ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису

МОЖАЄВ Михайло Олександрович

УДК 004.056.55:004.312.2

**ДИСЕРТАЦІЯ**

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

05.13.05 – комп'ютерні системи і компоненти

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

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

М.О. МОЖАЄВ

Науковий консультант Рудницький Володимир Миколайович, доктор технічних наук, професор

Черкаси - 2021

# АНОТАЦІЇ

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 експертиз.

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'ютерній системи для забезпечення судово-експертної діяльності.

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 у мережі..

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;

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

Удосконалено 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

Дістало 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 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*;

**Наукова новизна отриманих результатів:**

– вперше 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'ютерній системи для забезпечення судово-експертної діяльності;

– вперше 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 у мережі;

– вперше 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;

– 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;

– удосконалено 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 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.

**Практичне значення отриманих результатів.** Практична цінність роботи 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%.

**Реалізація.** Дисертаційна робота виконувалася відповідно до плану НДР Черкаського державного технологічного університету. Одержані в ній

теоретичні й практичні результати використані та впроваджені у таких закладах, установах, організаціях:

- Національному науковому центрі «Інститут судових експертиз ім. Засл. проф. М.С. Бокаріуса» в ході дослідницьких робіт та реалізовані в науково-дослідній роботі. Акт впровадження від 10.06.2019;

- 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. Акт впровадження від 10.06.2020;

- ТОВ «ХарківПромпостач» (м. Харків) при виконанні науково-дослідної роботи. Акт впровадження від 10.06.2020;

- у навчальному процесі Черкаського державного технологічного університету. Акт впровадження від 20.12.2019.

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

# 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.

To achieve this task the following objectives were formulated in the dissertation:

1) analysis of requirements to modern specialized computer systems for forensic science services;

2) development of a set of interconnected models of computer system components to ensure providing forensic science services using the formalism of Feynman integrals;

3) development of a set of methods for operational assessment of the quality of the computer system to ensure forensic activities with control of the basic parameters of the signals;

4) development of a set of models of interference impact on hardware components, namely on the network equipment of the computer system to ensure forensic activities;

5) development of a method of research of signs of editing of photo and video data with application of a complex criterion of noise allocation;

6) development of a simulation model of information transmission in a computer system to provide forensic science services based on the study of network structure using a space-time meter of available bandwidth;

7) development of a method of redistribution of computing resources of a computer system to provide forensic activities through the use of signal processing algorithms;

8) conducting a comparative assessment of developed and existing models and methods of synthesis of specialized computer systems for providing forensic science services;

9) research and implementation of developed models and methods of synthesis of specialized computer systems for forensic science services.Об’єкт дослідження – процес проведення судової експертизи з використанням спеціалізованої комп’ютерної системи.

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.

**Scientific novelty of the obtained results:**

- for the first time a set of interconnected models of computer system components was developed to provide forensic activities using the continuum

integral formalism, which takes into account the peculiarities of information transmission over optical channels and is based on determining information parameters by studying spatiotemporal and spatiofrequency wave field correlations. . The use of this set of models in predicting the distribution of information flows in a computer system allows to take into account the impact of weak heterogeneity of the signal propagation environment and nonlinear effects that occur, which leads to improved reliability of the computer system to provide forensic activities;

- for the first time a set of methods for operational assessment of the quality of the computer system to ensure forensic activities 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;

- for the first time a set of models of interference impact on hardware components was developed, namely on the network equipment of a computer system to provide forensic expertise, which takes into account the process of forming a highly conductive electronic channel. The use of these models in the synthesis of a computer system will improve the conditions for the transfer of information in a computer system to ensure forensic activities, which will increase the reliability of the results of the examination;

- further developed a simulation model of information transmission in a computer system 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 load 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 the examination results by improving the reliability of primary data transmitted and processed in the computer system;

- the method of research of signs of montage of photo and video data which differs from known by use of orthogonal adaptive transformations with application of complex criterion of allocation of noise taking into account entropy and dispersion of partial images is improved. The use of this method allows to reduce the time for processing the primary data and by improving the quality of the selection of installation features to increase the reliability of the results of the relevant examination;

- further developed the method of redistribution of computing resources of the computer system to provide forensic activities through the use of signal processing algorithms used in MIMO technologies, which reduces errors in the transmission of information, thus improving the quality of information transmission in complex conditions, and thus significantly improve the reliability of the results of the computer system of forensic science.

**Practical significance of obtained results.** The practical value of the work is that the models and methods developed in the work are a scientific and practical basis for the creation and improvement of computer systems of forensic science. The engineering methods and algorithms presented on their basis allow:

- perform modeling of the computer system of forensic activity and its computer network;

- optimize the redistribution of computing resources in the computer system and reduce the load on a specialized computer system to provide forensic activities by 8%;

- to improve the complex criterion of noise allocation taking into account orthogonal adaptive transformations allows to reduce the probability of error of the conclusion of examination of photographic images by 7%;

- to determine the location of connections with less available bandwidth than all previous connections on the studied route and to form a balanced load on the nodes of the core network;

- reduce the cost of operating a computer system of forensic science by 3-7%.

**Implementation.** The dissertation was performed in accordance with the research plan of Cherkasy State Technological University. The theoretical and practical results obtained in it are used and implemented in the following institutions, establishments, organizations:

- National Research Center "Institute of Forensic Science. Zasl. prof. M.S. Bocarius ”in the course of research work and implemented in research work. Act of implementation dated June 10, 2019;

- Research Center for Forensic Intellectual Property of the Ministry of Justice of Ukraine (Kyiv) in solving promising problems of synthesis of a specialized computer system of forensic science. Act of implementation dated 10.06.2020;

- LLC "KharkivPrompostach" (Kharkiv) in the performance of research work. Act of implementation dated 10.06.2020;

- in the educational process of Cherkasy State Technological University. Act of implementation dated 20.12.2019.

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

***Список публікацій здобувача:***

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. (фахове видання).

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

2. M. Mozhaiev, N. Kuchuk, M. Usatenko. The method of jitter determining in the telecommunication network of a computer system on a special software platform. Innovate technologies and scientific solutions for industries. Kharkiv, 2019 - P. 134-140, DOI: doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.134.

Здобувачем запропоновано метод виявлення джиттеру у комп'ютерної мережі.

3. Maksym Iasechko, Mykhailo Mozhaiev, Iryna Manzhai, Maksym Volk, Vladimir Manoylo, Oleksandr Ochkurenko, Dmytro Maksiuta, Volodymyr Larin, Alexander Markov, Oleksandr Kostyria. Conditions for Reliable Transmission Of Information Over Long Distances Using a Powerful Electromagnetic Radiation International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. Volume 8, No.1 January 2020. pp. 138-144. (Scopus 3 квартиль).

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

4. Maksym Iasechko, Mykhailo Mozhaiev OleksandrTymochko , Oleksandr Kolodiazhnyi , Volodymyr Larin, Oleksandr Rybkin , Valerii Patalakha, Volodymyr Mazharov, Nataliya Benyk , Anastasiia Heilyk, Mykhailo Mozhaiev Estimation of the influence of the Nonequilibrium 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 (Оценка влияния неравновесного состояния электронной подсистемы и дисперсионных свойств твердотельной плазменной среды в условиях

распадной неустойчивости на отражение лазерного излучения)International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. Volume 8, No.2 February 2020. pp. 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. и Kuchuk, N. (2020) порушень мінхронізаціїМетод диагностики нарушений синхронизации телекоммуникационной сети компьютерной системы критического применения, (Method for the diagnostics of synchronization disturbances in the telecommunications network of a critical used computer system) Современное состояние научных исследований и технологий в промышленности, 2020 №1 (11), сс. 172-180. doi: 10.30837/2522-9818.2020.11.172.

Здобувачем запропоновано метод диагностики порушень сінхронізації 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 №1(3) 2020 С. 79-84.

Здобувачем запропоновано системи моделювання мікроконтролерів для покращення достовірності результатів обробки інформації.

7. Mozhaiev,M., Melashchenko,O., Roh,V., Usatenko,M.(2020), "Means of improving the quality of service of the computer network of the forensic information system" _, Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries, No.2(12), P.57–65. DOI:https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.057. Современное состояние научных исследований и технологий в промышленности, 2020 №2 (12).

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

8. Mozhaiev M. O. Temporary and energy criteria for protection of radioelectronic means (automated systems and telecommunication systems) from the destructive influence of electromagnetic radiation (/ Iasechko M. M., Mozhaiev M. O// Scientific and technical progress in European countries and the contribution of higher education institutions: Collective monograph. Riga : Izdevnieciba “Baltija Publishing”, 2020. 308 p(P 288-301) ISBN 978-9934-588-65-5 (Латвия).

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

9. Можаєв О.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 / M. Mozhaiev // Сучасні інформаційні системи - Advanced Information Systems. – 2020. – Т. 4, № 4. – С. 27-32.

11. Mykhailo Mozhaiev, Viacheslav Davydov, Zhang Liqiang Analysis and comparative researches of methods or improving the software Advanced Information Systems, 2020 Vol. 4, No. 3, pp. 8-11, DOI: https://doi.org/doi: 10.20998/2522-9052.2020.3.18.

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

12. Можаев М.А. , Буслов П.В. Метод повышение показателей качества распределенной информационной системы судебной экспертизы Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries, No.4(14), P.57–65. DOI:https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.057. Современное состояние научных исследований и технологий в промышленности, 2020 №2 (14).

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

13. Т. О. Прокопенко, М. О. Можаєв., С. В. Рудницький, Ю. В. Рудницька Програмування режиму ненавантаженого резервування у комп’ютерних системах критичного застосування / Вісник Черкаського державного технологічного університету №4() 2020 С. 77-83 DOI: 10.24025/2306-4412.4.2020.221845.

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

14. M.Mozhaiev, P. Buslov Development of an Information Model for the Personality’s Social Portrait Formation Using OSINT Technology PROCEEDINGS OF THE TECHNICAL UNIVERSITY OF SOFIA, ISSN: 1311-0829, VOL. 71, NO. 1, YEAR 2021 DOI: 10.47978/TUS. 20212.71.01.003 p. 11-14 (Болгария).

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 ім. Юрія Кондратюка, 2021.-Вип 1(63).-158 с.-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 RV.,Makievsskyi O. Technology of appliocation Of Multtifreqency signals to Create Electromagnetic Field /International journal of computer science and network security. Vol/ 21. #2 P 40-43 Feb. 2021 Web of Science.

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

19. Denys Frolov, Wojciech Radziewich, Volodymyr Saienko, Nina Kuchuk, Mykhailo Mozhaiev, Yurii Gnusov, Yurii Onishenko. Theoretical And Technological Aspects Of Intelligent Systems: Problems Of Artifical Intelligence/ International journal of computer science and network security. Vol/ 21. #5 P 40-43 May. 2021 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.

21. Можаєв М.О., Рудницький В.М. Моделювання нелінійних елементів комп'ютерної мережі інформаційної системи судової експертизи.

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 IEEE.

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). / DOI: 10.1109/AIACT.2019.8847760.

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 «ХНІ»; 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 (є сертифікат учасника).

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.

# ЗМІСТ

ВСТУП……... 28
1 СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ КОМП’ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СУДОВО-ЕКСПЕРТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ..... 40
1.1 Принципи інформаційного забезпечення судово-експертної діяльності..... 55
1.2 Процес формування експертно- криміналістичних обліків по об'єктам судової експертизи..... 56
1.3 Класифікація суб'єктів інформаційного забезпечення судово експертної діяльності та їх роль в практичній діяльності…… 61
Висновки з розділу 1……..…….. 71
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ КОМП’ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ СИСТЕМИ СУДОВОЇ ЕКСПЕРТИЗИ..... 72
2.1 Метод діагностики порушень синхронізації телекомунікаційної мережі комп'ютерної системи критичного застосування……..... 72
2.1.1. Види синхронізація комп'ютерних систем……..… 74
2.1.2. Основні співвідношення і формулювання…….. 78
2.2 Метод визначення джитера в телекомунікаційній мережі комп'ютерної системи на спеціальній програмній платформі…….....…….. 86
2.2.1. Аналіз причин виникнення джиттера і методи його вимірювання……... 89
2.2.2 Основні співвідношення і формулювання…… 92
2.3. Засоби поліпшення якості обслуговування комп'ютерної мережі інформаційної системи судової експертизи..... 97
2.3.1. Основні співвідношення і формулювання……... 103
2.4 Метод підвищення показників якості розподіленої інформаційної системи судової експертизи…….....…….. 111
2.4.1. Аналіз можливості використання АОАС для визначення параметрів 68
сигналу в комп'ютерній мережі……... 113

2.4.2. Оцінка потенційної точності визначення розладу по частоті двох імпульсів…… 115
Висновки з розділу 2……..... 118
РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДОВИХ БАЗОВОЇ МЕРЕЖІ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ СУДОВОЇ ЕКСПЕРТИЗИ …… 121
3.1 Використання формалізму континуальних інтегралів Феймана для побудови математичної моделі оптичних каналів передачі інформації..... 122
3.1.1 Формулювання завдання і основні допущення для параметрів…….. 123
3.1.2. Застосування континуальних інтегралів для вирішення параболічного хвильового рівняння……. 125
3.1.3. Аналітичні вирази для середнього поля точкового джерела……. 127
3.1.4 Рівняння для кореляційних функцій……. 129
3.1.5. Рівняння для кореляційних функцій довільного порядку……..... 130
3.2 Моделювання нелінійних елементів критичної комп'ютерної мережі..... 135
3.2.1 Основні співвідношення і формулювання……... 136
Висновки з розділу 3……..……. 149
РОЗДІЛ 4 МОДЕЛЮВАННЯ ЗАВАДОВОГО ВПЛИВУ НА АПАРАТНІ СКЛАДОВІ КОМП’ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ СУДОВОЇ ЕКСПЕРТИЗИ..... 151
4.1 Аналіз вимог до засобів захисту радіоелектронного обладнання КС СЕД від впливу потужного імпульсного ЕМВ ультракороткої тривалості..... 152
4.2 Основні напрямки розробки захисних матеріалів і середовищ з використанням плазмової технології……. 154
4.3 Дослідження впливу попередньої іонізації та ЕМВ на макроскопічні властивості повітряного середовища в отворах корпусів та кабельних каналах введення……..... 162
4.4 Моделі поглинаючих та відбиваючих властивостей твердотільного плазмового середовища для захисту РЕЗ КС від впливу радіочастотних та лазерних засобів…… 176

Висновки з розділу 4……..……. 184
РОЗДІЛ 5 МЕТОДИКА ВИБОРУ МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ У СИСТЕМІ СУДОВОЇ ЕКСПЕРТИЗИ…….. 186
5.1 Способи формування й збереження фотозображень. Характер спеціальних знань, що використовуються при їх дослідженні…… 187
5.2 Використання вейвлет перетворень для підвищення ефективності проведення судової експертизи…….. 195
5.3 Методи виявлення редагування зображень……. 205
5.3.1 Аналіз типів редагування зображень……. 205
5.3.2 Аналіз дослідницьких програмних продуктів…….. 208
5.4. Розробка методу виявлення ознак монтажу на основі виділення шумів за максимізацією ентропії……... 210
5.4.1 Аналіз сучасних методів виділення шуму зображення…… 210
5.4.2 Метод виділення шумів зображення на основі максимізації ентропії……..… 213
5.4.3 Дослідження залежності рівня шуму від яскравості фону…….. 217
5.4.4 Дослідження впливу стискання з втратами на рівень шумів зображення…… 218
5.5 Розроблення програмного забезпечення з аналізу ознак монтажу цифрових фотографій…….. 219
5.5.1 Розроблення детектора ознак фотомонтажу…… 219
5.5.2 Приклад дослідження ретушованого зображення на основі аналізу ентропії шумів…….. 224
5.5.3 Приклад дослідження фотомонтажу зображення на основі аналізу ентропії шумів…….. 229
Висновки з розділу 5……. 234
РОЗДІЛ 6 ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ СИНТЕЗУ КОМПЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ СУДОВО-ЕКСПЕРТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ…… 237

6.1 Імітаційне моделювання мультисервісної мережі зв'язку в умовах обмежених ресурсів мережі…… 237
6.1.1 Імітаційне моделювання в середовище Opnet Modeler v 14.0……. 237
6.1.2. Імітаційне моделювання в середовищі The Network Simulator (NS-2)…. 247
6.2.Аналіз систем моделювання мікроконтролерів з додатковими модулями криптографічного захисту інформації…… 252
6.3 Програмування режиму ненавантаженого резервування у комп’ютерних системах критичного застосування…… 261
6.3.1. Аналіз мажоритарної структури з ненавантаженим резервуванням……. 263
6.3.2. Аналітична модель надійності DCH……. 264
6.3.3. Марківська модель надійності DCH…… 265
6.3.4.Порівняльний аналіз моделей структури……. 267
6.4 Вдосконалення технології перерозподілу обчислювальних ресурсів КС СЕД……. 269
Висновки з розділу 6…… 277
ВИСНОВКИ……. 279
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……. 282
ДОДАТКИ..... 313

# ВСТУП

**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, анексії Автономної Республіки Крим, окупації 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 у 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.

Як зазначено в ст. 1 Закону України «Про судову експертизу»: «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» та в абзаці третьому пункту 1.8 розділу I «Інструкції про призначення та проведення судових експертиз та експертних досліджень»: «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: Зінін О.М., 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 цю суперечність 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.** Тематика дисертаційної роботи та одержані результати безпосередньо пов’язані з дослідженнями, які 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 задачі 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 одержаних 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 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'ютерній 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;

дістали 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 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;

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%.

