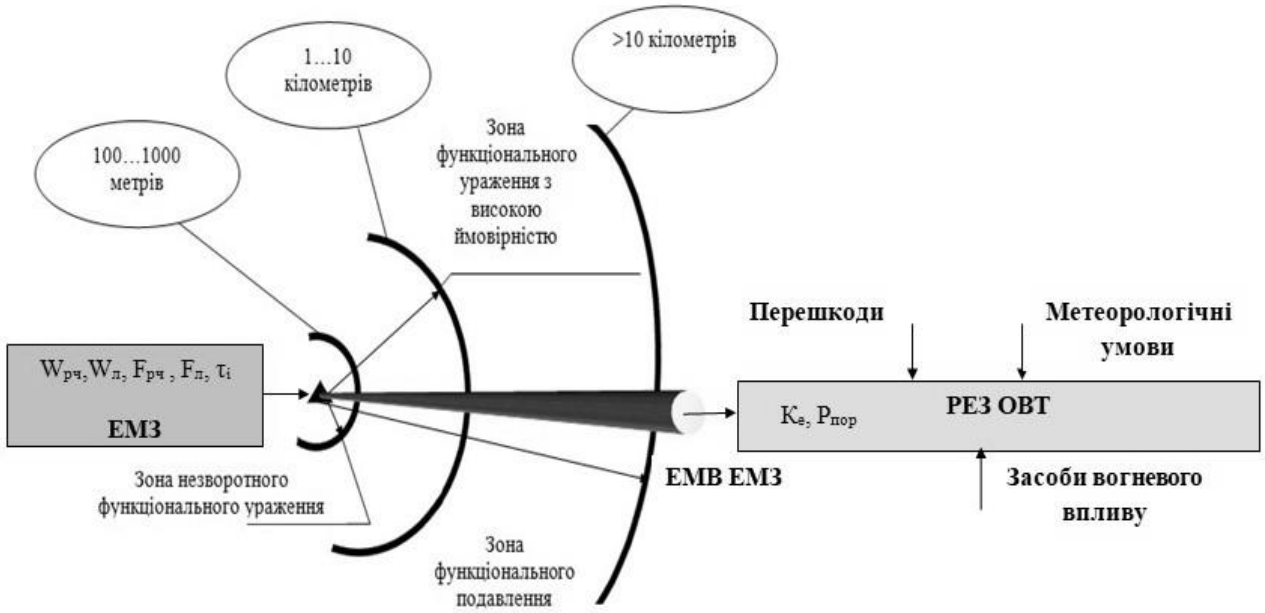


Рисунок 6 – Структурна схема узагальненої моделі процесу функціонування РЕЗ КС

Основні вимоги до засобів захисту РЕЗ КС СЕД полягають в наступному:

1. Діапазон робочих довжин хвиль від 1 мм до 100 км.

2. Зниження рівня енергії ЕМВ на вході в точках доступу в РЕЗ до 10^{-8}Дж.

3. Час спрацювання не менше 10^{-10}с для захисту від засобів ЕМІ та радіочастотних засобів, та 10^{-19}с – від оптичних засобів.

4. Здатність працювати в широкому інтервалі температур (240…2000) К).

5. Працездатність з урахуванням можливості зміни в широких межах фізичних умов застосування (тиск повітря (760…10) мм. рт. ст.)).

Також обґрунтовано концепцію захисту РЕЗ, визначено фізичні механізми, реалізація яких забезпечить вимоги до засобів захисту РЕЗ від потужного ЕМВ, розроблені математичні моделі опису зміни провідного стану слабоіонізованого повітряного середовища та твердотільного плазмового матеріалу, що виникає під впливом потужного ЕМВ УКТ. З фізичної точки зору замикання розрядного проміжку в отворах РЕЗ під впливом імпульсного потужного ЕМВ є пробій слабоіонізованого середовища в процесі проростання електропровідного каналу зі зменшеною щільністю в порівнянні з діелектриком. Розробка формалізованої моделі опису процесу замикання імпульсного потужного ЕМВ УКТ в отворах здійснено відповідно до процесу формування високопровідного електронного каналу, який включає наступні стадії визначення пробою:

– плазмову (під впливом джерела α-часток в розрядному проміжку існує стаціонарна слабоіонізована квазірівноважна плазма). Середовище характеризується квазірівноважною функцією розподілу (ФР) заряджених

часток f_0, їх концентрацією, яка визначається величиною активності радіоізотопного джерела Q, $n_0 = n(Q)$, електронною температурою T_e та дифузією часток $D_П$. Провідність слабоіонізованого середовища незначна та визначається концентрацією електронів та нейтральних часток $\sigma = f(n_{ен}) \approx 0$;

– плазмово-лавинну, коли спотворення зовнішнього поля E_0 все ще дуже мале, а тиск індукованого поля $E_2/4\pi$ стає значним та істотно впливає на динаміку розвитку плазмової лавини, характер її радіального розширення. На цьому етапі виникає сильно іонізоване середовище, яке характеризується нерівноважною ФР заряджених часток $f_1(t_l, \vec{v}, \vec{r}, E, \tau_i)$.

Час формування плазмової лавини складає t_1 та визначається параметрами ЕМВ (E, τ_i) і попередньо сформованою на першій стадії розвитку пробою початковою концентрацією заряджених часток $n_0 = n(Q)$. Лавина характеризується $T_e = f(f_1)$; дифузією електронів $D_e = f(T_e)$ та іонів $D_i = f(T_i)$. Концентрація електронів в лавині $n_e = n_l = f(f_1)$. В залежності від діапазону частот ЕМВ ω в плазмовій лавині будуть мати місце процеси поглинання енергії зовнішнього поля, які визначають час розвитку лавини. Провідність плазмової лавини визначено як $\sigma_л = f(n_l(f_1), \omega)$;

– плазмово-стрімерну, коли поле E_1 повністю компенсує зовнішнє поле E_0. На цій стадії відбуваються посилення зовнішнього поля поза стрімерній області, охолодження плазми стрімера і інтенсивна рекомбінація. Внаслідок поглинання рекомбінаційного випромінювання відбувається зародження нових лавин і їх прискорене поширення в посиленому електричному полі. Параметри плазми на плазмово-стрімерному етапі розвитку пробою такі:

1. Функція розподілу заряджених часток $f_2(t_c, \vec{v}, \vec{r}, E, \tau_i)$.
2. Дифузія електронів $D_e = f(T_e)$ та іонів $D_i = f(T_i)$.
3. Критична концентрація електронів, при якій буде сформовано високопровідний канал, $n_{кр} = f(n_l, f_2, \alpha_p, p)$, де α_p, p–коефіцієнт рухомості електронів та атмосферний тиск, при якому відбувається формування високопровідного каналу.
4. Провідність стрімеру $\sigma_c = f(n_{кр}, \omega)$.