**Реалізація.** Дисертаційна робота виконувалася відповідно до плану НДР Черкаського державного технологічного університету. Одержані в ній теоретичні й практичні результати використані та впроваджені у таких закладах, установах, організаціях:

- 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.** Всі нові результати дисертаційної роботи отримано автором самостійно. Результати, опубліковані в [9,10,16, 20], отримані одноосібно. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, з питань, що стосуються даного дослідження, автору належать: проведено аналіз існуючих підходів до забезпечення надійності функціонування комп’ютерної мережі [1,22] запропоновано метод виявлення джиттеру у комп’ютерної мережі [2], запропоновано модель впливу високоенергійних завад на комп’ютерні мережі комп’ютерної системи критичного застосування [3,4], запропоновано метод діагностики порушень синхронізації у комп’ютерної мережі комп’ютерної системи критичного застосування [5], запропоновано системи моделювання мікроконтролерів для покращення достовірності результатів обробки інформації [6], запропоновано засоби контролю якості функціонування комп'ютерної системи судово-експертної діяльності [7], розроблені часові та енергійні критерії захисту комп'ютерної системи судово-експертної діяльності від впливу високо енергійних завад [8,18], проведено аналіз методів вдосконалення програмного забезпечення для потреб комп'ютерної системи судово-експертної діяльності [11], розроблено метод покращення показників якості у розподіленої комп'ютерної системи судово-експертної діяльності [12], запропоновано використання режиму ненавантаженого резервування у комп’ютерних системах критичного застосування [13], запропоновано методи моделювання соціального профілю для використання у

комп’ютерних системах критичного застосування [14], запропоновано методи моделювання соціального профілю для використання у комп’ютерних системах критичного застосування [15], запропоновано використання інтелектуальних систем для покращення показників достовірності комп'ютерної системи судово-експертної діяльності [19], запропоновано комплекс моделей складових мережі комп'ютерної системи судово-експертної діяльності, на основі обліку нелінейних та неоднорідних властивостей [20], 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 [24].

**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 Україна 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 Україна 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.** 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 закордонних рецензованих виданнях; 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 і обсяг дисертації**. Дисертаційна робота складається з анотацій двома мовами, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації становить 332 сторінок: з них 56 рисунків за текстом; 11 рисунків на 7 окремих сторінках; 7 таблиць за текстом; 3 додатки на 22 сторінках; 250 найменувань використаних літературних джерел на 25 сторінках.

# РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СУДОВО-ЕКСПЕРТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

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, анексії Автономної Республіки Крим, окупації 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 для життя та здоров'я людства, влада багатьох держав запровадила жорсткі карантинні заходи, а отже, змінила звичний уклад 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 у 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.

Як зазначено в ст. 1 Закону України «Про судову експертизу»: «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» та в абзаці третьому пункту 1.8 розділу I «Інструкції про призначення та проведення судових експертиз та експертних досліджень»: «Результати проведення експертиз та експертних досліджень викладаються у письмовому документі - висновку експерта» [1].

В даний час 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.

Поняттям «судова експертиза» позначається надзвичайно широке коло найрізноманітніших досліджень, що проводяться в тих випадках, коли при провадженні дізнання, попереднього слідства і судового розгляду необхідні спеціальні знання в науці, техніці, мистецтві чи ремеслі, щоб виявити і пізнати приховану суть явищ і речей і дати їм наукове тлумачення [2-4].

За своєю сутністю експертне пізнання є різновид пізнання конкретного факту. Воно засноване на тих же принципах, що і будь-який інший вид пізнання в ході розслідування і судового розгляду справи. Разом з тим воно відрізняється не тільки своєю процесуальною формою, а й, що не менш важливо, засобами і методами.

Особливе місце серед них сьогодні зайняли інформаційні технології. Наслідком цього стали, з одного боку, певна трансформація експертного

дослідження як процесу пізнання, з іншого - значне розширення його можливостей, а також підвищення наукової обґрунтованості одержуваних даних. І те й інше має свої об'єктивні передумови, визначається рядом закономірностей інформатизації судово-експертних досліджень, вироблених як в теорії, так і в практиці.

Незважаючи на те що кожна з великого числа використовуваних нині методик експертного дослідження, заснована на використанні комп'ютерів, специфічна і орієнтована на вирішення конкретного завдання при дослідженні різних об'єктів, вони мають ряд загальних властивостей.

По-перше, в основі цих методик лежать такі кардинальні принципи правової інформатики, як принцип системної організованості об'єкта пізнання, кількісних визначень і використання математичного апарату, функціональний і алгоритмічний підхід до самого процесу пізнання і пізнаваного об'єкту.

По-друге, методологічною передумовою, ланкою, що передує формуванню і застосуванню будь-якої конкретної методики дослідження з використанням комп'ютерів, є математичне моделювання об'єкта і розробка (або вибір) алгоритму процесу його пізнання. При цьому під математичним моделюванням в даному випадку мається на увазі більш широкий клас засобів пізнання, ніж клас засобів, використовуваних при вирішенні суто математичних задач. Тут моделювання передбачає не тільки побудова моделі вирішення певної задачі, а й створення моделі об'єкта аналізу, моделі порівняльного аналізу ознак та ін. А ці моделі в значній мірі є змістовними і будуються не математиками, а експертами-почеркознавцями, судовими балистами, трасології і т. д., в залежності від виду судово-експертного аналізу.

По-третє, незалежно від індивідуальних особливостей в структурі кожної з таких методик можна виокремити характерні для будь-якої з них елементи, зокрема, такі, як постановка задачі і визначення мети дослідження; розчленування спільної справи на приватні підзадачі; визначення конкретних

засобів і прийомів їх реалізації; власне практична діяльність, що складається з певної сукупності трудових операцій; отримання результату і його оцінка; прийняття рішення.

По-четверте, жодна методика, заснована на використанні комп'ютерів, не охоплює всього процесу рішення експертної завдання. Їх використання, як правило, об'ективізує і автоматизує лише ту чи іншу операцію (або групу операцій), яка може ставитися як до самого процесу пізнання, так і до оцінки отриманих результатів. Тому використання комп'ютерних технологій ні в якому разі не виключає використання якісного підходу до об'єкту пізнання.

З урахуванням сказаного стає очевидним важливість проблеми: людина або машина. У більш ж широкої постановці, це проблеми визначення кордонів, завдань і умов використання комп'ютерів у сфері судово-експертної діяльності, а також її суб'єктів, їх ролі і функцій в автоматизованих системах вирішення правових задач.

На даний час судові експертизи виконуються 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 зумовлені 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: Зінін О.М., 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; оцінка повноти проведеного дослідження; оцінка правильності опису і інтерпретації встановлених ознак об’єктів; оцінка наукової обґрунтованості проміжних і підсумкових висновків; визначення компетентності експерта». Крім того він зазначає 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 [8,9].

На сьогоднішній момент інформаційна система для забезпечення судово-експертної діяльності включає в себе:

- розподілену на підгрупи комп’ютерну мережу, яка з’єднує між собою конкретні підрозділи з доступом до хмарного середовища для оперативного отримання необхідної довідкової інформації для проведення дослідження;
- систему обліку та розподілу експертиз та експертних досліджень;
- автоматизована система накопичення, збереження та управління знаннями, емпіричними даними з практики судових експертиз;
- веб-доступ до спеціалізованого криміналістичного програмного забезпечення, що розміщено на сервері.

В світовій практиці останніх років існує безліч прикладів успішного впровадження систем управління знаннями. Найбільший попит вони знайшли у корпоративному сегменті, реалізуючи бази накопичення знань підприємств, організацій, проектів тощо. На теперешній час майже кожна компанія, що використовує інформаційні технології у своїй діяльності, обов’язково має електронну базу знань, де зібрана уся необхідна для роботи документація, інструкції, відомості, новини, звіти тощо. Але також широке застосування системи управління знаннями знайшли і в соціальній сфері. Навідміну від корпоративних, такі системи є публічно досутпними та містять соціально значущу інформацію. Абсолютна більшість цих засобів працює на базі так званих Wiki-технологій [5-7].

В даний час склалося кілька напрямків комп'ютеризації судово-експертної діяльності. Їх можна поділити по ряду підстав, зокрема:

• за характером математичного апарату, на базі якого будуються комп'ютерні технології та конкретні методики судово-експертних досліджень. Це дозволяє виділити методики, засновані на даних метрології, теорії ймовірностей і математичної статистики, проективної геометрії і т.п .;

• за характером вирішуваних експертних завдань. В цьому випадку можна говорити про застосування математичного апарату і обчислювальної

техніки для вирішення діагностичних завдань (наприклад, встановлення факту виконання тексту навмисно зміненим почерком, скорописним способом, встановлення факту контактної взаємодії двох об'єктів); для вирішення класифікаційних завдань (наприклад, встановлення статі по почерку, віднесення невідомої речовини до групи наркотичних); для вирішення ідентифікаційних завдань (стосовно людини, знаряддя, матеріалу, речовини та ін.);

• за характером завдань, не пов'язаних з виробництвом конкретного експертного дослідження, але спрямованих на оптимізацію і підвищення ефективності вирішення експертних завдань певного виду або експертної діяльності в цілому. Тут було виявлено такі напрямки: автоматизація вимірювань і первинної обробки даних; створення і експлуатація автоматизованих банків даних про властивості різноманітних об'єктів; рішення складних обчислювальних завдань, що виникають як у НДР, так і в експертному виробництві; створення і експлуатація програм для логічного аналізу даних; використання автоматизації для вирішення завдань управління, обліку кадрів, збору статистичних даних в галузі судової експертизи та ін.

Можуть, звичайно, використовуватися і інші підстави для виділення сучасних напрямків застосування математичних методів, автоматизованих систем і обчислювальних комплексів в сфері судово-експертної діяльності. Ми розглянемо лише деякі зі сформованих напрямків [2, 7, 10].

Вітчизняна і зарубіжна практика судово-експертних досліджень останніх років переконливо свідчить про те, що підвищення ефективності кожного із зазначених напрямків нерозривно пов'язане з підвищенням рівня автоматизації їх інформаційного забезпечення. Це визначається рядом обставин.

По-перше, в сучасних умовах об'єктами експертного дослідження можуть бути тисячі різновидів матеріалів, речовин і виробів, кожна з яких

характеризується безліччю властивостей і ознак, а отже, інформацією про них.

По-друге, оперативне отримання інформації про конкретний об'єкт дослідження і її аналіз стали можливі лише з використанням різних сучасних автоматизованих систем і комплексів, на базі яких нині розроблено безліч методик вирішення широкого кола експертних завдань.

По-третє, важливою сферою автоматизації інформаційного забезпечення стала організаційно-управлінська діяльність в галузі судової експертизи.

Зі сказаного випливає, що і експерт, і адміністрація судово-експертних установ повинні оперувати величезною не тільки чисто криміналістичної, а й допоміжні-довідковою інформацією. З цією метою в експертних установах створюються автоматизовані системи та їх комплекси, банки даних яких акумулюють відповідну інформацію. Це, перш за все, інформаційно-пошукові системи (ІПС). Однак роль інформаційного пошуку в таких системах має певну специфіку, яка проявляється вже в тому, що його можна розглядати в якості одного з етапів експертизи, бо без нього багато експертні завдання або зовсім неможливо розв'язати, або втрачають оперативність, стають малоефективними. До таких завдань, наприклад, відносяться: визначення виду і різновиду фарного (і іншого) скла, паливно-мастильних речовин, лаків і фарб, матеріалів, з яких виконані документи.

Як теоретичних основ експертного інформаційного пошуку використовуються положення теорії криміналістичної ідентифікації, зокрема, того її розділу, який присвячений класифікаційними методам встановлення групової приналежності. Специфіка тут полягає в тому, що ідентифікують є пошукові ознаки досліджуваного експертом об'єкта і ознаки, якими характеризуються об'єкти, введені в інформаційний банк системи. Разом з тим процес інформаційного пошуку в розглянутих системах відрізняється від процесу ідентифікації.

Перше з таких відмінностей полягає в тому, що, здійснюючи процес дослідження певного об'єкта, експерт має можливість аналізувати і використовувати всю гаму належать цьому об'єкту ознак і властивостей, виділених в ідентифікаційному полі. Будь-яка ж ІПС оперує не з усіма ознаками, характерними для об'єкта пошуку, а лише з тими, які введені в дану систему. І може виявитися, що вони не повністю відповідають один одному за обсягом і характером.

В результаті можуть виникати дві негативні ситуації: або система видає дуже велику кількість об'єктів (в числі яких буде і шуканий), або станеться так званий «пропуск цілі», тобто шуканий об'єкт, хоча і буде перебувати в інформаційному фонді, але система не видає дані про нього, «не знайде» його. Ось чому і позитивний результат інформаційного пошуку, строго кажучи, не може розглядатися як рівнозначний експертному дослідженню по встановленню індивідуального тотожності.

Разом з тим побудовані на базі ЕОМ банки даних про об'єкти виконаних експертних досліджень (спектрографічних, хроматографічних, трасологічних та інших), що охоплюють не тільки родовидові, а й індивідуально-специфічні властивості об'єктів, можуть використовуватися для статистичного визначення частоти виникнення виділених ознак і оцінки достатності їх комплексу. Останнє надзвичайно важливо для вирішення не тільки класифікаційних задач. У перспективі такі системи стануть важливим інструментом оціночної діяльності експертів, в тому числі на рівні індивідуального ототожнення.

Для вирішення цього питання необхідно судово-експертне дослідження. Власне ж інформаційний пошук можна розглядати як один з його етапів. Однак це ніяк не применшує значення інформаційного пошуку і ролі самих ІПС розглянутого типу в загальній системі інформаційного забезпечення діяльності по розкриттю і розслідуванню злочинів, в тому числі на рівні експертного дослідження. При цьому як банки допоміжних даних тут можуть бути використані не тільки ті, які створюються при судово-

експертних установах, а й ті, які створюються в інших організаціях і установах як юридичної, так і іншого профілю.

Будь-яка практична діяльність, в тому числі і інформаційне забезпечення СЕД має справу, швидше за все з інформацією, перетвореної в відомості або дані, які тотожні за змістом.

Крім того, при визначенні змісту інформації необхідно враховувати ті якісні сторони, які в сукупності характеризують її практичну значимість. Справедливо зауважує з цього приводу Т.В. Авер'янова, що «кажучи про зміст інформації, більшість авторів намагаються розкрити ті її якісні особливості, які представляють собою практичну цінність. Саме якісні особливості інформації, використовуваної при вирішенні завдань експертизи, будь то «дані, що характеризують об'єкт пізнання, або «відомості» (знання), призначені для передачі», і є визначальним фактором в понятті інформації та її значення для цілей експертизи».

Існують різні підходи до визначення якісних характеристик інформації, які залежать від особливостей об'єкта застосування. На наш погляд, найбільш прийнятним до інформаційного забезпечення будь-якої сфери діяльності, в тому числі і СЕД, видається позиція М.Г. Михайлівського. На його думку, інформація повинна відповідати таким основним вимогам: по-перше, вона повинна бути достовірною, тобто мати властивості, не мати прихованих помилок і не мати спотворень дійсності; по-друге, інформація повинна бути адекватною, тобто мати властивість відповідати стану дійсності; по-третє, вона повинна бути оперативною, тобто мати властивість відповідати тимчасовим характеристикам дійсності, яку відображає. І, найскладніше, по-четверте, інформація повинна бути достатньою, тобто мати властивість досить повно відображати дійсність.

Аналогічної точки зору дотримуються і багато інших авторів.

Однак існують думки вчених, що при визначенні змісту інформації потрібно також враховувати такі якісні показники, які характеризують її юридичну природу. Так, наприклад, з точки зору правового регулювання

інформаційних правовідносин в процесі здійснення інформаційного забезпечення СЕД, на наш погляд, до цих показників можна віднести наступні:

1. Перетворювані, тобто будь-яка інформація в СЕД як об'єкт судової експертизи повинна бути представлена на матеріально фіксованому носії і заснована на наукових положеннях теорії відображення.

2. Пізнаванності означає, що судово-експертне дослідження, є пізнавальним процесом, так як в результаті вивчення сутності об'єктів дослідження судовий експерт набуває нового знання на основі пізнання закономірностей об'єктивної дійсності.

3. Доказова, тобто експертна інформація, як об'єкт правового регулювання відносин, використовується в рамках процесуального законодавства. При цьому вона може мати доказове значення для встановлення фактичних обставин справи. За твердженням В.А. Образцова, дана характеристика проявляється в тому випадку, коли пізнання здійснюється в режимі процесуального доказування, основу прийняття правових рішень утворюють докази. На слушне міркування А.М. Зініна і Н.П. Майліс, судовий експерт оперує тільки представленими йому в рамках процесуального закону матеріалами і доказове значення фактів, викладених у висновку експерта, оцінюється як по суті, так і по процесуальній формі. Відступ від цих вимог позбавляє висновок доказового значення.

4. Значимість експертної інформації, характеризується сумірністю якісних показників з її практичною цінністю. Для повноти подачі цього показника, визначимо зміст поняття «криміналістично значима інформація».

В науковий обіг цей термін перші був введений Р. С. Белкиним. Розмежовуючи криміналістично значиму інформацію від інших видів інформації, вчений писав: «... Термін« криміналістична інформація »беззмістовний і безпредметна. Він не несе ніякого смислового навантаження, оскільки неможливо визначити, яка інформація є криміналістичної, а не процесуальної або оперативної, які виключно її

джерела. У природі не існує такої інформації, а є лише криміналістично значима інформація, яка означає будь-яку інформацію, яка використовується для вирішення криміналістичних завдань, незалежно від її роду і джерела. А з точки зору засобів, завдань та цілей доказування, інформація може бути тільки доказової або орієнтує ».

Трохи іншої точки зору дотримуються автори наукової статті «Про поняття криміналістичної інформації», які пишуть: «криміналістично значимої інформації не може бути отримана з використанням кримінально-процесуальних засобів, так як ця інформація становить зміст тільки науки криміналістики. Розподіл процесуальної інформації на доказову і криміналістичну некоректно. Доказова і процесуальна інформація - категорії близькі, але не тотожні, тому що в структурі процесуальної інформації є і інша - супутня. Доказова і супутня інформація формується на всіх стадіях вчинення злочину».

З точки зору А.Ф. Волинського та інших під криміналістично значущою інформацією слід розуміти фактичні дані або відомості, які знаходяться в причинно-наслідкового зв'язку з подією злочину і характеризують спосіб його вчинення, осіб які його вчинили, предмети злочинного посягання, знаряддя злочину і тому подібні обставини.

На нашу ж думку, найбільш точному підходу до визначення даного поняття дотримуються автори підручника «Криміналістика», які розрізняють два види криміналістично значимої інформації: актуальна і потенційна. На їхню думку, під актуальною слід розуміти інформацію, що знаходиться в причинно-наслідкового зв'язку з подією конкретного злочину (що характеризує спосіб злочину, осіб, які його вчинили, предмет злочинного посягання, знаряддя злочину, обставини злочину). Тоді як потенційна криміналістично значима інформація - це довідкова інформація (яка характеризує ознаки різних об'єктів - людини, матеріалів, речовин, виробів та предметів, що не мають, як правило, причинно-наслідкового зв'язку з подією

конкретного злочину, і сприяє вирішенню діагностичних і ідентифікаційних завдань розслідування).

Поділяючи думку авторів, можна додати наступне, що якщо процес збору, обробки, передачі і використання криміналістично значимої інформації незалежно від джерела надходження і характеру об'єкта, здійснюється в рамках інформаційного забезпечення СЕД, то необхідно вважати, що дані або відомості можуть носити також інформаційно-довідковий характер. Подібну думку висловлюють і інші автори і дослідники.

Отже, проаналізувавши змісту вищенаведених визначень, слід зробити висновок, що хоча в них і є несуттєві розбіжності, але в цілому суть зводиться до одного, що криміналістично значима інформація повинна включати в себе дані і відомості, що мають значення для встановлення фактичних обставин і подій, пов'язаних виключно зі злочином. З огляду на це, ми бачимо доцільність введення в науковий та експертний обіг поняття «судово-значуща інформація», стосовно до інформаційного забезпечення СЕД.

Таким чином, для визначення якісних показників експертної інформації, необхідно враховувати її наукову, правову і практичну природу в сукупності. З урахуванням сказаного до якісних сторонам експертної інформації можна віднести: повноту, достовірність, що перетворюються (як здатність інформації закріплюватися на матеріально-фіксованих носіях), пізнаваність, доказовою і значимість (виражена в практичної цінності інформації).

Таким чином, грунтуючись на аналізах наукових і законодавчих підходів до визначення інформації, а також виходячи з виявлених якісних показників, що характеризують її практичну цінність і призначення, нами пропонується авторське визначення поняття «судово експертна інформація»: ця будь-яка зафіксована на матеріальних носіях інформація, яка в силу притаманних їй якісних властивостей і ознак, має здатність перетворюватися

в зведення і дані, що має значення для вирішення завдань інформаційного забезпечення судово-експертної діяльності в цілому.

З огляду на це, перейдемо до розгляду змісту поняття інформаційне забезпечення стосовно судово-експертної діяльності.

Як зазначалося вище, для того щоб інформація відповідала потребам тієї сфери діяльності, де призначається, вона повинна піддаватися певній процедурі, яка в сукупності іменується інформаційним процесом. Їм керують інформаційні системи, які, в свою чергу, являють собою науково-обґрунтовану, організаційно-керовану і структурно-взаємопов'язану сукупність підсистем, яка називається інформаційним забезпеченням.

В даний час, існують різні підходи до визначення поняття «інформаційне забезпечення». Так, в словниковому значенні слово «забезпечення» означає: 1. Те, чим забезпечують кого-небудь або що-небудь. 2. Надати або забезпечити чимось в потрібній кількості.

З позиції О.А. Бєлова, «інформаційне забезпечення» являє собою процес з певними, послідовно змінюють один одного стадіями, в якому суб'єкти впливають на об'єкти (інформацію) для досягнення конкретних результатів (цілей).

З численних визначень поняття «інформаційне забезпечення», найбільш точним і науковим, на наш погляд, є визначення, сформульоване М.Г. Михайлівським. На його думку, під інформаційним забезпеченням слід розуміти створення оптимальних умов функціонування для задоволення інформаційних потреб, тобто потреб в інформації про предметну область, необхідної для виконання завдань в процесі практичної діяльності, на основі використання сукупності методів, систем і засобів отримання, збору, обробки, зберігання, передачі і використання інформації.

Таким чином, сутність інформаційного забезпечення полягає у видачі та розподілі суб'єктам необхідної інформації для вирішення завдань тієї сфери, де вона призначається.

З точки зору авторів підручника «Судова експертиза», інформаційне забезпечення судової експертизи має являти собою науково-організований і безперервний процес (курсив авт. - Б.Ц.) відбору, підготовки та видачі систематизованої науково-технічної інформації, необхідної для вирішення судово-експертних задач.

Найбільш розширене визначення інформаційного забезпечення щодо СЕД дано Д.Н. Сретенцевим. На його думку, «інформаційне забезпечення СЕД» являє собою процес з відбору необхідних даних з різних сфер спеціальних знань і джерел експертної інформації (курсив авт. - Б.Ц.) і формування на їх основі інформаційних систем, результатом функціонування яких є видача суб'єктам СЕД , необхідних відомостей з метою вирішення судово експертних завдань.

Нарешті, за справедливим зауваженням А.Т. Кудінова, «інформаційне забезпечення щодо судової експертизи, слід розглядати в двох аспектах: по-перше, як інформацію, необхідну для проведення дослідження; по-друге, як діяльність, спрямовану на забезпечення осіб, які виробляють експертизи, додаткової науковою і технічною інформацією, необхідною для вирішення експертних завдань ».

Таким чином, аналіз спеціальної літератури щодо сутності понять інформації та інформаційного забезпечення СЕД, показує, що багато авторів в тій чи іншій мірі стосувалися проблеми розкриття їх змісту та якісних сторін, вживаючи при цьому власну термінологію. При цьому інформаційне забезпечення СЕД розглядається в двох аспектах, з одного боку інформацію як об'єкт наукового пізнання і правового регулювання, а з іншого, діяльність з організації та здійснення забезпечення інформацією.

Ґрунтуючись на результатах аналізу, можна виділити наступні характерні риси, властиві інформаційного забезпечення СЕД: науковість, організованість, безперервність, системність, оперативність, надійність.

## 1.1 Принципи інформаційного забезпечення судово-експертної діяльності

Завдяки принципам відбору інформації виключається надмірність відомостей в масиві баз даних, що утрудняє пошук необхідної інформації, а також безперебійне функціонування інформаційної системи в цілому. До них слід віднести наступні принципи: достовірність, тобто інформація повинна надходити з надійних першоджерел і за допомогою методів їх збору та придбання; актуальність, тобто повністю відповідати умовам і вимогам часу; повнота, тобто потрібний обсяг необхідних відомостей, що задовольняють потреби, що цікавить сфери діяльності.

До принципам розробки системи інформаційного забезпечення СЕД відносяться: простота - система повинна бути зручна у використанні; гнучкість, тобто легко адаптуватися до зростаючих і мінливих потреб; організованість - розподіл інформації з урахуванням її класифікації і важливість справ; захищеність - системи повинні бути захищені від несанкціонованого доступу; інтеграція - легко інтегрувалися в єдину систему; автоматизація - ефективні системи мають на увазі великі обсяги інформації, що робить необхідним їх автоматизацію.

До принципам функціонування систем інформаційного забезпечення відносяться, перш за все, організація роботи інформаційної системи і використання її в процесі експлуатації. До цієї групи слід віднести такі принципи: своєчасність - банк даних системи інформаційного забезпечення повинен оперативно і постійно поповнюватися; адекватність, тобто відповідь на запит має бути максимально точним і відображати запит споживача; надійність - обумовлений необхідністю дотримання мінімізації ризику і т.д.

Приблизно такої ж точки зору, щодо питання визначення принципів інформаційного забезпечення СЕД, дотримуються багато інших авторів.

На наш погляд, особливо слід наголосити на важливості принципу автоматизації, роль якого зростає в умовах інформатизації. В силу цього,

спостерігається інтенсивне зростання обсягу інформації про об'єкти судово-експертного дослідження. В силу цього ускладняється процес роботи з ними, пов'язаний з великими витратами часу і сили. Для полегшення цього завдання потрібне створення єдиної інформаційної системи, заснованої на автоматизованих інформаційних і інформаційно-пошукових системах (АІПС).

Однак слід враховувати і зворотний бік процесу автоматизації в експертній практиці. На слушне міркування А.М. Зініна і Н.П. Майліс, «впровадження в практику автоматизованих систем інформаційного забезпечення зазвичай здійснюється поетапно. Результати кожного етапу піддаються глибокому аналізу. Такий порядок роботи обумовлений необхідністю дотримання мінімізації ризику при розробці і впровадженні автоматизованих систем, оскільки їх розробка найчастіше пов'язана з великими трудовими і матеріальними витратами і ніколи не виключений ризик, що вони можуть виявитися непродуктивними (про це свідчить досвід розробки автоматизованих дактилоскопічних і балістичних систем інформаційного забезпечення)».

Таким чином, ґрунтуючись на вищевикладеному, нами пропонується авторське визначення поняття «інформаційне забезпечення судово-експертної діяльності»: це науково-організований, системно розвивається і цілеспрямований процес формування і функціонування інформаційних систем, призначених для збору, обробки та видачі суб'єктам необхідної інформації, а також оцінки стану і розвитку судово-експертної діяльності в цілому.

## 1.2 Процес формування експертно- криміналістичних обліків по об'єктам судової експертизи

Одне з провідних місць в процесі здійснення інформаційного забезпечення СЕД займає система реєстрації і обліку, роль і значення, яких

зростає в міру розширення кола і різноманітності об'єктів судової експертизи. В силу цього, дана сфера діяльності має гостру потребу в систематизації. Саме з цією метою в судово-експертних установах міністерства юстиції України створюються і функціонують найрізноманітніші види обліків і системи реєстрації. Їх використання сприяє підвищенню ефективності вирішення задач, не тільки судово-експертних досліджень, а й інформаційного забезпечення СЕД в цілому.

Однак, незважаючи на це, проблема вдосконалення зазначеної сфери діяльності, на сьогоднішній день, залишається однією з найактуальніших в експертній практиці в Україні. З огляду на це, в рамках теми дослідження розглянемо лише одну сторону такого значного і об'ємного питання, що стосується про роль і значення системи реєстрації і обліку по об'єктах судової експертизи стосовно інформаційного забезпечення СЕД.

Як було визначено вище, ефективність використання експертної інформації з урахуванням постійного зростання обсягу і різноманітності об'єктів судової експертизи багато в чому залежить від характеру забезпечують систем, що функціонують в судово-експертних установах України.

Цьому сприяла розробка і впровадження антропологічного методу реєстрації злочинців, винайденого французьким криміналістом А. Бертильоном. Пізніше подібна форма реєстрації та обліку знайшла своє застосування в дактилоскопії і в інших сферах, поступово сформувалися в сучасну єдину систему криміналістичної реєстрації.

Так, під терміном «об'єкт» в словниковому тлумаченні розуміють, явище, предмет, на який спрямована чиясь діяльність або чиясь небудь увага або те, що протистоїть суб'єкту в його предметно практичної і пізнавальної діяльності і виступає для індивіда, що пізнає в формах його діяльності, мови і знань.

У спеціальній літературі питання визначення змісту поняття об'єкта судової експертизи приділено достатньо уваги. Так, наприклад, на думку А.Р.

Шляхова, об'єкти експертизи - це носії інформації про факти і події, джерела фактичних даних, отриманих шляхом застосування спеціальних знань.

З точки зору Ю.К. Орлова, об'єктом експертизи є ті джерела відомостей про встановлюваних фактах, ті носії інформації, які піддаються експертному дослідженню і за допомогою яких експерт пізнає обставини, що входять до предмету експертизи.

Дещо інший підхід до визначення поняття об'єктів судової експертизи пропонуються вченими А.М. Зініним і Н.П. Майліс, які пропонують розглядати дану проблему з точки зору науки і практики. На їхню думку, стосовно до понять науки судової експертизи, об'єкт судової експертизи - це рід (вид) об'єктів, будь-якої клас, категорія предметів, що характеризуються загальними властивостями. У практичній експертної діяльності - це певний предмет (предмети), що надходить на дослідження експерту. Це, в основному, речові докази. В Енциклопедії судової експертизи під об'єктом судової експертизи розуміються «матеріальні об'єкти, що містять інформацію, необхідну для вирішення експертної завдання».

З аналізу вищенаведених визначень видно, що характерною особливістю об'єкта судової експертизи є матеріальна сторона вираження. У підтвердженні того Т.В. Авер'янова зазначає, що «думки про те, що в деяких випадках об'єктом експертизи є уявний образ або психічна діяльність суб'єкта, не можна вважати вірним, оскільки уявний образ реалізується в якомусь матеріальному втіленні, яке і є справжнім об'єктом експертизи, а психічна діяльність завжди виражається в реальних діях, вчинках, поведінці, що відображаються в навколишньому середовищі. Об'єкти - носії таких відображень і будуть об'єктами експертизи».

У спеціальній літературі найбільш розширений перелік об'єктів судової експертизи дається авторами підручника «Судова експертиза». На їхню думку, до об'єктів - речових доказів відносяться: відображення людей і тварин, предметів, механізмів, агрегатів, частини цих предметів, речовини, матеріали, вироби, документи та поліграфічна продукція, трупи людини і

тварин і їх частини, різноманітні об'єкти рослинного і тваринного походження (курсиви авт. - Б.Ц.) і ін.

За Р.С. Белкину, «об'єктами судової експертизи можуть бути матеріальні освіти (матеріальні об'єкти) і процеси. До перших належать предмети (речові докази, зразки і їх комплекси), документи, люди, тварини, трупи, транспортні засоби. До других - різні процеси (явища, події, дії).

Отже, об'єкт судової експертизи, в більшості випадків, визначається авторами як будь-які відображення, зафіксовані на матеріальних і нематеріальних носіях інформації, як визначальних якого відносять: речові докази і процеси. Однак питання про їх віднесення до об'єктів судової експертизи до сьогоднішнього дня залишається одним з дискусійних серед вчених і дослідників.

Найбільш повне уявлення з цієї проблеми, на наш погляд, дається в роботах Т.В. Авер'янова, А.М. Зініна, Н.П. Майліс, Ю.Г. Корухова, Ю.К. Орлова, Ю.Г. Плесовских, А.Р. Шляхова та ін. Наприклад, як стверджує з цього приводу Ю.К. Орлов: «В принципі експертному дослідженню можуть піддаватися не тільки конкретні предмети, а й різні процеси (події, явища, дії), на підставі вивчення яких експерт пізнає інші факти, які є предметом експертизи. Так, вивчення процесу поширення вогню (його швидкості, локалізації та ін.) Дозволяє експерту зробити висновок про причини пожежі. Тому в гносеологічному сенсі як об'єкт пізнавальної діяльності експерта може виступати будь-який факт». Підтвердженням цієї позиції автори підручника «Судова експертиза» відзначають, що до об'єктів експертизи відносяться події, факти, явища та інші нематеріальні об'єкти, необхідність вивчення яких в процесі розслідування вимагають спеціальних знань і проведення експертного дослідження. Однак вивчення цих подій, фактів, явищ та інших нематеріальних об'єктів здійснюється шляхом дослідження матеріальних носіїв інформації про них.

Розглядаючи об'єкти судової експертизи з точки зору їх процесуального статусу, на наш, погляд, абсолютно правильною точки зору

дотримується Т.В. Авер'янова. На її думку, «доказове значення має не сама річ, що не сам предмет, а чи їх властивості, ознаки, або зафіксовані ними відображення інших об'єктів. Сама річ виступає тільки як носій інформації. Доказове значення має лише ця інформація, і саме завдяки її належності до справи ми називаємо цю систему - носій і його зміст - речовим доказом ». Дана позиція щодо об'єкта судової експертизи, на наш погляд, є найбільш прийнятною.

Виходячи з аналізу наукових і правових підходів до поняття об'єкта, слід стверджувати, що основна відмінність визначення змісту поняття і переліку об'єктів судової експертизи полягає в тому, що об'єкт як складна і багатогранна система, розглядається в загальних рисах з точки зору їх гносеологічної сутності, інформаційної значущості і процесуальної природи. При цьому в сукупності враховуються такі компоненти і характеристики об'єкта як пізнавальна, практична і наукова значимість, юридична (доказова) і матеріальна природа, правові наслідки, що відображаються і відображають компоненти, властивості, ознаки і т.д. Підтвердженням є позиція Р.С. Бєлкіна, який стверджував, що «... деякі відмінності у визначеннях (і, додамо, відповідно до списків об'єктів) пояснюються аспектом розгляду - процесуальним або інформаційним».

Крім того, існують думки вчених, що перелік об'єктів судової експертизи необхідно доповнити іншими об'єктами, завдяки яким забезпечується повнота, всебічність та об'єктивність, не тільки судово-експертних досліджень, а й інформаційного забезпечення СЕД в цілому. Наприклад, до таких належать інформаційно-довідкові матеріали. Хоча, можна підтримати цю точку зору, але, тим не менш, постає інше питання: що слід до них віднести.

На наш погляд, окремі сторони названої проблеми найбільш детально відображаються в роботах Ю.Г. Плесовских. Як зазначає автор, в судово-експертному дослідженні можуть бути вивчені в якості об'єктів такого дослідження інформаційні одиниці, що містяться в самих різних

інформаційних комплексах довідкового характеру. Це, зокрема: криміналістичні обліки; галузеві енциклопедії, довідники, словники; довідкові колекції науково-дослідного характеру. При цьому представляється, що стосовно довідкових матеріалів, що визначає при вирішенні питання про те, чи є якась інформаційна одиниця об'єктом судово-експертного дослідження, служить не факт її перебування в тому, чи іншому масиві довідкових матеріалів, а її належність до вирішення завдань конкретного судово - експертного дослідження ... ».

Таким чином, слід зробити висновок, що основним об'єктом інформаційного забезпечення СЕД, є інформація, яка в силу притаманних їй якісних характеристик визначається нами як «судово-експертна». Забезпечує підсистема такої інформації стосовно судово-експертної діяльності, визначається нами як науково-організований, системно-розвивається і цілеспрямований процес збору, обробки і передачі суб'єктам судово експертної інформації, необхідної для вирішення судово-експертних завдань.

Як будь-яка інша діяльність інформаційне забезпечення СЕД будується на принципах. Ними є: повнота, достовірність, своєчасність, надійність і автоматизація.

В рамках дослідження також розглядалося питання щодо формування та функціонування системи криміналістичної реєстрації і обліку по об'єктах судової експертизи. Як визначається в роботі, в умовах все більш зростаючої ролі інформатизації в сфері СЕД, існує нагальна необхідність вдосконалення експертно криміналістичної реєстрації і обліку по об'єктах судової експертизи стосовно інформаційного забезпечення СЕД.