У відповідності до етапів формування пробою в отворі розміром d пробійна напруга є функцією від параметрів плазмового середовища, ЕМВ та тиску повітряного середовища: $E_{пр} = f(Q, f_1(t_l, \vec{v}, \vec{r}, E); f_2(t_c, \vec{v}, \vec{r}, E), \tau_i, \alpha_p, p, d)$. Час формування високопровідного каналу, відповідно, визначається як час формування лавини та стрімера $\tau_{пр} = f(t_l; t_c)$ та відповідає виконанню умови $n \geq n_{кр}$. Формування високопровідного каналу представлено у вигляді тришарової структури, яка наведена на рис. 7. Відповідно до цієї структури модель опису процесу формування високопровідного каналу є такою:

$$\sigma_c = f(n_{кр}, \omega); \quad n_{кр} = f(n_l, f_2, \alpha_p, p); \quad \tau_{пр} = f(t_l; t_c); \tag{40}$$

$$E_{пр} = f(Q, f_1(t_l, \vec{v}, \vec{r}, E); \quad f_2(t_c, \vec{v}, \vec{r}, E), \tau_i, \alpha_p, p, d). \tag{41}$$

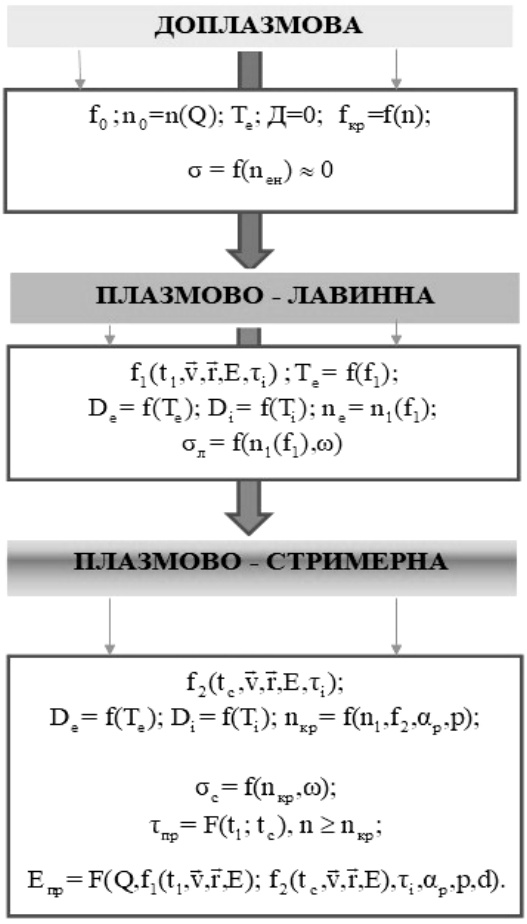


Рисунок 7 – Стадії формування високопровідного каналу довгого розрядного проміжку

Особливість розробленої моделі, що визначає її новизну, полягає в урахуванні фізичних процесів на початковій плазмовій, плазмово-лавинній та плазмово-стримерній стадіях, що впливають на зміну провідного стану повітряного проміжку, та визначенні часових та енергетичних умов формування високопровідного каналу в повітряному середовищі отворів корпусів-екранів, кабельних каналів введення РЕЗ КС при взаємодії потужного імпульсного ЕМВ УКТ зі слабоіонізованим повітряним середовищем в залежності від активності джерела іонізації, параметрів ЕМВ, а також величини атмосферного тиску та призводять до еволюції імпульсу ЕМВ. Діелектрична проникність твердотільного плазмового матеріалу, яка визначає екрануючі властивості, у відповідності до базової моделі представлено у вигляді:

$$\varepsilon_n\left(\omega,\vec{k}\right)=\varepsilon_м+\sum_{i=1}^{N}\delta\varepsilon_{вкл_i}\left(\omega,\vec{k}\right)+\sum_{\xi=1}^{M}\delta\varepsilon_{неравн_\xi}\left(\omega,\vec{k},Q\right)+\sum_{i=1}^{M}\delta\varepsilon_{г_i}\left(\omega_i\right)+$$
$$+\sum_{\nu=1}^{J}\delta\varepsilon_{неравн_\nu}\left(T(\vec{E},\vec{H})\right)+i\left\{\frac{4\pi}{\omega}\left[\sigma_{eff}\left(\omega,\vec{k}\right)+\sigma_{eff}\left(T(\vec{E},\vec{H})\right)+\sigma_{eff}\left(\omega_i\right)+\alpha_e E^2\right]\right\}, \quad (42)$$

де $\varepsilon_м$ – діелектрична проникність напівпровідникового матеріалу;

$\sum_{i=1}^{N}\delta\varepsilon_{вкл_i}\left(\omega,\vec{k}\right)$ – внесок у діелектричну проникність радіоактивних включень;

$\sum_{\xi=1}^{M} \delta\varepsilon_{неравн_{\xi}}\left(\omega,\vec{k},Q\right)$– внесок у діелектричну проникність нерівноважного стану електронної підсистеми, що виникає за рахунок радіоізотопних включень Q;

$\sum_{\nu=1}^{J} \delta\varepsilon_{неравн_{\nu}}\left(T(\vec{E},\vec{H})\right)$ внесок у діелектричну проникність нерівноважного стану електронної підсистеми, що виникає за рахунок нагріву під впливом імпульсного потужного ЕМВ УКТ;

$\sum_{i=1}^{M} \delta\varepsilon_{г_i}\left(\omega_i\right)$, $\sigma_{eff}\left(\omega_i\right)$ – внесок у діелектричну проникність гексаферитових включень відповідного частотного діапазону та складові уявної частини діелектричної проникності;

$4\pi\omega^{-1}\left(\sigma_{eff}\left(\omega,\vec{k}\right)+\sigma_{eff}\left(T(\vec{E},\vec{H})\right)+\alpha_e E^2\right)$ – лінійні та нелінійні складові уявної частини діелектричної проникності напівпровідникового шару;

α_e, E – ефективна нелінійна провідність та середнє електричне поле, відповідно; $\omega,\vec{k}$ – частота й хвильовий вектор.

Магнітна проникність твердотільного плазмового середовища з урахуванням гексаферитових включень буде визначатися відповідно до виразу:

$$\mu(\omega_i) = 1 + \sum_{s=1}^{U} \mu_s(\omega_i), \tag{43}$$

де сума –це внесок в магнітну проникність гексаферитових включень, в залежності від частотного діапазону.

В умовах впливу лазерної зброї потік електромагнітної енергії, що падає на поверхню екрана від потужного теплового джерела, за рахунок її поглинання призведе до нагріву та можливого руйнування речовини захисного матеріалу. Тому опис модифікованих електрофізичних властивостей твердотільного плазмового середовища необхідно доповнити тепловою моделлю та визначити оптичні параметри та умови, при яких забезпечується відбиття лазерного випромінювання (ЛВ). Коефіцієнт відбиття ЛВ визначається плазмовою частотою захисного екрана, яка, в свою чергу, визначається концентрацією заряджених часток. Умовою створення плазмового дзеркала, що відбиває ЛВ, є:

$$n > n_{кр} = \frac{\omega_p{}^2 m_e}{4\pi e^2}, \tag{44}$$

де $\omega_p = \omega_{кр} = \sqrt{4\pi n e^2/m}$ – плазмова частота; n – концентрація заряджених часток; e, m – заряд та маса електрону; $n_{кр}$ – критична концентрація електронів в плазмі.

Розробка моделей опису еволюції повітряного середовища під впливом джерела іонізації в отворах та щілинах здійснена з урахуванням їх лінійних розмірів. Обґрунтовано, що в випадку малих лінійних розмірів отворів, щілин,

антенних входів ($d \le 3{,}8 см$ – менше, ніж енергія втрат α-часток) використання джерел іонізації призводить до нерівноважної ФР електронів $f(E)$, яка виявляється близькою до статечної:

$$f(E) = AE^S, \tag{45}$$

де A – нормувальна константа; E – повна енергія електронів; s – показник ступеня.

Критерій пробою визначено з рівняння балансу енергії, відповідно до та балансу часток:

$$E_n > \sqrt{\frac{4}{3}\frac{m_e}{e^2}W_E\frac{1}{\tau_i}\frac{\nu_i^2(Q,E)+\omega^2}{\nu_i(Q,E)}ln\left(\frac{n_{кр}(n_{пл},n_{пс})}{n(Q_Д)}\right)}, \tag{46}$$

де $W_E/e = I_i$ [Дж/Кл] – потенціал іонізації.

Вираз (46) враховує умови здійснення гарантованого захисту отворів корпусів-екранів РЕЗ ОВТ з урахуванням фізичних процесів, що відбуваються на різних стадіях розвитку лавино-стримерного пробою.

Чисельні оцінки залежності пробійної напруженості поля від початкової концентрації електронів в отворі РЕЗ наведено на рис. 8.