## 1.3 Класифікація суб'єктів інформаційного забезпечення судово експертної діяльності та їх роль в практичній діяльності

Результати аналізу спеціальної літератури показують, що питання про суб'єкта інформаційного забезпечення СЕД не приділялося достатньої уваги.

Суб'єкт в основному розглядається в кримінально-процесуальному аспекті, точніше стосовно виробництва судової експертизи і участі в процесуальних діях. В цьому випадку суб'єктами є: судовий експерт як безпосередній виконавець судової експертизи; державні та недержавні органи та установи, в яких проводяться судово-експертні дослідження; їх співробітники і керівники; особи, що призначають судові експертизи; фахівець як учасник в процесуальних діях.

Однак, як і в будь-який інший діяльності, в процесі здійснення інформаційного забезпечення СЕД в якості основного суб'єкта виступає розумно мислячий індивід з властивими йому інтелектуальними і фізичними здібностями. З урахуванням цього в поєднанні з його професійними, психологічними та особистісними якостями, до нього як суб'єкту інформаційного забезпечення СЕД пред'являється ряд вимог. Так, на думку авторів книги «Основи судової експертизи», в залежності від психологічних, психофізіологічних властивостей і моральних установок, судово експертна діяльність пред'являє до особи - її суб'єкту - такі вимоги: ерудованість, спостережливість, допитливість, тренована пам'ять, інтелектуальна цілісність, оперативне мислення, розвинене уяви, гнучкість в оперування образами, прагнення до творчої діяльності, самодисципліна і самоконтроль. Крім того, як зазначає П.А. Рудик, «незалежно від роду і виду професійна діяльність людини відрізняється цілеспрямованістю, плановість, систематичністю».

Особливі вимоги пред'являються до суб'єктів щодо виробництва судової експертизи, які досить детально розглядаються в спеціальній літературі. Тому зупинимося на них стосовно до суб'єктів (учасників) інформаційного забезпечення СЕД.

З урахуванням належності, характерні риси суб'єкта інформаційного забезпечення СЕД доцільно ділити на спеціальні, тобто властиві окремим категоріям, і загальні, тобто властиві до всіх видів суб'єктів. На нашу думку до спеціальних слід віднести такі риси суб'єкта, як наділення його

спеціальним знанням, компетентності, незалежності, правосуб'єктності, індивідуальності та ін. Тоді як до загальних рис можна віднести наступні: науковість, організованість, системність, цілеспрямованість, керованість, чітка форма поділу праці, колегіальність, пізнаваність, адаптованість.

Серед основних вимог, що пред'являються до суб'єктів інформаційного забезпечення СЕД, є наділення їм спеціальним знанням. В цьому випадку, суб'єкти слід розділити на дві категорії: по-перше, сторона, що володіє (носій) спеціальним знанням, по-друге, сторона, яка використовується (одержувач або сфера застосування) спеціальні знання.

Так, за законодавством України в якості сторін, які володіють спеціальними знаннями, відносять експерта і фахівця, в основному здійснюють процес встановлення доказових фактів. З огляду на це, а також з метою їх аналізу та узагальнення, розглянемо деякі важливі законодавчі норми, що регулюють правові відносини, що виникають в процесі здійснення інформаційного забезпечення СЕД.

Так, наприклад, у багатьох галузевих законодавствах «Про судову експертизу», відсутня єдина і загальновизнане визначення поняття «спеціальні знання» і щодо фігури суб'єкта наділеного ними. Єдине визначення на рівні законодавства, дається щодо поняття «експерт». У буквальному значенні воно сформульовано таким чином: «експерт - це особа, яка має спеціальним знанням і професією, призначений для виконання судових експертиз та винесення висновків відповідно до положень зазначеними в законодавстві».

Однак існують різні підходи вчених щодо визначення кола суб'єктів використання спеціальних знань. Так, наприклад, автори підручника «Теорія судової експертизи», до суб'єктів використання спеціальних знань у судочинстві відносять: слідчого, суддю, дізнавача, начальника слідчого відділу, спеціаліста, експерта, осіб, що володіють знаннями в області науки, техніки, ремесла, мистецтва і ремесла , але не наділеними процесуальними правами експерта, оперативних працівників.

Так як розгляд зазначеного питання не входить в завдання нашого дослідження, проте напрошується необхідність його окремого розгляду стосовно до суб'єктів не тільки володіють спеціальними знаннями, але і використовуваними ними. Оскільки обґрунтовують знанням експертиз різних родів є різні науки, то від обох сторін рівнозначно потрібно навик і вміння в різних областях знання. Цієї позиції дотримуються багато російські вчені, в числі яких Т.В. Авер'янова, Е.И Галяшіна, А.М. Зінін, Н.П. Майліс, О.Р. Російська і ін.

Невід'ємною рисою для суб'єкта інформаційного забезпечення СЕД також є - компетентність, значення якої за енциклопедичним словником означає: «знання і досвід в тій чи іншій області». В інформаційному забезпеченні СЕД, вона виконує закріплює роль щодо інших вимог до суб'єкта. Тим самим сприяє формуванню таких якісних сторін у суб'єкта, як уміння працювати в команді або одноосібно, здатність і навик до активних і цілеспрямованих дій, прийняття самостійного рішення і ін.

Іншим, не менш важливим вимогою, що пред'являються до суб'єкта, точніше судовому експерту інформаційного забезпечення СЕД, є незалежність (процесуальна самостійність).

Згідно з цим аргументу, область прояви гарантій незалежності, не слід обмежувати у вузьких колах, тобто в межах роду діяльності окремих осіб (судового експерта) або органу (експертних установ), а навпаки, потрібно розширений підхід, включаючи спільну діяльність і інших учасників інформаційного забезпечення СЕД. При цьому слід враховувати не тільки специфіку самої діяльності і вирішуваних завдань, яка вимагає колективного та комплексного підходу, але і результат цієї діяльності, виражений в незаперечності і об'єктивності. В результаті їй наказує властивість змагальності сторін у формі застосування «формального нагляду».

Крім того, як в практичній експертній діяльності, так і в сфері інформаційного забезпечення СЕД, взаємодія між учасниками здійснюється в процесуальній і непроцессуальной формах. Так, на думку авторів підручника

«Судова експертиза», взаємини, що складаються в процесуальній формі, обумовлені, перш за все, закріпленими законом правами та обов'язками суб'єктів, які вступають у взаємодію в залежності від виконуваної функції і вирішуваних завдань судочинства і судової експертизи.

Зі сказаного можна вважати, процесуальна форма виконує закріплює роль до інших вимог суб'єкта, наділяючи їх особливим статусом - правосуб'єктність. За законодавствам Монголії і Росії ними наділені: судовий експерт, фахівець, керівники судово експертних установ і ін.

Непроцесуальна форма взаємодії суб'єктів здійснюється на всіх стадіях інформаційного забезпечення СЕД у вигляді консультацій, спільних заходів у формі науково-практичних конференцій, круглих столів, навчально-виховних зустрічей і семінарів, наведення і дачі довідок, запитів і т.д.

Дещо іншої підходу вимагає розгляд питання щодо виділення загальних характерних рис, притаманних суб'єктам інформаційного забезпечення СЕД. На наш погляд, це пов'язано, в першу чергу, зі специфічною особливістю даної сфери діяльності. Виходячи з діалектичного методу наукового пізнання, вона визначається нами як науково-організований, системно-розвивається і цілеспрямований процес збору, обробки і передачі суб'єктам інформації, необхідної для вирішення судово-експертних завдань.

Отже, зміст інформаційного забезпечення СЕД щодо її суб'єкта можна охарактеризувати як складну і багатофункціональну систему, пов'язану з обробкою і видачею йому необхідної інформації.

Сказане обумовило необхідність більш докладного розгляду даного питання.

Перш за все, слід зазначити, що ми підтримуємо точка зору тих авторів, на думку яких, інформаційне забезпечення СЕД розглядається як форма практичної діяльності, яка носить двоїстий характер. З одного боку, вона має властиві риси «наукового співтовариства», які виражаються в характері міжособистісних відносин, рівні підпорядкованості, єдності волі і дій

суб'єктів. Наукове пізнання як цілісна система знань, спрямована на встановлення об'єктивної істини, досліджує не тільки свідоме ставлення суб'єкта до об'єкта, але і до самого себе, до своєї діяльності, що характерно для суб'єкта інформаційного забезпечення СЕД. Як відзначають з цього приводу автори підручника «Теорія судової експертизи», що судова експертиза як практична діяльність експерта має двоїстий характер. З одного боку, вона ґрунтується на наукових знаннях, є базовими для даного роду і виду експертизи, знаннях правових наук, включаючи загальну теорію судової експертизи і криміналістику, з іншого - вимагає застосування загальних і приватних методик судової експертизи.

З іншого боку, діяльність суб'єкта проявляється в його «творчий характер», тобто в кінцевому результаті, мета якого пізнання причинно-наслідкового зв'язку між явищами і подіями об'єктивної дійсності. Тут доречно навести висловлювання вищезазначених авторів. На їхню думку, «кожен випадок проведення експертизи відрізняється від попередніх, оскільки об'єкти експертизи кожен раз індивідуально-конкретні. Тому в будь-якому експертному дослідженні, заснованому на накопичених в науці знаннях і експертному досвіді, використовуються не тільки апробовані методики і алгоритми, а й евристичні засоби залучення нових знань, що надає дослідженню творчий характер ».

Слід також враховувати і ту обставину, що через складність і трудомісткість технологій роботи з інформацією, що здійснюється в універсальних і багатофункціональних інформаційних системах, потрібна чітка організація від самих суб'єктів інформаційного забезпечення СЕД. В цьому власне полягає необхідність наділення суб'єктів інформаційного забезпечення СЕД такий важливою рисою як наукова організованість.

Наступна риса інформаційного забезпечення СЕД - системна розвиненість, яка має безпосереднє відношення і до її суб'єкту. Вона виражається в ступені активності учасників і їх ціннісної орієнтації, що сприяють підвищенню рівня професійної майстерності, знання і навички

відповідно до виконуваної ними функції. Дана риса найбільш чітко проявляється в умовах інформатизації, коли все більш затребуваними для суб'єкта будь-сфери діяльності стають інноваційне мислення, вміння і навички роботи в інформаційно-комунікативної середовищі.

Такі якості суб'єктів як цілеспрямована і керованість виражається в ступені володіння свободою вибору методичних засобів і прийняття рішень, а також згуртованості дій і єдність поглядів учасників, спрямованих на досягнення спільної мети.

Як і будь-який процес, інформаційне забезпечення СЕД здійснюється в рамках системи управління. За словниковому визначенню під управлінням слід розуміти свідомо регульований процес, спрямований на оптимальне забезпечення поставленої мети, за допомогою узгоджених дій і відносин суб'єктів, які формуються з різних форм управлінської діяльності: організаційної, планової, облікової, аналізу, контрольної, стимулювання і т.д.

Питання про зростаючу роль і значення інформації та інформаційного забезпечення СЕД в управлінській діяльності розглядається багатьма російськими авторами. Так, наприклад, І.В. Котелевська зазначає, що інформаційне забезпечення різних державних органів набуває особливої актуальності, оскільки пов'язує всіх її учасників як суб'єктів права. Наприклад, помічено, що епізодична робота з інформацією знижує ефективність управлінського процесу, веде до неповного відображенню в рішенні різноманіття регульованих їм відносин, до управлінських помилок.

Підтвердженням цієї думки І.М. Слепенков зазначає, що «суб'єктами управлінських відносин є всі носії управлінської діяльності, співучасники управління незалежно від їх положення в структурі керуючої системи. У кожному разі суб'єкт управлінських відносин може виступати і як суб'єкт, і як об'єкт управління в залежності від спрямованості окремого управлінського впливу і характеру взаємодії ».

Зазначені аргументи, на наш погляд, цілком прийнятні і для суб'єкта інформаційного забезпечення СЕД в управлінській діяльності.

Управлінський характер суб'єкта інформаційного забезпечення СЕД породжує таку важливу рису як чітка форма поділу праці. Вона чітко простежується в характері розподілу ролей між учасниками в процесі підготовки і прийняття рішень. На наш погляд, між учасниками інформаційного забезпечення СЕД простежуються змішані форми поділу праці (горизонтальна і вертикальна). Таке розгортання поділу праці в результаті утворює рівень управління як одне з визначальних основ функціонування будь-якої організації (установи), основним родом діяльності, якою є виробництво. У нашому випадку - судова експертиза.

Тим часом, результативність і ефективність роботи в таких складних процесах багато в чому залежить від ступеня згуртованості і взаємодії суб'єктів на основі принципу колективності. У ній відбивається, не тільки кількісна сторона практичної експертної діяльності, а й якісна однорідність і корпоративність єдності учасників. Дана риса також наочно виражається у відношенні суб'єкта судової експертизи, коли виникає необхідність підготовки і прийняття рішення на основі колективної думки і знання. Справедливо зауважує з цього приводу Ю.К. Орлов, що «в умовах інтенсивного впровадження в експертну практику наукових і технічних досягнень і посилюються диференціації та інтеграції знань, процес виробництва експертизи все більше набуває не тільки колективний, а й кооперуватися характер, в ньому простежуються риси наукового поділу праці. Внаслідок ускладнення і збільшення числа застосовуваних методів і методик посилюється спеціалізація експертів. І все частіше виробництво експертизи стає непосильним для експерта лише однієї якоїсь спеціальності і, тим більше, вузької спеціалізації ». Саме в цьому виражається така риса як колегіальність.

В умовах інформатизації більш затребуваними для суб'єкта інформаційного забезпечення СЕД стають такі загальні риси як пізнаваність, комунікативність, адаптованість.

Як було зазначено вище, суб'єкт пізнавальної діяльності (яким є і інформаційне забезпечення СЕД) розглядається як взаємозв'язок і взаємозалежність двох субстанцій в їх єдності, з одного боку - як джерело системи знання в цілому, а з іншого - носій предметно-практичної діяльності, спрямований на об'єкт пізнання. В якості суб'єкта пізнання інформаційного забезпечення СЕД може виступати як окрема особа (судовий експерт, фахівець, керівник експертної установи, програміст, вчений дослідник і т.д.), так і група осіб (комісія експертів, інженерно-технічний персонал і т.д. ). При цьому вони об'єднані спільністю мети, їх діяльність спрямована на пізнання нових інформаційних об'єктів, освоєння інформаційною технологією і інноваційним процесом з метою використання їх результатів для вирішення завдань інформаційного забезпечення СЕД.

Отже, пізнання в інформаційному забезпеченні СЕД, на наш погляд, є цілеспрямована дія суб'єкта для отримання нових знань в ході здійснення інформаційного процесу зі збору, обробки і передачі судово-експертної інформації, з метою встановлення об'єктивних фактів, явищ і процесів навколишньої дійсності. При цьому інформація відіграє роль «сполучної ланки» між суб'єктами процесу пізнання і їх спільними діями.

До теперішнього часу, дослідження діяльності судового експерта обмежувалося великою мірою аналізом пізнавального процесу, а психологічним закономірностям комунікативного аспекту при проведенні судово-експертних досліджень мало приділялося уваги.

Одним з основних компонентів прояву комунікативних якостей суб'єкта інформаційного забезпечення СЕД, є адаптованість, яка виражається в гнучкості, мобільності, мотивації, інноваційності і т.д. Під адаптованість, на наш погляд, слід розуміти як психологічну, так і професійну готовність суб'єкта виконати роботу в будь-яких умовах і зміни, сполученими їх особистими якостями і здібностями. У нашому випадку в умовах інформаційної та комунікативної середовищі, що властиво суб'єктам інформаційного забезпечення СЕД.

Також в умовах стрімкої зміни потоків інформації, що вимагають швидкої зміни технологічних засобів, методів і здійснюють процесів по їх обробці, все більш затребуваним стає розвиток інформаційно-комунікативних якостей у учасників інформаційного забезпечення СЕД. Компетентність сприяє формуванню таких якісних сторін суб'єкта як мистецтво і грамотність спілкування і вміння встановити контакти з іншими учасниками інформаційного забезпечення СЕД.

Як бачимо, основні риси і їх елементи, притаманні суб'єктам інформаційного забезпечення СЕД, виражаються в умінні і володінні ними управляти сучасними технологічними засобами, операціями і процесами, спрямованими на перетворення і обробку інформації. Справедливо зазначав з цього приводу Л.Є. Ароцкер, що несвідома віра в непогрішність ЕОМ, нерозуміння і незнання механізму її діяльності, ознак, якими вона оперує, об'єктивно позбавляють експерта права використовувати ЕОМ в експертизі.

Отже, виходячи з вищевикладеного, необхідно виділити наступні характерні риси, властиві суб'єктам інформаційного забезпечення СЕД: наділення спеціальним знанням, компетентність, незалежність, правосуб'єктність, науковість, організованість, системність, развіваемость, цілеспрямованість, керованість, чітка форма поділу праці, колегіальність, пізнаваність, адаптованість, комунікативність. При цьому слід зазначити, що даний перелік не є вичерпним.

Резюмуючи викладене можна вважати, що в залежності від специфіки інформаційного забезпечення СЕД, до розгляду питання про її суб'єкт, необхідно підійти як цілісну систему. Як відзначають з цього приводу автори підручника «Судова експертиза», «настільки складна, що динамічно розвивається система вимагає відповідного інформаційного забезпечення суб'єктів судово-експертної діяльності. Воно повинно бути адекватно різноманітності завдань, які доводиться вирішувати в експертних установах, відповідати формам цієї діяльності ».

## Висновки до розділу 1

У 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.

1. 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 збільшуються навантаження на ці компоненти, що потребує значного удосконалення моделей та методів контролю та забезпечення якості функціонування КС. Тому розробка нових методів та моделей контролю, діагностики та функціонування є необхідною реальністю, що дозволить покращити достовірність прийняття рішень у судово-експертної діяльності.

2. 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

3. Обрано загальний критерій оцінки ефективності синтезу спеціалізованих комп'ютерних системи забезпечення судово-експертної діяльності.

4. Основні результати розділу опубліковано в [8,9].