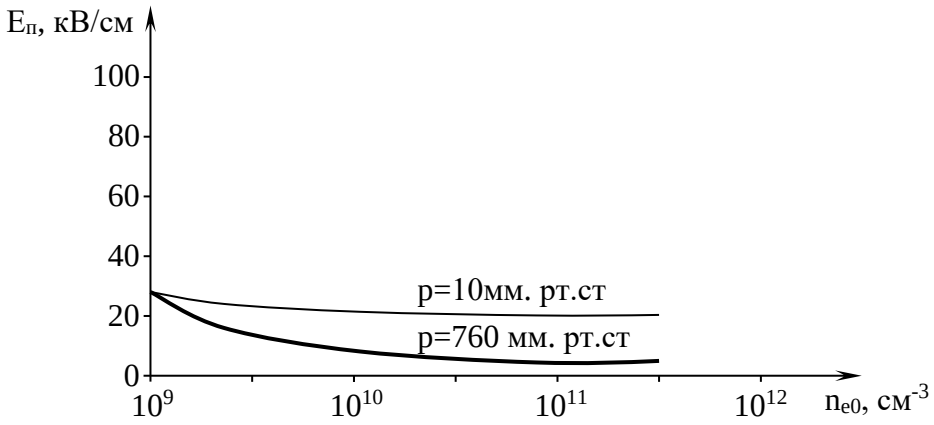


Рисунок 8 – Залежність пробійної напруженості поля від початкової концентрації електронів в отворі РЕЗ ОВТ

Проведені дослідження покладені в основу розробки методів та пристроїв захисту отворів, щілин РЕЗ КС від ЕМЗ, в яких реалізована можливість управління провідністю для зниження рівня пробійної напруженості та підвищення швидкодії захисних пристроїв. З використанням беззіткневої плазми здійснено оцінку впливу твердотільного плазмового середовища на еволюцію імпульсу ЛВ. Показано, що при взаємодії ЛВ з дисперсійним плазмовим матеріалом відбувається еволюція імпульсного випромінювання, яка полягає у часовому уширенні імпульсу. Результати чисельного моделювання еволюції імпульсного випромінювання при його взаємодії з дисперсійним плазмовим матеріалом наведені на рис. 9. В результаті досліджень розроблена математична модель завадового впливу на апаратні складові комп'ютерної системи судової експертизи, яка включає опис високопровідного стану слабоіонізованого повітряного середовищем, що виникає під впливом імпульсного ЕМВ УКТ та

забезпечує захист отворів екранів-корпусів РЕЗ шляхом його замикання та запропоновано комплекс моделей для опису взаємодії твердотільного плазмового середовища з потужним ЕМВ УКТ.

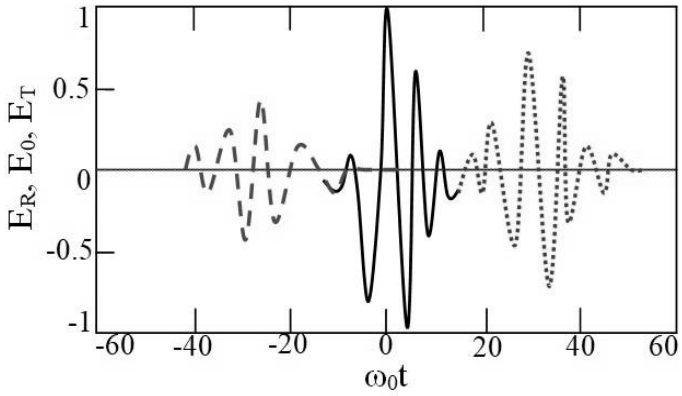


Рисунок 9 – Результати чисельного моделювання впливу дисперсійних властивостей твердотільного плазмового середовища на розпливання імпульсного випромінювання

П'ятий розділ присвячено вибору математичних методів обробки цифрових зображень у системі судової експертизи.

Стрімкий прогрес технічних засобів фотозйомки, відеозапису, телекомунікаційних технологій розширює як можливості традиційних засобів фіксації фото-, відеоданих, так і нових (мобільних, мережевих, спеціалізованих, космічних) із новими форматами даних, вимагає постійного оновлення спеціальних експертних знань у галузі дослідження цифрових фотозображень.

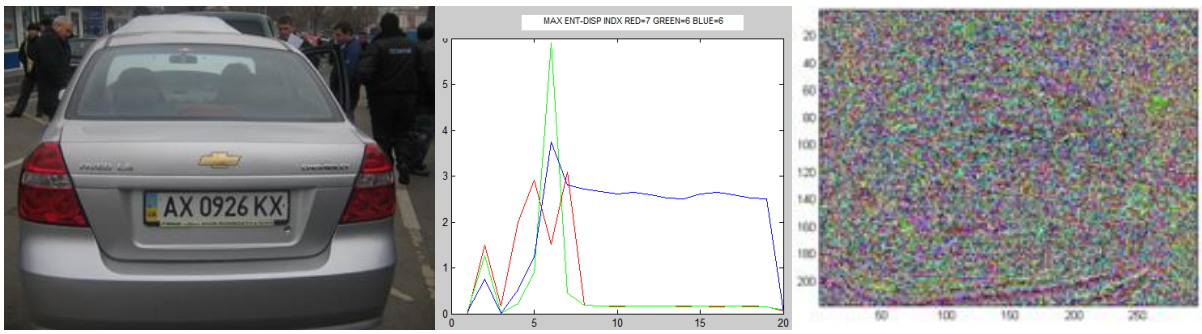
По перше у розділі була визначенню можливості використання адаптивних перетворень, що на основі введеної функції вартості реалізують довільне розбиття частотна-часовій площині сигналу. Для досягнення цієї мети у розділі проаналізовано властивості вейвлет перетворень, які дозволяють отримати рішення про втручання у цифрові фотозображення.

У подальшому при розробки методу аналізу ознак фотомонтажу було запропоновано використання комплексного виділення шуму з урахуванням ентропії та дисперсії часткових зображень.

$$J(n) = E(n) * D(n), \tag{47}$$

де E – ентропія часткового зображення, обчислена використанням n розрядів яскравості; D – дисперсія цього часткового зображення (відхилення від його середнього). Приклад виділення шуму за максимумом комплексного критерія J наведено на рис. 10.

Таким чином, запропонований метод виділення шуму дозволяє, на основі максимуму комплексного критерія (50), розділити корисний сигнал і шум кожного зображення без поділення його на блоки та згладжування. Шумова картина, отримана за критерієм (50) є більш інформативною та придатна для подальшого аналізу. Для мапи класів шумів оригінального зображення характерний її рівномірно хаотичний вигляд (рис. 10). Для зображень з ознаками редагування та монтажу характерні мапи класів шумів, що, на відміну від мап шумів оригіналів, мають значні рівномірно забарвлені ділянки (рис. 11).



а б в

Рисунок 10 – Приклад виділення шумів за комплексним критерієм:
а –зображення; б –залежність ентропії від кількості розрядів;
в –шумова картина за максимумом ентропії

а

б

Рисунок 11. Приклади мап класів шумів (а, б) відомих фотопідробок

Оцінювання нерівномірності шумового фону наряду з візуальною оцінкою мапи класів шумів вимагає застосування чисельних оцінок нерівномірності шуму. Як критерій оцінювання пропонується коефіцієнт кластеризації шуму, що обчислюється за співвідношенням:

$$kclr = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} \frac{\{1, I(i,j) = I(i \pm 1, j \pm 1)\}}{m * n} * 100, \quad (48)$$

де $I(i,j)$ – значення шумового класу (A–G) пікселя зображення; $kclr$, % – коефіцієнт кластеризації шуму зображення.

Значення $kclr$ дозволяє давати чисельні оцінки ступеня пошкодження шумового фону засобами редагування зображення.