# 2 РОЗДІЛ
# МЕТОДИ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ КОМП’ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ СИСТЕМИ СУДОВОЇ ЕКСПЕРТИЗИ

Комп'ютерні системи знаходять застосування в різноманітних сферах життя людського суспільства: промисловості, бізнесі, науці та освіті, фінансах і інфраструктурних проектах, будівництві та правоохоронної діяльності. Залежно від призначення системи при її побудові вибирається відповідна програмна платформа. Така платформа визначає характер поведінки базової телекомунікаційної мережі. Зокрема, в даний час популярні такі платформи: хмарні, конвергентні, гіперконвергентні. При виборі платформи критерії якості обслуговування комп'ютерної системи істотно залежать від параметрів базової телекомунікаційної мережі. Тому перед формованої телекомунікаційною мережею ставлять жорсткі вимоги. Крім того, мережа повинна задовольняти ряду обмежень, які поставлені комп'ютерною системою. Тільки виконання цих умов дозволить комп'ютерній системі вирішити поставлені перед нею завдання. Також при побудові, модифікації і експлуатації телекомунікаційних мереж виникає досить загальна проблема по цифровій обробці сигналів, синхронізації мережі та її стабільності.

## 2.1. Метод діагностики порушень синхронізації телекомунікаційної мережі комп'ютерної системи критичного застосування

Розширення переліку послуг, що надаються передачі інформації і підвищення рівня якості обслуговування є ключовими тенденціями в розвитку телекомунікаційної мережі. Для поліпшення якості обслуговування (QoS) постійно оптимізується робота всіх мережевих технологій, протоколів і окремих механізмів управління трафіком. Відомо, що на якість передачі

інформації в сучасному телекомунікаційному обладнанні впливає якість пристроїв синхронізації. Тому відсутність синхронізації комп'ютерної системи на необхідному рівні може призвести до значного зниження показників QoS. У той же час, істотно посилюються вимоги до забезпечення цих показників в умовах збільшення завантаження мережевих ресурсів. Отже, якість функціонування існуючих і перспективних комп'ютерних систем і мереж неможливо підвищити без урахування впливу синхронізації і забезпечення відповідних показників синхронізації [10].

В процесі передачі інформації в комп'ютерній системі, в тому числі і в комп'ютерній мережі передачі даних, завжди існує проблема недостатньої синхронізації, яка викликана різними програмно-апаратними факторами. Синхронізація - це засіб підтримки роботи всього цифрового устаткування в мережі передачі інформації на одній середній швидкості, яке повинно існувати на трьох рівнях: бітова синхронізація, синхронізація на рівні канальних інтервалів (time slot) і кадрова синхронізація. Тактовий генератор мережі, розташований у вузлі джерела, управляє частотою передачі через цей вузол бітів, кадрів і канальних інтервалів. Вторинний генератор мережі розташований в приймаючому вузлі, призначений для управління швидкістю зчитування інформації. Метою тактовою мережевий синхронізації є узгоджена робота первинного генератора і приймача з тим, щоб приймає вузол міг правильно інтерпретувати цифровий сигнал. Різниця в синхронізації вузлів, що знаходяться в одній мережі, може привести до пропуску або до повторного зчитування приймаючим вузлом надісланій на нього інформації. Таким чином, підвищення якості функціонування існуючих і проектованих комп'ютерних систем за рахунок підвищення показників синхронізації системи є актуальним завданням дослідження [11,13].

Дослідженню факторів, що впливають на якість обслуговування (QoS) комп'ютерних мереж приділено велику увагу [3-25]. Дослідження впливу пропускної здатності каналів передачі даних проведено в [3-6]. Аналіз впливу архітектури комп'ютерних систем і комп'ютерних мереж було

проведено в роботах [4, 5, 7, 8, 34, 35, 36]. Роботи [9-14] присвячені аналізу черг пакетів і розробці комплексного підходу діагностики QoS комп'ютерних систем і мереж. Крім того, окремо стоїть питання про взаємозв'язок показників QoS і виконанні вимог до транзакцій комп'ютерної системи [15-20]. В [21] виділені основні параметри базової телекомунікаційної мережі, що впливають на якість виконання транзакцій комп'ютерної системи. Зокрема, показано, що при виборі спеціальних платформ з централізованим управлінням (конвергентні та гіперконвергентние) істотну роль грає синхронізація комп'ютерної системи. У роботах. Для забезпечення необхідного рівня синхронізації необхідно проводити контроль стійкості функціонування генераторів комп'ютерної системи. Технічні засоби такого контролю представлені в роботах [22, 23]. В роботі [35] розроблено метод оперативного розрахунку значення джиттера телекомунікаційної мережі на основі методу підвищення роздільної здатності акустооптичних спектроаналізаторів, який дозволяє провести динамічну перенастроювання мережевих параметрів.

Метою підрозділу є розробка методу діагностики порушень синхронізації телекомунікаційної мережі комп'ютерної системи критичного застосування за рахунок підвищення роздільної здатності акустооптичного спектроаналізатора.

### 2.1.1. Види синхронізація комп'ютерних систем

Бітова синхронізація полягає в тому, що передає і приймає кінці лінії передачі працюють на одній тактовій частоті, тому біти зчитуються правильно. Для досягнення бітової синхронізації приймач може отримувати свої тактові імпульси з вхідної лінії. Бітова синхронізація включає такі проблеми як джіттер лінії передачі і щільність одиниць. Ці проблеми піднімаються при пред'явленні вимог до синхронізації і системам передачі [26-33].

Синхронізація канального інтервалу (time slot) з'єднує приймач і передавач таким чином, щоб канальні інтервали могли бути ідентифіковані

для вилучення даних. Це досягається шляхом використання фіксованого формату кадру для поділу байтів. Основними проблемами синхронізації на рівні канального інтервалу є час зміни кадру і виявлення втрати кадру.

Кадрова синхронізація викликана необхідністю узгодження по фазі передавача і приймача таким чином, щоб можна було ідентифікувати початок кадру. Кадром в сигналі $DS_1$ або $E_1$ є група бітів, що складається з двадцяти чотирьох або тридцяти байтів (канальних інтервалів) відповідно, і одного імпульсу кадрової синхронізації. Час кадру одно 125 мікросекунд. Канальні інтервали відповідають користувачам конкретних (телефонних) каналів зв'язку.

Характеристики синхронізації в ієрархічній мережі передавача - приймачі визначаються трьома компонентами: погрішністю керуючого генератора, характеристиками пристроїв, які розподіляють еталонний сигнал, і характеристиками генераторів приймача, що одержує еталонний сигнал через ці пристрої. Відомо, що нестабільність частоти синхронізації керуючого генератора зазвичай слабо впливає на загальну нестабільність в мережах синхронізації. Характеристики синхронізації в основному визначаються комбінацією характеристик пристроїв розподілу і генератора приймача. У реальних мережах генератор приймача, приєднаний до керуючого генератора, буде працювати з довготривалою частотою, що відрізняється від частоти керуючого генератора. Нестабільність частоти генератора приймача зазвичай в 10 -100 разів перевищує нестабільність частоти керуючого генератора. Тому, генератори приймача служать причиною більшої частини помилок синхронізації і прослизання в мережах [37-40].

Наприклад, якщо обладнання, що передає інформацію, працює на частоті, більшою, ніж частота приймає устаткування, то приймач не може відстежувати потік інформації. В цьому випадку приймач буде періодично 6 пропускати частину переданої йому інформації. Втрата інформації називається прослизанням видалення. У разі, якщо приймач працює на

частоті перевищує частоту передавача, приймач буде дублювати інформацію, продовжуючи працювати на своїй частоті і все ще здійснюючи зв'язок з передавачем. Це дублювання інформації називається прослизанням повторення.

Вплив одного або більше прослизань на якість послуг, що надаються в цифрових мережах зв'язку залежить від типу цих послуг [1-6]. Нижче описано вплив одиночних прослизань на різні види послуг. При наданні послуг телефонного (голосовий) зв'язку прослизання можуть викликати випадкові звукові клацання. Ці клацання не завжди можна почути і не призводять до серйозних перекручувань мови. Тому послуги телефонного зв'язку некритичні до прослизання. Частота появи прослизань до декількох прослизань в хвилину вважається допустимою. Поодинокі прослизання призводять до перекручення чи пропажі рядків в прийнятому факсимільному повідомленні. Прослизання може викликати пропажа до 8 сканованих ліній. Це відповідає пропуску 0,08 дюйма вертикального простору. На стандартній видрукуваної сторінці прослизання виглядає як відсутність верхньої або нижньої половини видрукуваної рядки. Тривале поява прослизання призведе до необхідності повторної передачі сторінок, які зазнали їх впливу. Повторна передача не може бути автоматизована і здійснюється користувачем вручну. Вплив прослизання на передачу даних за допомогою модемів проявляється у вигляді довгих пакетів помилок в діапазоні від 10 мілісекунд до 1,5 секунд. В період появи цих помилок кінцеве приймальний пристрій, підключений до модему, приймає спотворені дані. В результаті користувач повинен здійснити повторну передачу даних.

При виникненні прослизання під час сеансу відеотелефонного зв'язку відбувається пропажа зображення. Абонентів просять повторно встановити зв'язок для відновлення зображення. Вплив прослизання на передачу цифрових даних залежить від використовуваного протоколу. У протоколах, які не передбачають можливості повторної передачі, можливі пропуски, повторення або перекручування даних. Можлива втрата кадрової

синхронізації, що викликає спотворення безлічі кадрів при поновленні надходження імпульсів кадрової синхронізації. Протоколи з повторною мають можливість виявити прослизання і ініціювати повторну передачу. Для ініціалізації і виконання такої ретрансляції зазвичай потрібна одна секунда. Тому прослизання впливатимуть на пропускну здатність, зазвичай призводить до втрати секунди часу передачі. При цифровій передачі зображень (наприклад, відеоконференція), прослизання зазвичай викликає спотворення частини зображення або його «заморожування» на час до 6 секунд. Серйозність і тривалість спотворень залежить від застосовуваного обладнання 8 кодування і компресії. Найбільш значні спотворення виникають при використанні низької декодирующего обладнання. Найбільший вплив прослизання надають при наданні послуг з передачі зашифрованих даних. Прослизання призводить до втрати ключа кодування. Втрата ключа призводить до недоступності переданих даних до повторної передачі ключа і повторного здійснення зв'язку. Тому вся зв'язок зупиняється. Що важливіше, необхідність в ретрансляції ключа значно впливає на безпеку. Для багатьох додатків, пов'язаних з проблемами безпеки, число прослизань, що перевищує 1 в день, вважається неприйнятним.

Для управління частотою прослизань, подіями вирівнювання покажчиків і пучками помилок, викликаних синхронізацією, ITU і ANSI встановили кілька вимог до робочих характеристик синхронізації. Для міжнародних сполучень поріг швидкості прослизань для «прийнятного» з'єднання встановлено ITU на рівні одного прослизання за кожні п'ять годин. Для досягнення задовільною швидкості прослизань при наскрізний передачі довгострокова максимальна нестабільність частоти на виході цифрової системи синхронізації становить $1x10^{-11}$. Ця вимога була встановлено як ANSI [26], так і ITU [27,28]. Вимоги до короткочасної нестабільності допускають від 1 до 10 мікросекунд з помилками в день на виході кожного мережевого тактового генератора [26,27].

Для визначення 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. Основні характеристики і шляхи підвищення роздільної здатності цього пристрою будуть досліджені в наступній частині пропонованої роботи.

### 2.1.2. Основні співвідношення і формулювання

Нагадаємо, для повноти викладу, основи аналізу акустооптичних аналізаторів спектра з просторовим інтегруванням. Структурна схема аналізатора [22] представлена на рис. 2.1, де позначені: 1 - лазер. 2 - конденсатор, 3 - коліматор, 4 - акустооптичний модулятор (АОМ), 5 - фур'є-лінза, 6 - пристрій, що реєструє і зображені використовувані системи координат $x_1$, $y_1$, $z_1$ та $x_2$, $y_{12}$, $z_2$.

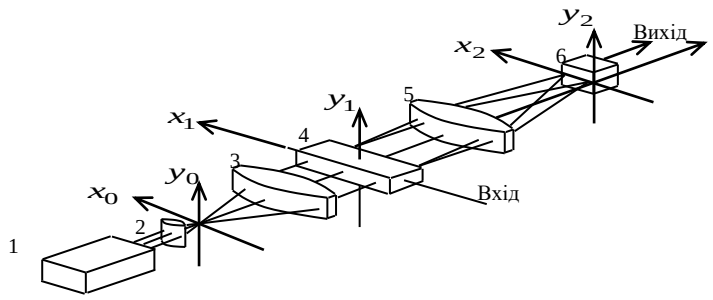



Рисунок 2.1 Структурна схема акустооптичного спектроаналізатора

Конденсатор і коліматор перетворять випромінюється лазером монохроматичну хвилю $exp[i(\omega_L t - k_L z_1)]$ в падаючу під кутом $\Theta_i$ 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 біжучий 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:

$$E_1(x_1,t) = Ar(x_1)S\left(t - \frac{x_{1+}D/2}{v}\right)exp[i(\omega_L t - k_L z_1 + k_L z_1 tg\Theta)_i], \quad (2.1)$$

де $A$ характеризує модулирующее вплив акустичної хвилі на що проходить через АОМ лазерне випромінювання.

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

$$E_2(x_2,t) = \int_{-\infty}^{\infty} d\,x_1\; E_1(x_1,t)exp\left(i\frac{2\pi}{\lambda F}x_1\;\; x_2\right) \quad , \quad (2.2)$$

де $F$ - фокусна відстань лінзи, $\lambda$ - довжина хвилі лазерного випромінювання.

Використовуючи розкладання (2.1), формулу (2.2) можна перетворити до вигляду:

$$E_2(x_2,t) = Avexp(-i\omega_x T/2)\int_0^T d\tau\, \exp(i\omega_x\tau)S(t-\tau)\,, \quad (2.3)$$

де опущений несуттєвий надалі множник $exp[i(\omega_L t - k_L z_1)\;\;]$ та введено позначення $\omega_x = v\left(\frac{2\pi}{\lambda F}x_2 + k_L tg\Theta\right)$, а $T = \frac{D}{v}$ є тривалість тимчасової вибірки, що відповідає світловий апертурі $D$. У формулі (3) і всюди нижче явно відображена залежність поля $E_2$ от $x_2$ за допомогою $\omega_x = \omega(x_2)$.

Продовжимо розглядати некогерентного перетворення вихідного світлового розподілу в електричний сигнал, пропорційний інтегралу за часом від його інтенсивності

$$U(\omega_x, T_R) = \int_0^{T_R} dt|E_2(\omega_x),t|\,, \quad (2.4)$$

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

3. Дозвіл імпульсів з прямокутною обвідної. Нехай на вхід аналізатора одночасно надходять два імпульсу прямокутної форми однаковою одиничної амплітуди, але з різними несучими частотами $\omega_a$, тривалістю $\tau_a$ та часом затримки $t_a$ $(a = 1,2); s(t) = s_1(t) + s_2(t)$, де

$$s_a(t) = \begin{cases} 0, & t < t_a \\ \sin\big(\omega_a(t - t_a)\big), & t_a \le t \le t_a + \tau_a \\ 0, & t > t_a + \tau_a. \end{cases} \tag{2.5}$$

Підстановка (2.5) в (2.3) дає

$$E_2(x_2, t) = E_2^{(1)}(\omega_x, t) + E_2^{(2)}(\omega_x, t). \ , \tag{2.6}$$

де доданок $E_2^{(a)}(\omega_x, t)$, відповідне відгуку на $a$ -й вхідний імпульс (*a=1,2*), у випадку тимчасової апретури *T*, меншої тривалості імпульса $\tau_a$, з точністю до несуттєвого для подальшого розгляду множника $Avexp(-i\omega_x T/2)$ задається наступними виразами:

при $T_R < t_a$

$$E_2^{(a)}(\omega_x, t) = 0; \tag{2.7}$$

при $t_a \le T_R < t_a + T$

$$E_2^{(a)}(\omega_x, t) = e_a(t - t_a, t - t_a, t - t_a\ ); \tag{2.8}$$

при $t_a + T \le T_R < t_a + \tau_a$

$$E_2^{(a)}(\omega_x, t) = e_a(T, 2(t - t_a) - T, T); \quad (2.9)$$

при $t_a + \tau_a \leq T_R < t_a + \tau_a$ +T

$$E_2^{(a)}(\omega_x, t) = e_a(t - t_a - \tau_a + T, t - t_a + \tau_a - T, T - t + t_a); \quad (2.10)$$

При $T_R \geq t_a + \tau_a + T$

$$E_2^{(a)}(\omega_x, t) = 0. \quad (2.11)$$

У формулах (2.8-2.10) для скорочення запису введено позначення для функції трьох змінних

$$e_a(s_1, s_2, s_3,) = e^{i\frac{\omega_x s_1}{2}}\left[e^{i\frac{\omega_a s_2}{2}}\frac{sin(\omega_a^- s_3/2)}{\omega_a^-} - e^{i\frac{\omega_a s_2}{2}}\frac{sin(\omega_a^+ s_3/2)}{\omega_a^+}\right],$$

де $\omega_a^{\pm} = \omega_x \pm \omega_a$ .

Таким чином, в силу (2.4) і (2.6), сумарний реєстрований сигнал можна записати у вигляді

$$U(\omega_x, T_R) = U_1(\omega_x, T_R) + U_2(\omega_x, T_R) + U_{1,2}(\omega_x, T_R), \quad (2.12)$$

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

$$U_{1,2}(\omega_x, T_R) = 2Re\left[\int_0^{T_R} dt E_2^{(1)}(\omega_x, t)\overline{E_2^{(2)}(\omega_x, t)}\right], \quad (2.13)$$

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

Вирази для $U_a(\omega_x, T_R)$ у випадку тимчасової апертури $T$, меншої тривалості кожного з імпульсів $\tau_i$, наведені в [29]. Явні вирази для $U_{1,2}(\omega_x, T_R)$ виходять після підстановки в (2.13) формул (2.7-2.11) і тут не наводяться тільки в силу їх громіздкість, оскільки враховують всі можливі варіанти взаємного положення по осі часу етапів входження в апертуру, її повного заповнення і виходу з апертури кожного з імпульсів. Фізична трактування цих виразів аналогічна наведеної в [29] для величин $U_a(\omega_x, T_R)$.

Таким чином, сукупність формул (2.7-2.13) визначає вихідний сигнал спектроаналізатора при надходженні на його вхід двох імпульсів прямокутної форми з різними несучими частотами, длительностями і часом затримки.

4. Чисельні розрахунки і обговорення. Найбільш суттєві якісні та кількісні характеристики частотного дозволу можна бачити вже на прикладі двох імпульсних сигналів, що відрізняються тільки несучими частотами.

При проведенні чисельних розрахунків приймалося, що тривалості вхідних імпульсів $\tau_1 = \tau_2 = \tau = 1000$, а величина тимчасової апертури *T=800* (час вимірювався в умовних одиницях, які визначалися співвідношенням $\omega_1 = 1$). Затримки обох імпульсів без втрати спільності покладалися рівними $t_1$=$t_2$,=0, а тимчасова еволюція вихідного сигналу розглядалася на інтервалі $0 \leq T_R < \tau + T$, що дозволяло виявити всі особливості тимчасового ходу, оскільки потім сигнал виходив на стаціонарне значення [29].

Рис. 2.2 ілюструє результати розрахунків тимчасової еволюції залежності вихідного сигналу $U(\omega_x, T_R)$ від величини $\omega_x$, пропорційній координаті $x_2$ для відносної растройки несучих частот
$\varepsilon = (\omega_2 - \omega_1)/\omega_1 = 0{,}02$.

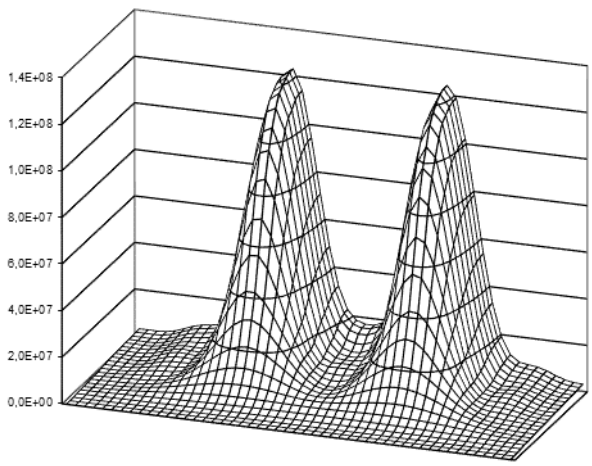



Рисунок 2.2. Вихідний сигнал спектроаналізатора при великій расстройке несучих частот вхідних імпульсів

Вісь $x$ відповідає величині $\omega_x$, а вісь $y$ – величині $T_R$, причому лівий пік на цьому і наступних малюнках представляє вхідний імпульс з несучої $\omega_1$, правий - імпульс з несучою $\omega_2$.

Як видно з рис. 2.2, при такій величині расстройки наявність інтерференційного члена у виразі (2.12) практично несуттєво, і імпульси достовірно помітні вже після етапу заповнення ними апертури АОМ.

На рис. 2.3 представлені результати розрахунків вихідного сигналу $U(\omega_x, T_R)$ для в два рази меншою, ніж на рис. 1.2, расстройки $\varepsilon = 0{,}01$ при незмінних інших параметрах. Зіставлення цих малюнків показує, що застосовується для розрахунку расстройки впевнене дозвіл імпульсів можливо лише при досить великому (близькому до етапу виходу на стаціонарне значення) часу спостереження.

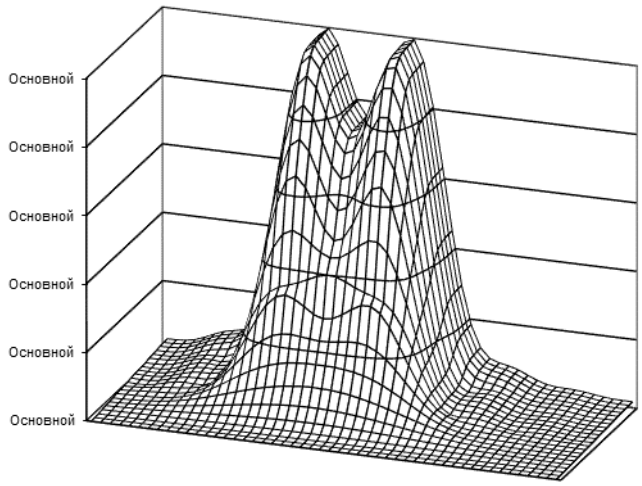



Рисунок 2.3. Вихідний сигнал при помірній расстройке несучих частот

Крім того, якщо для расстройки $\varepsilon = 0{,}02$ вже на самому початку реєструються два (нехай і слабо помітних) імпульсу, а в міру зростання $T_R$ їх відмінність збільшується, то для $\varepsilon = 0{,}01$ спочатку обидва імпульсу абсолютно невиразні (виглядають як одне ціле) і лише в процесі реєстрації, якщо її час досить велике, відбувається все більш повне їх дозвіл.

Дані розрахунків на рис. 3 також ілюструють слабку ефективність алгоритму розрізнення сигналів при середньому (за критерієм Релея) дозвіл вихідних імпульсів, заснованому на фільтрації інтерференційного члена в (1.12) за допомогою пропускання через низькочастотний (в порівнянні з частотою биття, пропорційною різниці $\omega_2 - \omega_1$) фільтр. Оскільки при таких значеннях расстройки $\varepsilon$ інтерференційний член порівняємо за величиною з відгуками від окремих імпульсів і дає порівнянний з ними внесок в сумарний вихідний сигнал, то його фільтрація призведе до зниження рівня корисного сигналу і, відповідно падіння ефективності такого алгоритму.

Результати розрахунків, представлені на рис. 1.4, відрізняються від двох попередніх ще більшою величиною расстройки: $\varepsilon = 0{,}005$. Характер зміни вихідного сигналу такий же, як і на рис. 3: спочатку обидва імпульсу як єдиний невиразний, і лише в процесі реєстрації крива залежності $U(\omega_x, T_R)$

від $\omega_x$ стає двогорбий. Однак навіть при виході сигналу на стаціонарне значення ця двогорбий невелика, і про наявність другого імпульсу на тлі першого можна лише побічно судити про підвищену в порівнянні з попереднім малюнком сумарною амплітудою вихідного сигналу.

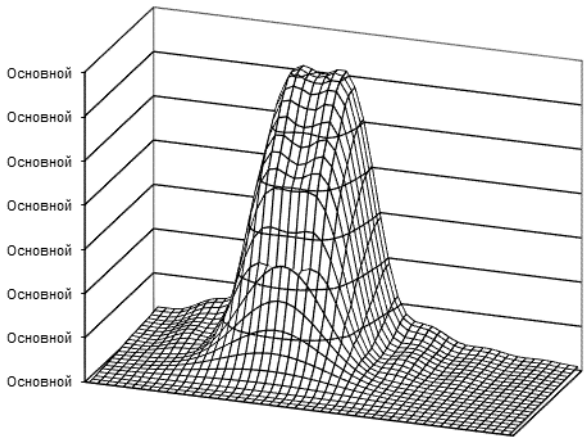



Рисунок 2.4. Вихідний сигнал при малій расстройке несучих частот

Втім, як легко бачити, сумарний сигнал від двох повністю ідентичних імпульсів перевищує сигнал від одиночного імпульсу тільки в чотири рази, чого може виявитися недостатньо в пристроях, параметри яких подібні використаним при розрахунках в даній статті.

Таким чином, для розрізнення несучих частот вхідних імпульсів при середніх і малих величинах расстройки загальним необхідною умовою є досить велика (в порівнянні з сумарною тривалістю вхідного імпульсу і тимчасової апертури спектроаналізатора) час реєстрації. Таке підвищення роздільної здатності акустооптичного спектраналізатора дозволить підвищити якість діагностики синхронізації комп'ютерних систем критичного використання.

У підрозділі запропоновано метод діагностики порушень синхронізації телекомунікаційної мережі комп'ютерної системи критичного застосування. Метод заснований на підвищенні роздільної здатності вимірювальної системи на базі акустооптичного спектроаналізатора. Основними результатами даного дослідження є:

• наведені результати аналізу факторів, що впливають на порушення стабілізації комп'ютерної мережі комп'ютерної системи критичного застосування. Встановлено якісні та кількісні показники синхронізації системи;

• проаналізовані функціональні можливості використання акустооптичних спектроаналізаторів для контролю якості синхронізації комп'ютерних мереж, представлені основні математичні співвідношення, що визначають параметри вихідного сигналу АОАС;

• в результаті проведених чисельних розрахунків було встановлено, що для розрізнення несучих частот вхідних імпульсів при середніх і малих величинах расстройки загальним необхідною умовою є досить велика (в порівнянні з сумарною тривалістю вхідного імпульсу і тимчасової апертури спектроаналізатора) час реєстрації;

• основним підсумком досліджень можливості підвищення роздільної здатності АОАС є те, що виникають теоретичні передумови для визначення синхронності роботи генераторів в комп'ютерній мережі інформаційної комп'ютерної системи критичного використання, що призведе до підвищення показників якості обслуговування (QoS);

• подальші дослідження в цьому напрямку бажано присвятити отримання квазіоптимальних і оптимальних методів підвищення роздільної здатності АОАС для визначення параметрів десинхронизации роботи комп'ютерної мережі.

## 2.2. Метод визначення джитера в телекомунікаційній мережі комп'ютерної системи на спеціальній програмній платформі

В процесі функціонування комп'ютерної системи на спеціальній програмній платформі ставиться завдання виконання тимчасових вимог до системних транзакцій. Час виконання запиту залежить як від параметрів якості обслуговування (QoS) базової телекомунікаційної мережі, так і від архітектури комп'ютерної системи. Однак в системах з централізованим

управлінням вплив архітектури істотно менше. Таким чином, завдання забезпечення тимчасових вимог до системних транзакцій може бути сформульована так: необхідно знайти найбільш істотні параметри QoS, що дозволяють проводити динамічну перенастроювання мережі для забезпечення виконання тимчасових вимог до системних транзакцій.

Аналізу впливу параметрів телекомунікаційних мереж на якість обслуговування (QoS) присвячено багато наукових робіт [3-21]. Так, в [3-6] досліджено вплив пропускної здатності каналів. В [7, 8] аналізується вплив архітектури мережі. В [4, 5] основний упор зроблений на архітектуру комп'ютерної системи. В [9-12] проаналізовані черзі пакетів. В [13, 14] запропоновано комплексний підхід для аналізу QoS. Крім того, окремо стоїть питання про взаємозв'язок показників QoS і виконанні вимог до транзакцій комп'ютерної системи [15-20]. В [21] виділені основні параметри базової телекомунікаційної мережі, що впливають на якість виконання транзакцій комп'ютерної системи. Зокрема, показано, що при виборі спеціальних платформ з централізованим управлінням (конвергентні та гіперконвергентні) істотну роль грає значення джиттера. Джиттер - найменш досліджений параметр в телекомунікаційних мережах. Якість динамічної перенастроювання параметрів телекомунікаційної мережі, зокрема, визначається і точністю визначення значення джиттера.

Метою підрозділу є розробка методу оперативного розрахунку значення джиттера телекомунікаційної мережі для проведення динамічної перенастроювання мережевих параметрів.

Об'єкт дослідження - джиттер (фазовий тремтіння), явище фазової модуляції сигналу (як аналогового, так і цифрового). В даний час найбільшого поширення набули два підходи до визначення джиттера - у термінах фази і в термінах частоти. Відомо, що параметри частоти і фази пов'язані простим співвідношенням, тобто обидва підходи еквівалентні. Опис джиттера як фазової нестабільності прийнятого цифрового сигналу найбільш часто використовується в теоретичних дослідженнях. Це призвело до появи

визначень джитера як фазових флуктуацій. Але на практиці існують об'єктивні труднощі вимірювання фази. Тому з'явилося прикладне уявлення джиттера як варіації частоти прийнятого сигналу. У такому поданні амплітуда і частота сигналу стають основними параметрами джиттера.

Останнім часом велика увага приділяється використанню оптичних методів при аналізі даних різної природи [22-24], що обумовлено специфічними можливостями таких методів: паралельною обробки, високою швидкістю і частотою оптичних сигналів і т.д.

Ці можливості реалізовані, наприклад, в сучасних акустооптичних спектроаналізаторів, що відрізняються простотою конструкції і паралельною обробкою сигналів у широкій смузі частот і практично в реальному масштабі часу [22]. Використання переваг безпошукове спектрального аналізу і розширення смуги одночасно аналізованих частот в акустооптичних спектроаналізаторів обумовлює необхідність більш глибокого аналізу їх роздільної здатності.

У більшості робіт, присвячених дослідженню роздільної здатності акустооптичних спектроаналізаторів, ці дослідження проводяться з використанням критерію Релея [22, 23]. Так склалося історично, за аналогією з роздільною здатністю більшості оптичних приладів, наприклад, телескопів. Але на відміну від дослідження природних джерел випромінювання, наприклад, зірок, випромінювання яких є некогерентним, в акустооптичних спектроаналізаторів використовується когерентне випромінювання лазера. Оцінки роздільної здатності, проведені за критерієм Релея [23], показують, що при розладі сигналу імпульси вже не помітні незалежно від часу затримки сигналу.

Таким чином, роздільна здатність акустооптичних спектроаналізаторів, заснована на застосуванні критерію Релея, значно менше потенційної роздільної здатності вимірювальної системи, яка, як відомо із загальної теорії радіолокації, визначається тривалістю імпульсу, або параметрами дифракційної решітки спектроаналізатора.

### 2.2.1. Аналіз причин виникнення джиттера і методи його вимірювання

Вимірювання параметрів джиттера стає все більш важливим у всьому життєвому циклі цифрових систем. В даний час проходить розробка та впровадження нових стандартів швидкої передачі даних (такі як InfiniBand, PCI Express, 10-Gigabit Ethernet і ін.) Зі швидкостями передачі інформації, що перевищують і значно 1 Гбіт / с. При таких швидкостях, враховуючи аналогову природу сигналу, для забезпечення достовірності сигналу необхідно виділити значну частину обчислювального ресурсу. Отримання результату, що викликає довіру, можливо при виконанні досить складних процедур налаштування відповідних елементів телекомунікаційної мережі.

Для більш точних вимірювань джиттера необхідно провести аналіз природи виникнення цього ефекту і його класифікацією.

Найчастіше джиттер викликається амплітудним і фазовим шумом, як внутрішнього, так і зовнішнього походження.

Зазвичай джиттер поділяють на два основні класи: випадковий (random jitter - RJ) і регулярний (deterministic jitter - DJ). Випадковий джиттер обумовлений стохастическими шумовими процесами, які існують у всій елементній базі і компонентах телекомунікаційної системи. Вважається, що для випадкового джиттера справеджліво розподіл Гаусса. Отже, такий джиттер характеризується відомими статистичними величинами: середнім значенням і среднеквадратическим відхиленням. Випадковий джиттера є наслідком таких фізичних процесів, як: - тепловий шум (thermal noise) - викликаний потоком електронів в провідниках і зростає зі збільшенням смуги пропускання, температури і теплового опору; - дробовий шум (shot noise) - шум електронів і дірок в напівпровідниках, який збільшується в залежності від струму зміщення і вимірюваної смуги частот; - шум мерехтіння (flicker noise) - шум, спектр якого обернено пропорційна частоті, т.зв. рожевий шум.

Регулярний джиттер викликається впливом на сигнал процесів, що відбуваються в обладнанні телекомунікаційної системи, а також, він може

проявитися в залежності від способів подання даних, що передаються. Системний джиттер залежить від характеристик цифрової системи.

Приклади джерел системного джиттера:

- перехресні перешкоди від випромінюваних або переданих сигналів;
- вплив дисперсії при поширенні сигналу;
- неузгодженість опорів.

Залежність появи джиттера від способу представлення даних найбільш істотна, коли схема кодування або інші характеристики переданих даних визивавют мережевий джиттер, що виявляється на стороні приймача. Джерелами джиттера, що залежить від даних є:

- міжсимвольні інтерференція;
- спотворення коефіцієнта заповнення імпульсної послідовності;
- періодичність псевдослучайной двійковій послідовності.

Дослідження джиттера в частотній області дозволяє визначити основні причини, що викликали його. Джерела детермінованого джиттера можна визначити аналізую лінійчатий (дискретний) спектр отриманого сигналу. При аналізі частотного спектра проводяться дослідження фазового шуму або спектра джиттера. В цьому випадку джиттер співвідноситься зі зрушенням частоти прийнятого сигналу щодо його несучої частоти. Дослідження фазового шуму дозволяють забезпечити максимально точну оцінку джиттера через істотно більшої частоти дискретизації сигналу і можливістю управління смугою частот. Легко визначити детермінований джиттер по піках на спектрі, використовуючи кварцові генератори з фазовим автопідстроюванням частоти.

Ще одним методом вивчення частотного джиттера є використання швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). Метод ШПФ не так точний, щоб вимірювати слабкий фазовий шум, але він не замінимо при необхідності швидкого і простого перегляду істотних процесів.

Взагалі, диференціація джиттера на компоненти не є способом його визначення, але вона важлива в практичній області - як для знаходження

причин несправностей, так і для оцінки надійності розробки. Якщо є можливість виділити детермінований джиттер, а в подальшому обчислити тренд середнє відхилення випадкового джиттера, то виникне можливість оцінки коефіцієнта бітових помилок (BER) і визначення меж працездатності системи, без використання тривалих вимірювань, які потрібні при визначенні BER з точність близько 10-12 з 95% вірогідністю.