Приклади дослідження ретушованого зображення та фотомонажу зображення на основі аналізу ентропії шумів наведено на рис. 12. При обранні

фрагмента для дослідження слід за можливості вилучати яскраві зони, що не містять шумів (наприклад, небо на рис. 12).

Рисунок 12 – Досліджуване зображення – фотомонтаж шляхом клонування

Результати аналізу ентропії шумів зображення наведені на рис. 13, шумовий фон – на рис. 14., а кінцевий результат – на рис. 15. Рівень кластеризації шумів зображення свідчить про наявність маніпуляції.

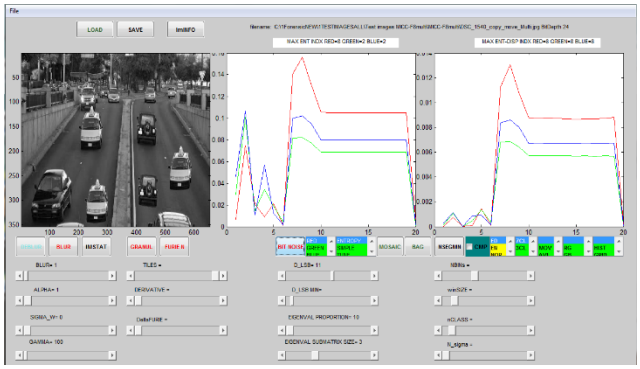


Рисунок 13 – Результати аналізу ентропії шумів зображення

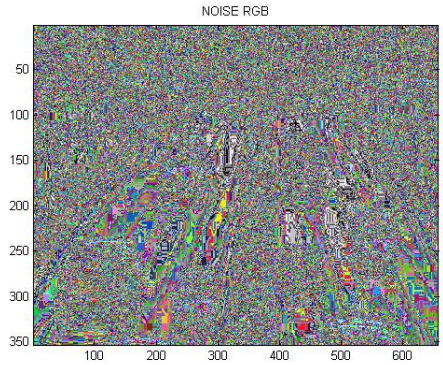


Рисунок 14 – Шумовий фон зображення з клонуванням

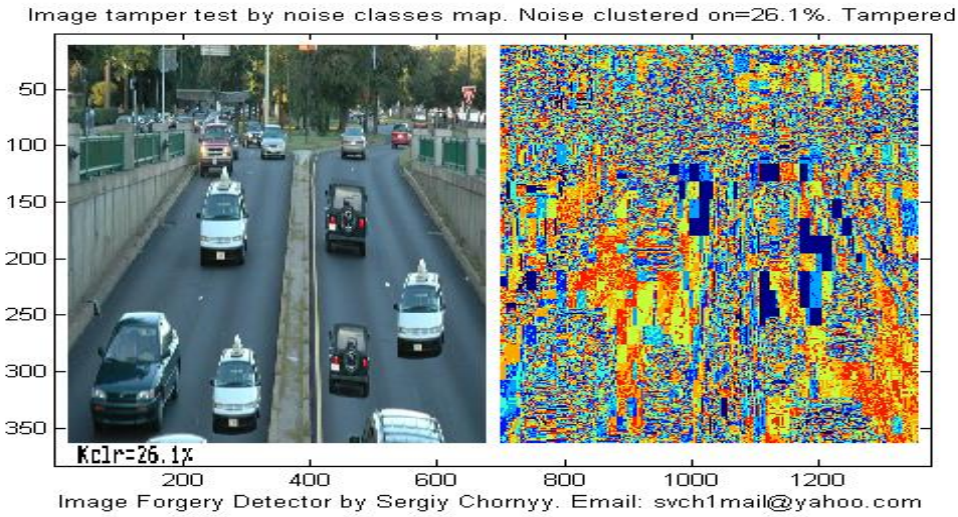


Рисунок 15 – Кінцевий результат дослідження змонтованого зображення

Шостий розділ присвячено дослідженню моделей та методів синтезу комп’ютерної системи забезпечення судово-експертної діяльності. Проведено імітаційне моделювання мультисервісної мережі зв'язку в умовах обмежених ресурсів мережі. Для імітаційного моделювання обрана характерна для мультисервісної мережі «Ніздрювата» структура. В її складі 5 локальних мереж зв'язку (Lan), 10 маршрутизаторів (Router1 ÷ Router10) і один сервер (Server_1).

Локальні мережі і сервер підключені до відповідних маршрутизаторів за допомогою кабелів, що підтримують сімейство технологій Ethernet, 100 Мбіт/с.

Маршрутизатор між собою на канальному рівні взаємодіють по протоколу PPP (англ. Point to Point Protocol) і з'єднані мережевим кабелем з однаковою заздалегідь визначеної (в кожному імітаційному випробуванні) пропускною спроможністю r = 1000 Мбіт / с, r = 100 Мбіт / с і r = 10 Мбіт / с. Таким чином, в одному імітаційному випробуванні кожна лінія зв'язку, що з'єднує маршрутизатори, приймає значення тільки r = 1000 Мбіт / с, в іншому r = 100 Мбіт/ с і аналогічно в наступному r = 10 Мбіт / с.

Крива доступної смуги пропускання згладжується після другого з'єднання в інтервалі часу до 200 секунд і прагнути до значення близько 15 Mbps. У разі, коли обидва сервера генерують трафік, і оскільки інтенсивність трафіку другого сервера вище ніж у першого, то тепер п'ятого з'єднання є непрозорим з'єднанням і доступна смуга пропускання зменшується після тимчасового інтервалу 200 секунд. Доступна смуга пропускання досягає значення 5 Mbps.

Аналізуючи рис. 16 можна встановити, що STAB досить точно оцінює доступну смугу пропускання каналу. Ми обчислюємо цю смугу пропускання до m-го з'єднання в будь-який момент часу. Порівнюючи рис. 16, а і рис. 16, б видно, що STAB занижує доступну смугу пропускання першого з'єднання. Це можна пояснити тим фактом, що подальші з'єднання на маршруті мають незначний вплив на пробний, що складається тільки з наступних один за іншим пакетів, блок пакетів. Графіки, представлені на рис. 16, б можуть виявитися дуже корисними для оптимізації функціонування мережі. Вибираючи запасний маршрут, який мине непрозоре з'єднання 5 по закінченню 200 секунд, а також обходить перший вузьке місце маршруту (з'єднання 2), він може потенційно мати доступну смугу пропускання поточного маршруту в вісім разів більше, ніж існуючу. Практично, ми можемо отримати запасні маршрути за допомогою множинної адресації, при використанні оверлейних мереж, або за допомогою дзеркальних сайтів.

Також запропоновано вдосконалення технології перерозподілу обчислювальних ресурсів КС СЕД на основі сучасної багатоканальної системі обробки та передачі інформації в різних діапазонах випромінювання. Це так звані MIMO-системи у яких використовуються різноманітні алгоритми та методи обробки сигналів.

Наводяться результати аналізу застосування цих алгоритмів в умовах використання їх у комп’ютерної системи забезпечення судово-експертної діяльності.

Розглянуто систему MC-CDMA по Ліннарецу (рис. 17) та систему OFDM-CDMA (рис. 18).