Найбільш простим способом є оцінка джиттера по Глазкової діаграмі. Глазкова діаграма - це сумарний вид всіх бітових періодів вимірюваного сигналу, накладених один на одного. На рис. 1.5 представлена гістограма області переходу глазкової діаграми. По краях діаграми найбільший вплив робить випадковий джиттер, в той час як компоненти детермінованого джиттера переважають в центрі. Для визначення параметрів випадкового джиттера по краях гістограми треба "вписати" графіки функції Гаусса і по ним порахувати статистичні характеристики випадкового процесу (математичне очікування і дисперсію)

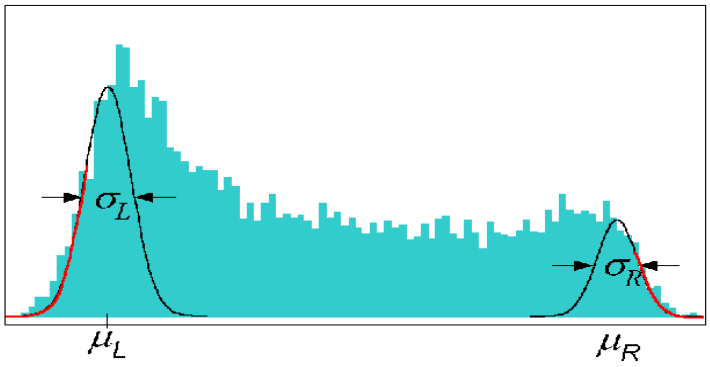



Рисунок.2.5 Гістограма області переходу глазкової діаграми

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. В даний час, широке застосування отримали акустооптичні спектроаналізатори, які дозволяють визначати спектр досліджуваного сигналу з високою швидкістю. У той же час, для вимірювання джиттера, як було зазначено вище важливою є висока роздільна

можливість цього пристрою. Подальші дослідження будуть присвячені оцінки роздільної здатності акустооптичних спектроаналізаторів при обліку когерентної взаємодії.

### 2.2.2 Основні співвідношення і формулювання

Структурна схема аналізатора спектра разом з основними аналітичними співвідношеннями, що характеризують процеси, що відбуваються в акустооптичних спектроаналізаторів, досить повно викладені в [22]. Скористаємося цими даними для постановки завдання дослідження взаємодії двох близьких по частоті монохроматичних радіосигналів і визначення граничних значень роздільної здатності акустооптичних спектроаналізаторів. $s(t)$, який перетворюється в біжучий акустичну хвилю $r(x_i) \cdot s\left(t - \frac{x_1 + D/2}{v}\right)$, що поширюється зі швидкістю $v$. У лінійному наближенні поле світлової хвилі першого дифракційного порядку представляється у вигляді:

$$E_1(x_1, t) = Ar(x_1) \cdot s\left(t - \frac{x_1 + D/2}{v}\right) exp[i(\omega_L t - k_L z_1 + k_L x_1 tg\theta)] \quad (2.14)$$

де $A$ характеризує модулирующее вплив акустичної хвилі на що проходить через акустооптичний модулятор лазерне випромінювання.

У вихідний площині акустооптичного спектроаналізатора поле буде записуватися у вигляді

$$E_2(x_2, t) = \int dx_1 E_1(x_1, t) exp\left(i \frac{2\pi}{\lambda F} x_1 x_2\right) \quad (2.15)$$

Використовуючи вираз (1.14), формулу (1.15) можна перетворити до вигляду

$$E_2(x_2, t) = Avexp(-i\omega_x T/2) \int_0^T d\tau \exp(-i\omega_x \tau) \cdot s(t - \tau) \quad (2.16)$$

де опущений несуттєвий множник $exp[i(\omega_L t - k_L z_1)]$ і введено позначення

$\omega_x = v\left(i\frac{2\pi}{\lambda F}x_2 + k_L x_1 tg\theta_1\right)$, а $T = \frac{D}{v}$ – тривалість тимчасової вибірки, відповідаючий тимчасовій апертурі $D$. В формулі і всюди нижче явно відображена залежність поля $E_2$ от $x_2$ за допомогою $\omega_x = \omega(x_2)$.

4. Дозвіл двох монохроматичних радіосигналів

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

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

де

$$S_a(t) = \sin(\omega_a + \phi_a). \tag{2.17}$$

Підстановка (2.17) в (2.16) дає:

$$E_2(\omega_x, t) = E^{(1)}(\omega_x, t) + E^{(2)}(\omega_x, t), \tag{2.18}$$

де доданок $E^{(a)}(\omega_x, t)$ – відповідне відгуку на $a$ -й вхідний радіосигнал (a=1,2).

Таким чином, з огляду на нелінійність елементів пристрою, що реєструє, а також в силу (1.5) сумарний реєстрований сигнал можна записати у вигляді

$$U(\omega_x, t) = U_1(\omega_x, t) + U_2(\omega_x, t) + U_{1,2}(\omega_x, t), \tag{2.19}$$

де

$$U_a(\omega_x, t) = |E_2^a(\omega_x, t)|^2 \tag{2.20}$$

є вхідний сигнал при наявності на вході тільки $a$-го сигналу, а третій доданок:

$$U_{1,2}(\omega_x, t) = E^{(1)}(\omega_x, t) * \overline{E^{(2)}(\omega_x, t)} \tag{2 .21}$$

виникає як результат інтерференції перших двох (риса зверху означає комплексне сполучення). На відміну від [23] ми не проводили інтегрування за часом амплітуди прийнятого сигналу. Таким чином, були враховані особливості акустооптичного спектроаналізатора як пристрої, в якому відбувається взаємодія когерентних сигналів.

5. Чисельні розрахунки і обговорення результатів

Найбільш суттєві якісні та кількісні характеристики частотного дозволу можна бачити вже на прикладі двох монохроматичних сигналів, що відрізняються тільки несучими частотами.

Рис. 2.6 ілюструє результати розрахунку за формулами (2.20), (2.21) вихідного сигналу при значній величині розладу частот монохроматичних радіосигналів. Очевидно, що в цьому випадку можна зробити дозвіл радіосигналів і традиційним методом (наприклад, [22-24]). Авторів більше цікавить величина дифракційної плями $\omega_{x_{1,2}}$. З огляду на специфічності умов поширення радіосигналів в акустооптичних спектроаналізаторів кожному вхідному сигналу на певній частоті відповідає не тільки своє значення $\omega_x$ , але і власна ширина дифракційної плями $\Delta\omega_x$ . Це можна перевірити під час градуювання акустооптичного спектроаналізатора. Таким чином, існує можливість значно підвищити роздільну здатність акустооптичного спектроаналізатора, так як кожному значенню частоти вхідного сигналу відповідає два незалежні параметри.

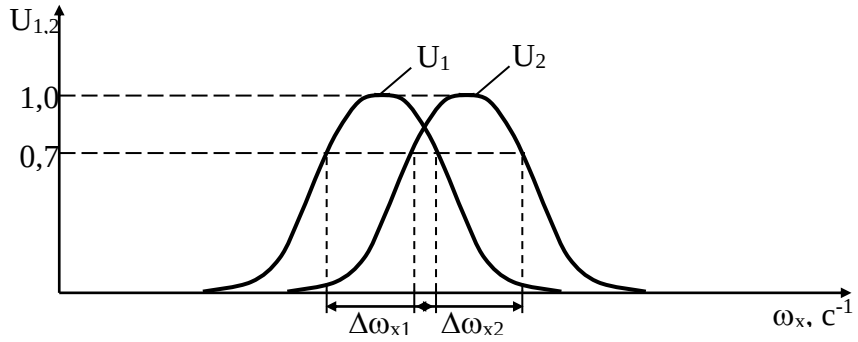



Рисунок 2.6. Вихідний сигнал при великому значенні расстройки несучої частоти

На рис. 1.7 представлені результати розрахунків вихідного сигналу при малому значенні розладу частоти вхідних радіосигналів.

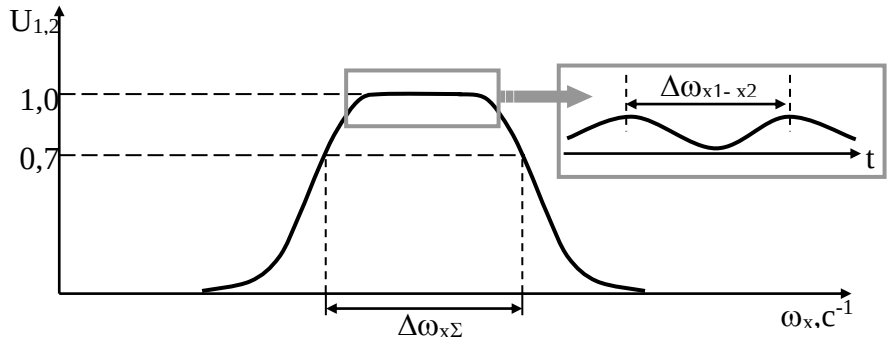



Рисунок 2.7. Вихідний сигнал при малому значенні расстройки несучої частоти

Головна відмінність цих розрахунків від проведених в [24] полягає в тому, що в загальній частині двох радіосигналів на різних частотах можна виявити флуктуації амплітуди вихідного сигналу з частотами набагато нижче несучих частот досліджуваних монохроматичних радіосигналів. Розрахунки (2.7), (2.8) проводилися без інтегрування за часом, що дозволило виявити, визначити і ідентифікувати биття, тобто коливання на комбінаційних частотах, що неможливо при припущеннях, на яких базувалися попередні дослідження. Тоді вимірюючи і аналізуючи значення $\Delta\omega_{x\Sigma}$ та частоти биття $\Delta\omega_{x1-x2}$ можна значно підвищити роздільну здатність акустооптичного спектроаналізатора по частоті.

Для цього необхідно, по-перше, час від часу проводити градуювання акустооптичного спектроаналізатора як $\Delta\omega_x = f(s(t))$, тобто як функцію вхідного сигналу, а також виділяти максимальне значення розладу несучої частоти (биття). Цей алгоритм може дозволити наблизити граничні значення роздільної здатності радіосигналів по частоті акустооптичні спектроаналізаторів до значень, які передбачаються загальною теорією радіолокації.

В результаті проведених в цій роботі досліджень був запропонований спосіб підвищення роздільної здатності когерентних акустооптичних спектроаналізаторів за рахунок особливості когерентної взаємодії сигналів.

Використання способу підвищення роздільної здатності акустооптичних спектроаналізаторів за рахунок особливості когерентної взаємодії сигналів при обчисленні джиттера дозволить істотно підвищити контроль за якістю передачі сигналу по каналах передачі даних телекомунікаційної мережі, що, безсумнівно, дасть передумови для підвищення показників якості всієї комп'ютерної системи. Запропонований метод оперативного розрахунку значення джиттера телекомунікаційної мережі дозволить провести динамічну перенастроювання мережевих параметрів.

У підрозділі проведено аналіз впливу нестаціонарності передачі даних в телекомунікаційній підсистемі, досліджуваної автоматизованої системи. Досліджено роль джиттера на якість передачі інформації в телекомунікаційній мережі. Проведено класифікацію джиттера і причини, що призводять до його виникнення. Наведено результати аналізу факторів, що поліпшують якість передачі даних в мережі за рахунок оперативного обчислення частотного джиттера. В роботі проведені дослідження особливостей роздільної здатності когерентних акустооптичних спектроаналізаторів. Отримано аналітичні співвідношення для вихідного сигналу при двох монохроматичних радіосигналах на вході, що враховують ефекти нелінійної взаємодії вихідних сигналів і апріорну залежність розташування і ширини дифракційної плями від частоти досліджуваного сигналу. Наведені аналітичні співвідношення були експериментально перевірені за допомогою імітаційного моделювання системи. Результати моделювання підтвердили їх узгодження з отриманими раніше теоретичними. В результаті досліджень було запропоновано спосіб підвищення роздільної здатності акустооптичних спектроаналізаторів за рахунок особливостей когерентної взаємодії сигналів в процесі обчислення частотного джиттера. На його базі розроблено метод оперативного розрахунку значення джиттера телекомунікаційної мережі, який дозволяє провести динамічну перенастроювання мережевих параметрів.

Подальші дослідження бажано присвятити вивченню методів підвищення роздільної здатності акустооптичних спектроаналізаторів до теоретично максимально можливих меж, використовуючи методи оптимальної обробки сигналів. Це дозволить підвищити якість динамічної перенастроювання мережевих параметрів.

## 2.3. Засоби поліпшення якості обслуговування комп'ютерної мережі інформаційної системи судової експертизи

В даний час 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 якість виконуваних експертиз, знизити вплив людського фактору на прийняття експертних рішень, істотно скоротити час, необхідний на проведення експертизи [13, 14].

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, фон-дах, 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.

Для обміну інформацією в інформаційних системах судово-експертної діяльності використовуються як локальні комп'ютерні мережі, наприклад, при здійсненні криміналістичної реєстрації, так і глобальна мережа Інтернет.

У багатьох судово-експертних установ, як державних, так і негосподарчих, існують власні сайти, де можна отримати дуже корисну інформацію.

Одна з найбільш важливих підсистем цієї системи - телекомунікаційна система передачі інформації. Телекомунікаційна система призначена для надійної передачі даних і інформації, необхідних при дослідженні первинних матеріалів експертизи, а також відіграє важливу роль в процесі прийняття рішень з питань експертизи. Тому перед телекомунікаційною системою стоять дуже жорсткі вимоги, і вона повинна задовольняти відповідним обмеженням. Тільки виконання цих умов дозволить всій інформаційній системі вирішити поставлені перед нею завдання [25].

У сучасній судово-експертній практиці комп'ютерні мережі (КС) є невід'ємною частиною комп'ютерно-технічної експертизи, тому забезпечення їх нормального функціонування стає надзвичайно важливим завданням. Це змушує користувачів ставити питання про ефективність систем контроля, захисту та передачі інформації.

Комп'ютерно-технічна та телекомунікаційна судові експертизи мають особливості, що важко піддаються документуванню засобами класичного збереження офіційної інформації. Така ситуація обумовлена стрімким зростанням обсягу і різноманітності запам'ятовуючих пристроїв на світовому ринку, які можуть використовуватися для зберігання цифрової інформації різними користувачами. Тільки в експертної спеціальності 10.9 «Дослідження комп'ютерної техніки та програмних продуктів» можна нарахувати сотні тисяч можливих видів об'єктів дослідження, більшість з яких потребують індивідуального підходу, тому що кожен з об'єктів - унікальний за параметрами виготовлення і використання. Кожен з цих об'єктів дослідження має індивідуальні особливості, які необхідно враховувати при проведенні експертних досліджень. Так, дві версії одного і того ж програмного продукту можуть мати різні індивідуальні особливості і, відповідно, створювати різні артефакти. Все частіше судовим експертам необхідно отримувати надшвидкий доступ до інформації - скомпонованої та

перевіреної. Експерт витрачає чимало часу на пошук друкованих та електронних джерел інформації, що значно збільшує термін виконання експертиз.

З огляду на вищевикладене, фахівцями сектора комп'ютерно-технічних і телекомунікаційних досліджень Харківського НДІ судових експертиз ім. Засл. Проф. М.С. Бокаріуса була розроблена судово-експертна «Автоматизована система накопичення емпіричних даних по практиці комп'ютерно-технічних експертиз». Розроблена система вимагає динамічною, швидко наповнюється, простий в експлуатації і легкодоступною системи, здатної зберігати зазначену вище інформацію у великих обсягів по-мах і організовувати доступ до неї. З огляду на характер інформації, час доступу до неї має бути мінімальним, що можливо здійснити, використовуючи високошвидкісний Internet.

Постановка задачі.

Широке застосування цифрових систем і технологій передачі інформації крім значного числа нових можливостей, що відкриваються з використанням нових принципів зв'язку, породило велику кількість проблем, викликаних особливостями передачі сигналів в цифровому вигляді. Це відноситься і до діяльності експертного співтовариства, яке повинно проводити контроль за поточним станом каналів зв’язку, можливістю несанкціонованого доступу до них, а також до інформації, що передається цими каналами. У зв'язку з цим в теорії побудови, модифікації і експлуатації цифрових телекомунікаційних систем виникає досить загальна проблема по цифровій обробці сигналів, синхронізації мережі та її стабільності.

Вирішенню даної складної і багатогранної проблеми були присвячені численні дослідження, які аналізували характеристики стабільності функціонування мережі і пропонували методи вимірювання фізичних параметрів, що визначають її. Багато з проведених досліджень ґрунтувалися на використанні частотних вимірювань в каналах зв'язку для аналізу процесів в комп'ютерних мережах передачі даних. Адже підвищення точності

вимірювань частоти передавача і приймача в каналі зв'язку, дозволить знизити втрати інформації і підвищити швидкість і достовірність передачі даних, що істотно підвищить показники якості обслуговування (QoS) комп'ютерних мереж.

В даний час існує декілька підходів до методики вимірювання частоти досліджуваного сигналу. Незважаючи на те, що сьогодні акустооптичні методи конкурують з цифровою технікою, темпи розвитку якої дозволяють ефективно вирішувати ряд завдань обробки інформації, існують завдання, в яких цифрові засоби поступаються акустооптичні. Цифрова техніка, на відміну від акустооптичного прилада, не здатна забезпечити широку миттєву смугу аналізу радіосигналів з прийнятним частотним дозволом.

Завдяки високому значенню смуги аналізованих одночасно частот, роздільної здатності по частоті і часу прибуття сигналу акустооптичні аналізатори знаходять широке застосування в систем радіоелектронної боротьби, радіолокації, для спектрального і кореляційного аналізу сигналів і вирішення інших завдань обробки інформації, де потрібна висока швидкість виконання математичних перетворень .

Акустооптіческіе аналізатори спектра (АОАС) можливо застосовувати і в мережах передачі інформації, в тому числі і в мережах інформаційної системи судової експертизи. Застосування цих пристроїв дозволить підвищити показники QoS комп'ютерних мереж системи судової експертизи. Але на увазі швидкого збільшення кількості користувачів радіочастотного простору та обмеженості частотного ресурсу, згідно [30], виникає питання модернізації існуючих систем спектрального аналізу. І особливе місце серед техніки спектрального аналізу відводиться акустооптичному аналізатору спектра. Існуючі АОАС мають досить високими показниками роздільної здатності по частоті, але все ж вони не досягли своїх теоретичних обмежень [39-51].

Використання переваг безпошукове спектрального аналізу і розширення смуги одночасно аналізованих частот в акустооптичних

аналізаторах спектра обумовлює необхідність більш глиб-кого аналізу їх роздільної здатності.

Таким чином, підвищення якості показники QoS комп'ютерних мереж системи судової експертизи за рахунок підвищення роздільної здатності акустооптичного спектроаналізатора є актуальним завданням дослідження.