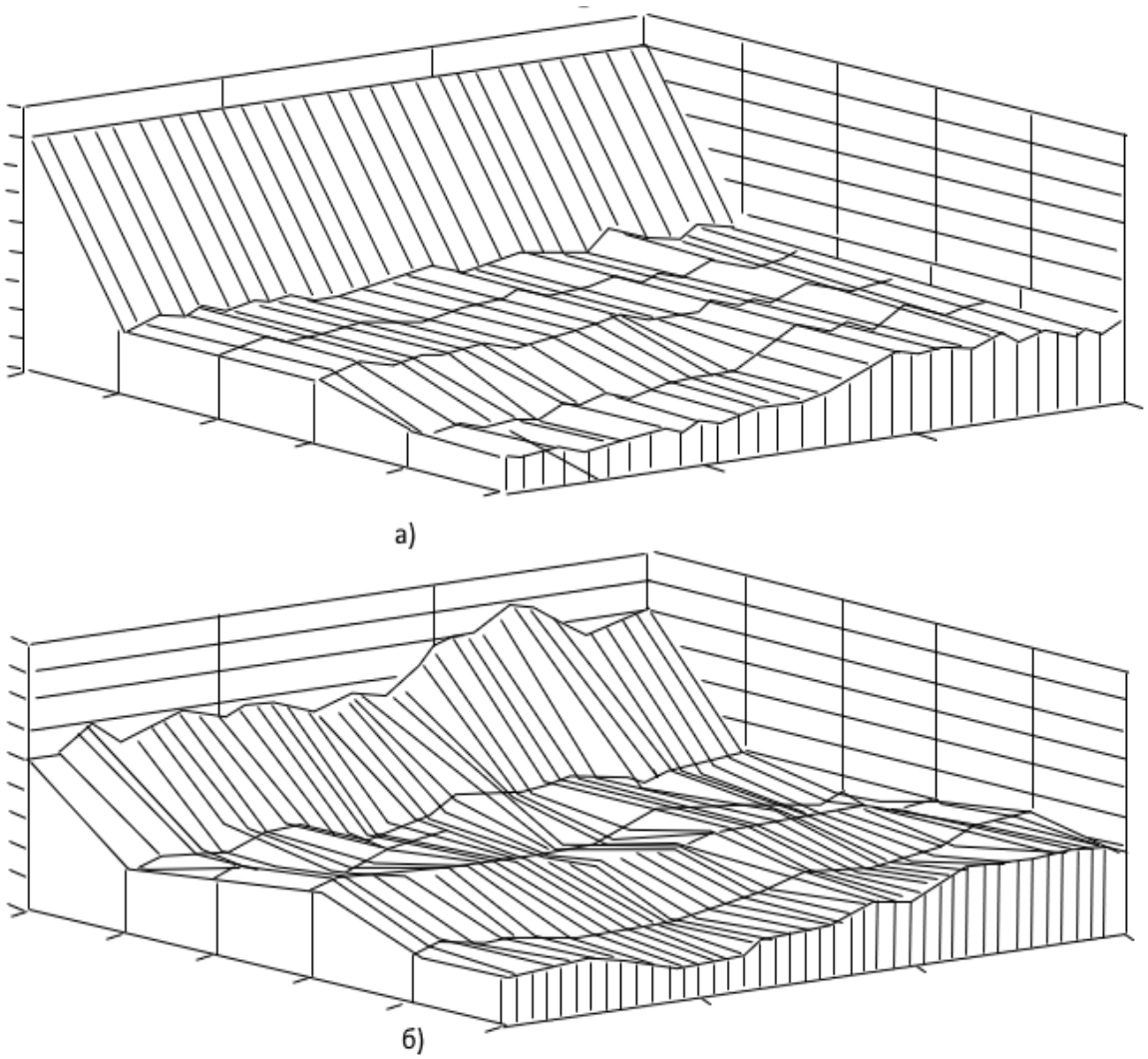


Рис. 16 а, б – Фактична доступна смуга пропускання телекомунікаційної мережі

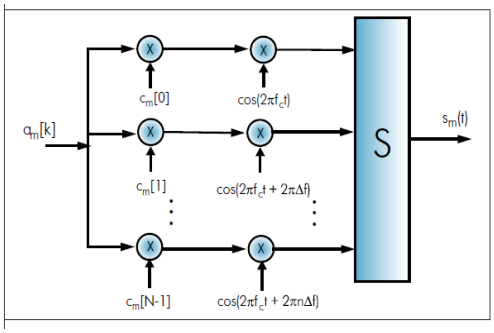


Рисунок 17 – Система MC-CDMA по Ліннарецу

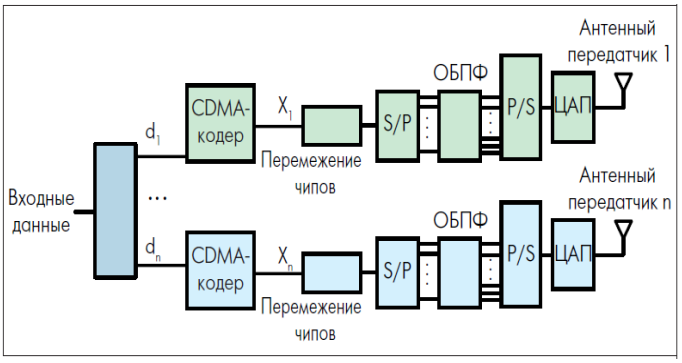


Рисунок 18 – Система OFDM-CDMA

З плином часу, в першу чергу в зв'язку з справжінім вибуховим розвитком OFDM-пристроїв (системи таких масових стандартів, як IEEE 802.11 a / g, DVB, системи цифрового радіомовлення і т.п.), стали з'являтися різні варіанти реалізації технології MC-CDMA. Сьогодні її можна розглядати як подальший розвиток кодованої OFDM-модуляції (COFDM), тим більше що як синонім терміну MC-CDMA часто використовується поняття OFDM-CDMA.

У додатках наведено документи, що підтверджують практичне значення і впровадження результатів дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено основні результати розв’язання актуальної науково-прикладної проблеми підвищення достовірності висновків судових експертиз в умовах обробки значних масивів даних на основі розробки математичних моделей та методів синтезу спеціалізованої комп'ютерної системи забезпечення судово-експертної діяльності.

Це дало змогу отримати такі нові наукові і практичні результати:

1) проведено аналіз існуючих вимог до сучасних спеціалізованих комп'ютерних систем забезпечення судово-експертної діяльності; на основі аналізу сформульовані загальні вимоги до необхідних апаратних складових комп'ютерної системи та підтримуючих їх програмних засобів;

2) розроблено комплекс взаємопов’язаних моделей складових комп'ютерної системи для забезпечення судово-експертної діяльності з використанням формалізму континуальних інтегралів, який враховує особливості передачі інформації по оптичним каналам та базується на визначенні інформаційних параметрів шляхом дослідження просторово-часових і просторово-частотних кореляцій поля хвилі. Використання даного комплексу моделей при прогнозуванні розподілу інформаційних потоків у комп'ютерній системі дозволяє враховувати вплив слабкої неоднорідності середовища розповсюдження сигналу та нелінійних ефектів, які при цьому виникають, що приводить до покращення показників достовірності комп'ютерної системи для забезпечення судово-експертної діяльності;

3) розроблено комплекс методів оперативної оцінки якості функціонування комп'ютерної системи для забезпечення судово-експертної діяльності з контролем основних параметрів сигналів, які забезпечують передачу інформації, акустооптичними спектроаналізаторами, що дозволяє покращити достовірність передачі пакетів до мережі;

4) розроблено комплекс моделей впливу завад на апаратні складові, а саме на мережне обладнання комп’ютерної системи для забезпечення судово-експертної діяльності, який враховує процес формування високо провідного електронного каналу, що впливає на зміну провідного стану повітряного проміжку різних геометричних розмірів. Застосування цих моделей при синтезі комп’ютерної системи дозволить покращити умови передачі інформації у комп’ютерній системі для забезпечення судово-експертної діяльності, що підвищить достовірність результатів експертизи;

5) розроблено метод дослідження ознак монтажу фото- та відео- даних, який відрізняється від відомих використанням ортогональних адаптивних перетворень із застосуванням комплексного критерію виділення шуму з урахуванням ентропії та дисперсії часткових зображень. Використання цього методу дозволяє зменшити час на обробку первинних даних та за рахунок покращення якості виділення ознак монтажу досягнути підвищення достовірності результатів відповідної експертизи;

6) розроблено метод перерозподілу обчислювальних ресурсів комп'ютерної системи для забезпечення судово-експертної діяльності за рахунок

використання алгоритмів обробки сигналів, які використовуються в MIMO технологіях, що призводить до зменшення помилок в процесі передачі інформації, таким чином дозволить підвищити якість передачі інформації в складних умовах, і тим самим значно покращити достовірність результатів функціонування комп'ютерної системи судово-експертної діяльності*;*

7) проведена порівняльна оцінка розроблених та існуючих моделей та методів синтезу комп'ютерної системи для забезпечення судово-експертної діяльності за результатами якої доведено ефективність запропонованих методів;

8) досліджені та впроваджені розроблені моделі та методи синтезу комп'ютерної системи для забезпечення судово-експертної діяльності;

9) практичні результати, що отримано, підтверджені актами впровадження та доводять коректність теоретичних положень дисертаційної роботи, високу ефективність розроблених моделей та методів; результати роботи впроваджено у: Національного наукового центру «Інститут судових експертиз ім. Засл. проф. М.С. Бокаріуса» в ході дослідницьких робіт та реалізовані в науково-дослідній роботі; Науково-дослідного центру судової експертизи з питань інтелектуальної власності Міністерства юстиції України (м Київ) при розв’язанні перспективних задач синтезу спеціалізованої комп’ютерної системи судово-експертної діяльності; ТОВ «ХарківПромпостач» (м. Харків) при виконанні науково-дослідної роботи; у навчальному процесі Черкаського державного технологічного університету.

Подальші дослідження синтезу комп'ютерної системи для забезпечення судово-експертної діяльності пов’язані із розробкою програмно-апаратних засобів, які дозволять мінімізувати людський фактор під час проведення судових експертиз та судових досліджень.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Порошин С.М., Можаєв М.О, Можаєв О.О. Методологія проведення pen-тестування веб-додатків. *Системи обробки інформації*: Збірник наукових праць. Харків: ХУ ПС, 2016. Вип.3(140). С. 33-351.

Здобувачем проведений аналіз існуючих підходів до забезпечення надійності функціонування комп’ютерної мережі.

2. Mozhaiev M., Kuchuk N., Usatenko M. The method of jitter determining in the telecommunication network of a computer system on a special software platform. *Сучасний стан наукових досліджень і технологій в промисловості*. 2019. P. 134-140.

Здобувачем запропоновано метод виявлення джиттеру у комп’ютерної мережі

3. Iasechko M., Mozhaiev M., Manzhai I., Volk M., ladimir Manoylo V., Kostyria O. Conditions for Reliable Transmission Of Information Over Long Distances Using a Powerful Electromagnetic Radiation. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. Vol. 8, No.1. January 2020. P. 138-144. (*Scopus, 3 квартиль*)

Здобувачем запропоновано модель впливу високоенергійних завад на комп’ютерні мережі комп’ютерної системи критичного застосування

4. Iasechko M., Mozhaiev M., Tymochko O., Kolodiazhnyi O., Heilyk A. Estimation of the influence of the None quilibrium State of the Electronic Subsystem and the Dispersion Properties of a Solid-State Plasma Medium in the conditions of Decay Instability on the reflection of Laser Radiation. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. Vol. 8, No.2. February 2020. P. 568-573. (*Scopus, 3 квартиль*)

Здобувачем запропоновано модель впливу високо енергійних завад на розповсюдження оптичного сигналу у комп'ютерні мережі комп'ютерної системи критичного застосування

5. Rudnytsky, V., Mozhaiev, M. Kuchuk, N. (2020) Method for the diagnostics of synchronization disturbances in the telecommunications network of a critical used computer system. *Сучасний стан наукових досліджень і технологій в промисловості*. 2020. №1 (11). С. 172-180.

Здобувачем запропоновано метод діагностики порушень синхронізації у комп'ютерної мережі комп'ютерної системи критичного застосування

6. Гнусов Ю.В., Клімушин П.С., Колісник Т.П., Можаєв М.О. Аналіз систем моделювання мікроконтролерів з додатковими модулями криптографічного захисту інформації. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2020. №1(3). С. 79-84.

Здобувачем запропоновано системи моделювання мікроконтролерів для покращення достовірності результатів обробки інформації

7. Mozhaiev M., Melashchenko O., Roh V., Usatenko M. Means of improving the quality of service of the computer network of the forensic information system. *Сучасний стан наукових досліджень і технологій в промисловості*. 2020. №2 (12), No. 2(12). С. 57–65.

Здобувачем запропоновано засоби контролю якості функціонування комп'ютерної системи судово-експертної діяльності

8. Mozhaiev M. O.. Iasechko M. M. Temporary and energy criteria for protection of radioelectronic means (automated systems and telecommunication systems) from the destructive influence of electromagnetic radiation. *Scientific and technical progress in European countries and the contribution of higher education institutions*: Collective monograph. Riga: Izdevnieciba "Baltija Publishing", 2020. P. 288-301.

Здобувачем розроблені часові та енергійні критерії захисту комп'ютерної системи судово-експертної діяльності від впливу високо енергійних завад

9. Можаєв М.О. Математична модель оптичних каналів передачі інформації. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. Київ: ДУТ, 2020. № 1. С. 95 – 99.

10. Mozhaiev M. Modeling nonlinear elements of critical computer network. *Сучасні інформаційні системи*. 2020. Т. 4, № 4. С. 27-32.

11. Mozhaiev M., Davydov V., Zhang Liqiang. Analysis and comparative researches of methods or improving the software. *Сучасні інформаційні системи*. 2020. Vol. 4, No. 3. P. 8-11.

Здобувачем проведено аналіз методів вдосконалення програмного забезпечення для потреб комп'ютерної системи судово-експертної діяльності.

12. Можаев М.А. , Буслов П.В. Метод підвищення показників якості розподіленої інформаційної системи судової експертизи. *Сучасний стан наукових досліджень і технологій в промисловості*. 2020. № 4(14), P.57–65.

Здобувачем розроблено метод покращення показників якості у розподіленої комп'ютерної системи судово-експертної діяльності.

13. Прокопенко Т. О., Можаєв М. О., Рудницький С. В., Рудницька Ю. В. Програмування режиму ненавантаженого резервування у комп'ютерних системах критичного застосування. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2020. №4. С. 77-83.

Здобувачем запропоновано використання режиму ненавантаженого резервування у комп'ютерних системах критичного застосування.

14. Mozhaiev M., Buslov P. Development of an Information Model for the Personality's Social Portrait Formation Using OSINT Technology. *Proceedings of the technical university of Sofia*. 2021. Vol. 71, no. 1, P. 11-14 (ISSN 1311-0829, Болгарія).

Здобувачем запропоновано методи моделювання соціального профілю для використання у комп'ютерних системах критичного застосування.

15. Mozhaiev M., Buslov P. Method of modeling a social profile using structure transformation optimization BIG DATA. *Сучасні інформаційні системи*. 2021. Т. 5, № 1. С. 12-17.

Здобувачем запропоновано методи моделювання соціального профілю для використання у комп'ютерних системах критичного застосування.

16. Можаєв М.О. Удосконалення математичної моделі оптичних каналів передачі інформації. *Системи управління, навігації та зв'язку*: збірник наукових праць. Полтава: Полтавський НТУ, 2021. Вип 1(63). С. 153-157.

17. Можаєв М.О. Застосування вейвлет перетворень для підвищення ефективності інформаційної системи судової експертизи. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. Київ: ДУТ, 2020. № 4. С. 95 – 99.

18. Strembitska O.,Tymoshenko R., Mozhaiev M., Buslov P., Kashyna G., Baranenko R., Makievsskyi O. Technology of appliocation Of Multtifreqency signals to Create Electromagnetic Field. *International journal of computer science and network security*. 2021. Vol. 21, #2. P. 30-34 (*Web of Science*).

Здобувачем розроблені часові та енергійні критерії захисту комп'ютерної системи судово-експертної діяльності від впливу високо енергійних завад

19. Frolov D., Radziewich W., Saienko V., Kuchuk N., Mozhaiev M., Gnusov Yu., Onishenko Yu. Theoretical And Technological Aspects Of Intelligent Systems: Problems Of Artifical Intelligence. *International journal of computer science and network security*. 2021. Vol. 21, #5. P. 40-43 (*Web of Science*).

Здобувачем запропоновано використання інтелектуальних систем для покращення показників достовірності комп'ютерної системи судово-експертної діяльності.

20. Можаєв М.О. Математичні методи обробки цифрових зображень у системі судової експертизи : монографія. Харків: Національний науковий центр «Інститут судових експертиз ім. Засл. проф. М. С. Бокаріуса», 2020. 146 с.

21. Можаєв М.О., Рудницький В.М. Моделювання нелінійних елементів комп'ютерної мережі інформаційної системи судової експертизи : монографія. Харків: Харківський науково-дослідний інститут судових експертиз ім. Засл. проф. М. С. Бокаріуса Міністерства юстиції України. 188 с.

Здобувачем запропоновано комплекс моделей складових мережі комп'ютерної системи судово-експертної діяльності, на основі обліку нелінейних та неоднорідних властивостей.

22. O.O. Mozhaev, G.A. Kuchuk, N.G. Kuchuk, M.O. Mozhaiv, M.O. Lohvynenko. Multiservice network security metric. IEEE Xplore, Lviv. *Advanced Information and Communication Technologies* (AICT), 2017 Lviv 2017 P 124-128.

Здобувачем проведено аналіз метрики безпеки мультисервісної мережі комп'ютерної системи судово-експертної діяльності.

23. Mozhaev O., Kuchuk H., Kuchuk N., Mozhaiv M. Method for Calculating of E-Learning Traffic Peakedness. Четверта IEEE науково-практична конференції «*Проблеми інфокомунікацій. Наука та технології*» (PICS&T-2017). P 141-145.

Здобувачем проведено аналіз методу розрахунку пікового трафік мультисервісної мережі комп'ютерної системи судово-експертної діяльності

24. Oleksandr Kliuiev, Oleh Uhrovetskyi, Ella Simakova-Yefremian, Mykhailo Mozhaiev, Oleksandr Mozhaiev. Method of forensic research on image for finding touch up on the basis of noise entropy. *2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies* (AICT). Lviv, Ukraine. 2-6 July 2019. (Матеріали Третьої міжнародної конференції з інформаційних та комунікаційних технологій. Львів, Україна, 2-6 липня 2019 року).

Здобувачем запропоновано метод дослідження ознак монтажу фото- та відео- даних, який відрізняється від відомих використанням ортогональних адаптивних перетворень із застосуванням комплексного критерію виділення шуму з урахуванням ентропії та дисперсії часткових зображень.

25. Порошин С.М., Можаев М.А. Методы извлечения онтологической информации в предметной области информационной безопасности. *Проблеми науково-технічного та правового забезпечення кібербезпеки у сучасному світі*: Матеріали першої міжнародної науково-практичної конференції.- Харків, НТУ «ХПІ»; Інститут кібернетики ім.. В.М.Глушкова НАН України, Київ; КНТУ, Кіровоград; ВНТУ, Вінниця; НАУ ім.. М.Є.Жуковського «ХАІ»; ХНУРЄ, Харків; Софійський технічний університет, Болгарія; Військова академія збройних сил Азербайджанської республіки; Університет технології і гуманітарних наук, Бельско-Бяла, Польща, 2016. С.11

Здобувачем проведений аналіз існуючих підходів до забезпечення надійності функціонування комп'ютерної мережі.

26. Можаєв М. О. Деякі особливості проведення комплексних досліджень цифрової інформації. *Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 90-річчю від дня народження видатного вченого-криміналіста, доктора юридичних наук, професора Л.Ю. Ароцкера*, м. Полтава, 25 травня 2017. С. 125-126

27. Можаєв М.О., Можаєв О.О., Логвиненко М.О., Чорний С.В. Автоматизована система накопичення емпіричних даних у сфері комп'ютерно-

технічних експертиз. *Актуальні питання протидії кіберзлочинності та торгівлі людьми* : збірник матеріалів Всеукр. наук.-практ. конф. (23 листоп. 2018 р., м. Харків) / МВС України, Харків. нац. ун-т внутр. справ ; Координатор проектів ОБСЄ в Україні. Харків : ХНУВС, 2018. С. 296-298.

Здобувачем запропонована. автоматизована система накопичення емпіричних даних у сфері комп'ютерно-технічних експертиз

28. Сергієнко В. М., Шипова Т. М., Можаєв М. О. Розробка протоколів розподілу доступу для захисту даних на основі можливостей сценаріїв роботи системи обробки й управління запитами. *Протидія кіберзагрозам та торгівлі людьми* (26 листоп. 2019 р., м. Харків) МВС України, Харків. нац. ун-т внутр. справ ; Координатор проектів ОБСЄ в Україні. Харків: ХНУВС, 2019. С. 269-270.

Здобувачем розроблено протоколи розподілу доступу для захисту даних

29. Можаєв М. О., Рог В. Є., Усатенко М. В. Дослідження фактів знищення цифрової інформації на магнитних носіях. *Застосування інформаційних технологій у діяльності правоохоронних органів* : матеріали наук.-практ. семінару, м. Харків, 18 грудня 2019 р. МВС України, Харк. нац. ун-т внутр. справ. Харків. ХНУВС, 2019. С. 29-31.

Здобувачем сформульовані задачі досліджень

30. Можаєв М. О. Проблемні питання щодо призначення судової комп'ютерно-технічної експертизи та експертизи відео-, звукозапису. *Навчально-методичні матеріали курсів підвищення кваліфікації працівників керівного складу кримінального блоку органів та підрозділів Національної поліції України та науково-педагогічних працівників кафедр оперативно-розшукової спрямованості закладів вищої освіти МВС України*. Нац. поліція України; Харків. нац. ун-т внутр. справ. Харків : ХНУВС, 2019. С. 179-184.

Здобувачем запропоновано засоби контролю якості функціонування комп'ютерної системи судово-експертної діяльності

31. Можаев М. О. Особливості проведення комплексних досліджень цифрової інформації у галузі комп'ютерно-технічних досліджень. *Юридична практика в країнах ЄС та в Україні на сучасному етапі*: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, м. Арад, 25-26 січня 2019. С. 545-547.

32. *Брендель О. І.,* Можаев М. О., Роман А. І Використання методу стенографічного аналізу шумів для виявлення ознак редагування цифрових фотографій: *Актуальні питання судової експертизи і криміналістики*: збірник матеріалів міжнарод. наук.-практ. конф., присвяченої 150-річчю з дня народження Засл. проф. М. С. Бокаріуса (Харків, 18-19 квіт. 2019 р.). Харків: ХНДІСЕ, 2019. С. 261-263.

Здобувачем запропоновано метод дослідження ознак монтажу фото- та відео- даних, який відрізняється від відомих використанням ортогональних адаптивних перетворень із застосуванням комплексного критерію виділення шуму з урахуванням ентропії та дисперсії часткових зображень.

33. Можаев М. О., Гомон В.О. Контроль якості функціонування телекомунікаційної мережі інформаційного порталу національної поліції. *Протидія кіберзагрозам та торгівлі людьми* (27 травня. 2020 р., м. Харків) МВС

України, Харків. нац. ун-т внутр. справ; Координатор проектів ОБСЄ в Україні. Харків : ХНУВС, 2020. С. 75-76.

Здобувачем запропоновано метод диагностики порушень сінхронізації у комп'ютерної мережі комп'ютерної системи критичного застосування

34. Можаев М. О. Метод повышения качества обслуживания компьютерной сети информационной системы судебной экспертизы. *Проблеми інформатики та моделювання* (ПІМ-2020). Тези двадцатої міжнародної науково-технічної конференції.-Харків: НТУ «ХПІ», 2020. С.58.

35. Можаев М. О. Математична модель оптичних каналів передачі інформації. *Проблеми інформатизації*: тези доп. Восмий міжнар. наук.-техн. конф., (м. Черкаси, Україна, 26–27 листоп. 2020р.). Черкаси: ЧДТУ; Баку: ВА ЗС АР; Бельсько-Бяла: УТіГН; Харків, НТУ «ХПІ» 2020, Т1. С. 16.

АНОТАЦІЯ

Можаєв М.О. «Моделі та методи синтезу спеціалізованої комп'ютерної системи для забезпечення судово-експертної діяльності». – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. – Черкаський державний технологічний університет, Міністерство освіти і науки України, Черкаси, 2021.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми підвищення достовірності висновків судових експертиз в умовах обробки значних масивів даних на основі розробки математичних моделей та методів синтезу спеціалізованої комп'ютерної системи забезпечення судово-експертної діяльності.

Проведено аналіз існуючих вимог до сучасних спеціалізованих комп'ютерних систем забезпечення судово-експертної діяльності; на основі аналізу сформульовані загальні вимоги до необхідних апаратних складових комп'ютерної системи та підтримуючих їх програмних засобів. Проведений аналіз показав доцільність використання спеціалізованих комп'ютерних систем забезпечення судово-експертної діяльності, але також встановлено, що на даний момент існуючі моделі та методи синтезу спеціалізованих комп'ютерних систем забезпечення судово-експертної діяльності не завжди призводять до забезпечення вимог з достовірності результатів експертної діяльності. Ця обставина визначає необхідність удосконалення відповідного класичного математичного інструментарію для підвищення достовірності висновків судових

Ключові слова: комп'ютерна система, комп'ютерна мережа, синтез, імітаційна модель, методи та моделі синтезу, збалансовване завантаження, методи передачі інформації.

АННОТАЦИЯ

Можаев М.А. «Модели и методы синтеза специализированной компьютерной системы для обеспечения судебно-экспертной деятельности». - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.05 - компьютерные системы и компоненты. - Черкасский государственный технологический университет, Министерство образования и науки Украины, Черкассы, 2021.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-прикладной проблемы повышения достоверности выводов судебных экспертиз в условиях обработки значительных массивов данных на основе разработки математических моделей и методов синтеза специализированной компьютерной системы обеспечения судебно-экспертной деятельности.

Проведен анализ существующих требований к современным специализированных компьютерных систем обеспечения судебно-экспертной деятельности; на основе анализа сформулированы общие требования к необходимым аппаратных составляющих компьютерной системы и поддерживающих их программных средств. Проведенный анализ показал целесообразность использования специализированных компьютерных систем обеспечения судебно-экспертной деятельности, но также установлено, что на данный момент существующие модели и методы синтеза специализированных компьютерных систем обеспечения судебно-экспертной деятельности не всегда приводят к обеспечению требований по достоверности результатов экспертной деятельности. Это обстоятельство определяет необходимость совершенствования соответствующего классического математического инструментария для повышения достоверности выводов судебных

Ключевые слова: компьютерная система, компьютерная сеть, синтез, имитационная модель, методы и модели синтеза, збалансовване загрузки, методы передачи информации.

ABSTRACTS

Mozhaiev M.O. «Models and methods of synthesis of a specialized computer system in providing forensic science services for justice». – Manuscript.

Dissertation for a Doctor Degree of Technical Science(ScD): Speciality 05.13.05 – "Computer systems and components". – Cherkasy state technological university, Cherkasy, 2021.

The dissertation is devoted to the solving of an actual scientific and applied problem of increasing of reliability of conclusions of forensic examinations in the conditions of processing of considerable data sets on the basis of development of mathematical models and methods of synthesis of a specialized computer system in providing forensic science service for justice.

Forensic science services are various in form and fact and its providing is impossible without the involvement of information resources, by which the legislator

understands individual documents and individual arrays of documents, documents and arrays of documents in information systems (libraries, archives, funds, data banks, other information systems). Data support of forensic science services should be defined by the legislator as a process of collecting, processing, accumulating, storing, searching and disseminating information. Thus, the data support of forensic examination is necessary to solve forensic cases.

The applicability of the dissertation is induced by the need to comply with the requirements for the reliability of the forensic report using a specialized computer system in providing forensic science services for justice. The analysis of the current state of development of computer systems of forensic examination has shown a tendency to increase the amount of data to be processed. This, in turn, leads to an additional strain on the hardware and software of a specialized computer system to provide forensic science services for justice, which can lead to a decrease in the reliability of forensic conclusions.

Tasks and objectives. The task of the research is to increase the reliability of forensic conclusions in the processing of large data sets by developing mathematical models and methods of synthesis of a specialized computer system for forensic activities.

Subject of research – models and methods of synthesis of a specialized computer system of forensic examination.

The analysis of the existing requirements to modern specialized computer systems of providing forensic activity is carried out; general requirements for the necessary hardware components of the computer system and their supporting software are formulated on the basis of analysis. The analysis showed the feasibility of using specialized computer systems for providing forensic science services, but also found that currently existing models and methods of synthesis of specialized computer systems for forensic science services do not always comply with requirements for the reliability of the results of expert services. This fact determines the need to improve the relevant classical mathematical tools to increase the reliability of the conclusions of forensic examinators.

A set of interconnected models of computer system components was developed to ensure forensic activity using the formalism of Feynman integrals, which considers the peculiarities of information transmission over optical channels and is based on the determination of information parameters by studying the spatio-temporal and spatio-frequency correlations of the wave field. The use of this set of models in predicting the distribution of information flows in a computer system allows to consider the impact of weak heterogeneity of the signal propagation environment and nonlinear effects, what leads to improved reliability of the computer systems in providing forensic science services.

A set of methods for operational quality assessment of the computer system to provide forensic science services with control of the main parameters of signals that provide information transmission, acousto-optical spectrum analyzers, which improves the reliability of packet transmission in the network.

A set of models for the impact of interference on hardware components, namely on the network equipment of a computer system that provides forensic services, which

considers the process of forming a highly conductive electronic channel that affects the conduction state of the air gap of different geometric sizes. The appliance of these models in the synthesis of a computer system will improve the conditions for the transfer of information in a computer system which ensure forensic science services, which will increase the reliability of the results of the examination;

A simulation model of information transmission in a computer system has been developed to provide forensic activities based on an approach focused on studying the structure of the network using a space-time meter of available bandwidth, which allows to determine the location of connections with less available bandwidth than all previous connections on the studied route and to form a balanced strain on the nodes of the core network. The application of the results of this model in the development of methods of information transfer in a computer system to provide forensic activities will increase the bandwidth of virtual routes, which improves the reliability of examination results by improving the reliability of primary data transmitted and processed in computer system.

The method of research of signs of editing of photo and video data which differs from known ones by use of orthogonal adaptive transformations is improved with application of complex criterion of allocation of noise taking into account entropy and dispersion of partial images. Use of this method allows to reduce time for processing of primary data and due to improvement of quality of allocation of signs of installation to reach increase of reliability of results of the corresponding examination.

The method of redistribution of computing resources of the computer system for providing forensic science services due to the use of signal processing algorithms used in MIMO technologies was further developed, which reduces errors in the process of information transfer, thus improving the quality of information transmission in difficult conditions, and thus significantly improve the reliability of the results of the computer systems in forensic science services;

Keywords: computer system, computer network, synthesis, simulation model, methods and models of synthesis, balanced loading, methods of information transfer.