Дослідженню факторів, що впливають на QoS комп'ютерних мереж приділено велику увагу [4-21]. Дослідження впливу пропускної здатності каналів передачі даних проведено в [4-6]. Аналіз [7, 8] впливу архітектури комп'ютерних систем і комп'ютерних мереж було проведено в роботах [4, 5, 7, 8]. Роботи [9-14] присвячені аналізу черг пакетів і розробці комплексного підходу діагностики QoS комп'ютерних систем і мереж. Крім того, окремо стоїть питання про взаємозв'язок показників QoS і виконанні вимог до транзакцій комп'ютерної системи [15-20]. В [21] виділені основні параметри базової телекомунікаційної мережі, що впливають на якість виконання транзакцій копьютерної системи. Зокрема, показано, що при виборі спеціальних платформ з централізованим управлінням (конвергентні та гіперконвергентние) істотну роль грає синхронізація комп'ютерної системи. Для забезпечення необхідного рівня синхронізації необхідно проводити контроль стійкості функціонування генераторів комп'ютерної системи .. В роботі [25] розроблено метод оперативного розрахунку значення джиттера телекомунікаційної мережі на основі методу підвищення роздільної здатності акустооптичних спектроаналізаторів, який дозволяє провести динамічну перенастроювання мережевих параметрів. В роботі [31] розроблено метод діагностики порушень синхронізації телекомунікаційної мережі комп'ютерної системи критичного застосування за рахунок підвищення роздільної здатності акустооптичного спектроаналізатора.

Метою підрозділу є підвищення якості діагностики параметрів комп'ютерних мереж передачі інформації на базі використання розробленої методики обробки сигналів в акустооптичних аналізаторах спектра, яка

дозволяє підвищити роздільну здатність АОАС за рахунок підвищення дозволу по частоті двох неодночасних радіоімпульсів великої тривалості.

Досить актуальним є питання покращення тактико-технічних характеристик засобів радіо-частотного аналізу. Одним з перспективних класів засобів радіочастотного моніторингу є акустооптичні аналізатори спектра.

Оптимізації роботи акустооптичних аналізаторів спектра присвячена досить велика кількість робіт.

Так, в [32] проаналізовано можливість підвищення точності вимірювання середньої частоти спектра сигналів в акустооптичних спектроаналізаторів з просторово - неінваріантни апаратної функцією.

Умови формування оптимальної оцінки параметрів оптичних сигналів при їх акустооптичні перетворення розглянуті в [33].

В [34] розглядається задача знаходження додаткової обробки сигналу для компенсації одночасно як нелінійної залежності ефективності акустооптичного перетворення, так і зменшення амплітуди спектральних складових.

Можливість зменшення часу отримання оцінки спектра розглядається в [35]. Автори запропонували методи формування квадратурних компонент, які дозволяють скоротити час отримання оцінки спектра в інтерференціонних акустооптичних спектроаналізаторів, а також при необхідності спростити їх реалізацію.

Серед достоїнств акустооптичних пристроїв в порівнянні з чисто електронними аналогами автори статті [36] виділяють такі, як простота, менші габарити, енергоспоживання і вартість. При цьому до їх недоліків відносять порівняно низький динамічний діапазон, пов'язаний з нелінійністю АТ взаємодії.

### 2.3.1. Основні співвідношення і формулювання.

Будемо вважати, що на радіотехнічний комплекс, що включає в себе акустооптичний аналізатор спектру, надходять два імпульсу однаковою тривалості $\tau_i$, перший в інтервалі часу $t_1$ та $t_2$, а другий в інтервалі $t_3$ та $t_4$, при цьому $\tau_i \gg \frac{D}{v}$, тобто імпульси великої тривалості, з частотами заповнення $\omega_1$ и $\omega_2$, такими, що $\omega_1 - \omega_2 \ll \omega_{1,2}$ (рис. 1.8).

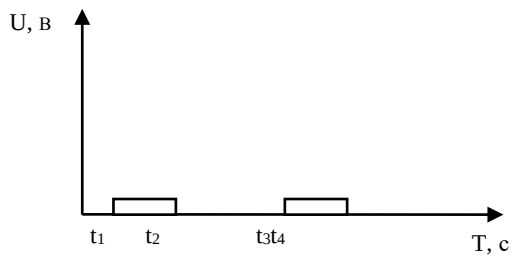



Рисунок 2.8 Вхідний сигнал (два тривалих імпульса)
з близькими несущими частотами)

На виході акустооптичного аналізатора спектра спектри аналізованих імпульсів матимуть вигляд, представлений на рис. 2.9 (суцільними лініями зображені спектри кожного імпульсу окремо, а штриховий - результуюча спектра). Ясно, що точність вимірювання частоти буде визначатися величиною $\delta\omega_{\text{вим}}$, яка залежить від параметрів акустооптичного аналізатора спектра. Цю залежність можна оцінити як $\delta\omega_{\text{вим}} = 2\frac{\pi}{a}$, де $a$ – параметр, що характеризує дифракційні характеристики аналізатора спектра. Таким чином, видно, що два імпульсу, що прийшли в різні інтервали часу з близькими значеннями по частоті $\omega_1 - \omega_2 < \delta\omega_{\text{вим}}$, не можуть бути помітні на підставі критерію Релея.

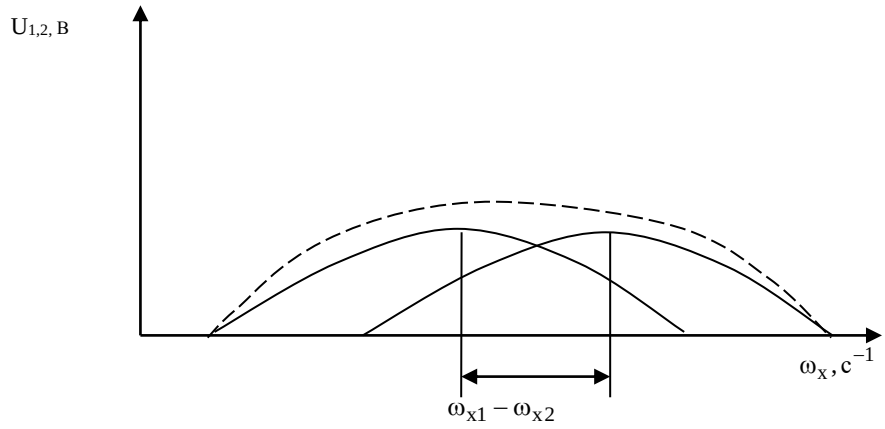



Рис. 2.9. Вихідні сигнали імпульсів при малій расстройке частоти

Але, як було зазначено вище, такі імпульси досить часто необхідно розрізняти, тобто вимірювати частоту з точністю, значно перевищуючу точність вимірювань традиційними методами.

Для вирішення цього завдання скористаємося методикою обробки радіолокаційних сигналів [34], яка в радіолокації дозволяє визначати час запізнювання приходу досить довгого імпульсу з точністю, що значно перевищує розміри імпульсу. Вона ґрунтується на тому, що при інтегруванні імпульсного сигналу по стробу змінного знаку та подальшого підсумовування можна отримати значення математичного очікування часу приходу сигналу з дисперсією, значно меншою тривалості імпульсу.

У даній роботі цей підхід буде поширений і на вимір просторового спектра в акустооптичних аналізаторах спектра.

На рис. 2.10 представлений найбільш простий випадок, коли строб має вигляд двох східчастих функцій: позитивної і негативної. Вісі $\omega_x, c^{-1}$ и *T*, *c* є по суті тотожними, так як рахунок потоку фотоелектронів, є, взагалі кажучи, функцією часу. Структурна схема пристрою, в якому реалізується пропонована методика, представлена на рис.2.11.

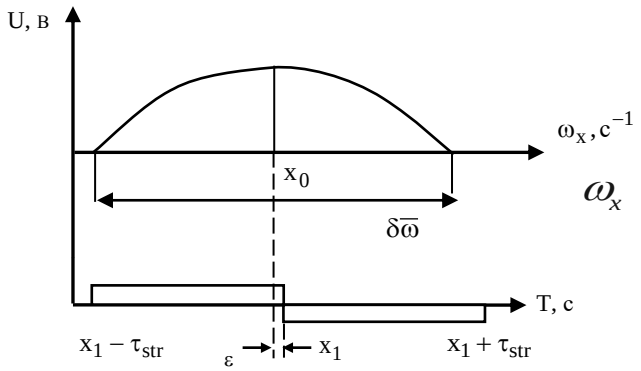



Рис.2.10 Стробування розподілу спектра двома східчастими імпульсами

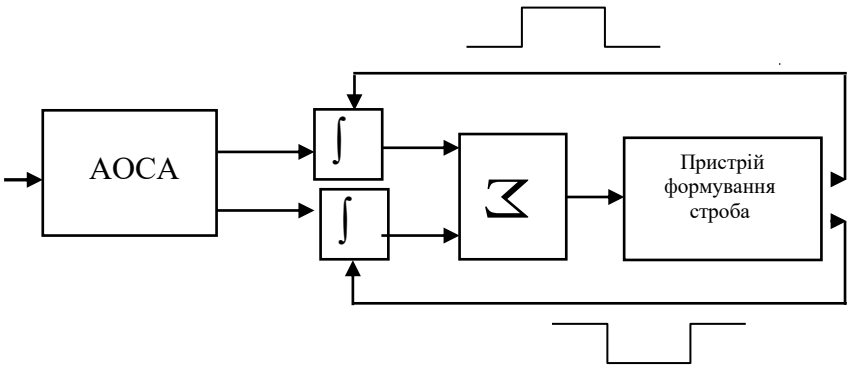



Рисунок 2.11 Структурна схема пристрою обробки спектральної інформації для підвищення роздільної здатності акустооптического анализатора спектра

Як видно, на рис. 2.10, 2.11 обробка радіолокаційного сигналу зводиться до інтегрування сигналу по стробу змінного знаку і тоді інтеграл по всьому стробу можна замінити сумою двох інтегралів

$I = I_1 + I_2,$

де інтеграли $I_1$ і $I_2$ можливо представити у вигляді:

$$I_1 = \int_{x_1-\tau_{str}}^{x_1} rect\left(x_1 - {}^{\tau_{str}}/_2\right)c\ dx \qquad (2.22)$$

$$I_2 = -\int_{x_1}^{x_{1+\tau_{str}}} rect\left(x_1 + {}^{\tau_{str}}/_2\right)\overline{n(x)}\ dx, \qquad (2.23)$$

де $rect(x_1)$ – прямоугольна імпульсна функція; $\widetilde{n(x)} = n_s(x) + n_n(x)$ – щільність розподілу потоку фотоелектронів; $n_s(x)$ – щільність розподілу потоку сигнальних фотоелектронів; $n_n(x)$ – щільність розподілу потоку завадових фотоелектронів.

Для середніх значень потоку фотоелектронів справедливо наступне співвідношення:

$$\overline{\widetilde{n(x)}} = N_s + N_n, \tag{2.24}$$

Де $N_s$ і $N_n$– середні значення швидкості рахунку по частоті сигнальних і завадових фотоелектронів, відповідно.

Як відомо [35], щільність розподілу потоку сигнальних фотоелектронів в акустооптичних аналізаторах спектра підпорядковується такому закону розподілу:

$$n_s(x) \cong N_{s0} \frac{sin^2 a(x-x_0)}{[a(x-x_0)]^2}, \tag{2.25}$$

а середнє значення помехових фотоелектронів постійно на всьому інтервалі вимірювання частоти.

Інтеграли $I_1$ і $I_2$ в свою чергу можна представити як суму двох інтегралів кожен, відповідно:

$I_1 = A_1 + B_1$; $I_2 = A_2 + B_2$,где $A_i$ – інтеграли, що описують поведінку сигнальної складової потоку фотоелектронів, а $B_i$ – зававодової:

$$A_i = \int_{\tau_{str}} n_s(x)dx\ , \tag{2.26}$$

$$B_i = \int_{\tau_{str}} n_n(x)dx, \tag{2.27}$$

де позначення $\int_{\tau_{str}} n_n(x)dx$ відповідає інтегруванню потоку фотоелектронів по стробу.

Тоді можна скласти вираз для функції, яка описує процес обробки спектра як $|I_2 - I_1| = (x_1 - x_0)N_{S0}$. Введемо значення відхилення $x_1$ від $x_0$ як $\varepsilon$. Алгоритм обработки можна представити, як

$$A_1 - A_2 + B_1 - B_2 = 2\varepsilon N_{S0}. \tag{2.28}$$

Спрямуємо вираз $\varepsilon$ до нуля, тоді і $x_i \to x_0$, тобто межа стрибає буде відповідати математичного сподівання спектральної лінії. Тоді величина середнього відхилення $\varepsilon$ ε відповідно до (1.28) набуде вигляду

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\overline{A_1} - \overline{A_2} + \overline{B_1} - \overline{B_2}}{2N_{S0}.} \tag{2.29}$$

Проведемо аналіз дисперсії величини відхилення $x_1$ від $x_0$ в умовах пропонованої обробки спектральної інформації. Добре відомо, що $Д[\varepsilon] = Д\,|I_2 - I_1| = Д\,|I_1| + Д\,|I_2|$ або, враховуючи співвідношення (2.27, 2.28):

$$Д[\varepsilon] = Д\left[\frac{A_1}{2N_{S0}}\right] + Д\left[\frac{A_2}{2N_{S0}}\right] + Д\left[\frac{B_1}{2N_{S0}}\right] + Д\left[\frac{B_2}{2N_{S0}}\right]. \tag{2.30}$$

Якщо вважати, що вид просторового спектра симетричний, то для спрощення аналізу можна допустити, що $Д[A_1] = Д[A_2]$ і $Д[B_1] = Д[B_2]$

Тоді вираз для дисперсії $\varepsilon$ можна переписати у вигляді

$$Д[\varepsilon] = 2Д\left[\frac{A_1}{2N_{S0}}\right] + 2Д\left[\frac{B_1}{2N_{S0}}\right]. \tag{2.31}$$

Для знаходження дисперсії величини ε проаналізуймо кожен з доданків вирази (2.31). З огляду на, що постійні коефіцієнти можна виносити з-під

знака дисперсії, звівши їх до другого степеня, уявімо перший доданок у вигляді (2.31):

$$Д\left[\frac{A_1}{2N_{S0}}\right] = \frac{1}{2N^2{}_{S0}} Д[A_1] = \frac{1}{2N^2{}_{S0}} Д \int_{x_1-\tau_{str}}^{x_1} n_s(x)dx. \qquad (2.32)$$

Вираз (2.31) включає дисперсію від інтеграла потоку сигнальних фотоелектронів по стробу. Для подальшого аналізу виразу (2.32) необхідно зазначити, що потік сигнальних фотоелектронів в акустооптичних аналізаторі спектра, як відомо, описується розподілом Пуассона. Але одним з основних властивостей випадкових величин, розподілених за законом Пуассона, є відсутність взаємної кореляції складових пуассоновским потоку, тобто кожне значення реалізації $n_s(x)$, що входить в інтеграл (2.32), можна вважати незалежним від попереднього і наступного. З огляду на вищесказане, інтеграл можна представити нескінченної сумою взаємно незалежних складових потоку сигнальних фотоелектронів. З огляду на те, що дисперсія суми, хоч і нескінченною, дорівнює сумі дисперсій, то дисперсію можна внести під знак інтеграла

$$Д\left[\frac{A_1}{2N_{S0}}\right] = \frac{1}{4N^2{}_{S0}} \int_{x_1-\tau_{str}}^{x_1} Д[\, n_s(x)]\, dx. \qquad (2.33)$$

Підставами в (2.33) вираз (2.25) і отримаємо вираз

$$Д\left[\frac{A_1}{2N_{S0}}\right] = \frac{1}{4N^2{}_{S0}} \int_{x_1-\tau_{str}}^{x_1} Д\left[\, n_s(x) N_{s0} \frac{sin^2 a(x-x_0)}{[a(x-x_0)]^2}\right] dx. \qquad (2.34)$$

Відношення $\sin(x)/_x$ в натуральному вираженні (2.34) є постійним, тобто що не змінюються від реалізації до реалізації і тому його теж можна винести за знак дисперсії

$$Д\left[\frac{A_1}{2N_{S0}}\right] = \frac{1}{4N^2{}_{S0}}\int_{x_1-\tau_{str}}^{x_1}\frac{sin^4 a(x-x_0)}{[a(x-x_0)]^4}Д[\,n_s(x)N_{s0}]\,dx \qquad (2.35)$$

Так як для розподілу Пуассона характерно рівність математичного очікування і дисперсії, вираз для дисперсії (2.35) можна остаточно представити у вигляді:

$$Д\left[\frac{A_1}{2N_{S0}}\right] = \frac{1}{4N^2{}_{S0}}\int_{x_1-\tau_{str}}^{x_1}\frac{sin^4 a(x-x_0)}{[a(x-x_0)]^4}N_{s0}\,dx, \qquad (2.36)$$

Отриманий інтеграл легко зводиться до табличного, і в результаті ми отримуємо

$$Д\left[\frac{A_1}{2N_{S0}}\right] = \frac{\pi}{3aN_{S0}}. \qquad (2.37)$$

Використовуючи співвідношенням між $a$ и $\delta\omega_{вим}$, вираз (2.37) можна представити у вигляді

$$Д\left[\frac{A_1}{2N_{S0}}\right] = \frac{\delta\omega_{вим}}{6N_{S0}}. \qquad (2.38)$$

При множенні чисельника і знаменника у виразі (2.38) і враховуючи рівність дисперсій по симетричному стробу для дисперсії сигнальної компоненти, отримаємо відповідний вираз

$$Д\left[\frac{A_1}{2N_{S0}}\right] = \frac{\delta\omega_{вим}}{3W_s}, \qquad (2.39)$$

де $W_s$ – енергія вимірюваного оптичного сигналу ($W_s$ – безрозмірна величина, так як в нашому випадку під енергією оптичного сигналу мається на увазі загальне число фотонів).

Провівши аналогічні міркування, можна отримати вираз і для дисперсії, обумовленої помеховой складової потоку фотоелектронів:

$$Д\left[\frac{B}{2N_{So}}\right] = \frac{N_n}{N_{So}}\frac{\delta\omega^2_{вим}}{W_s}. \quad (2.40)$$

Таким чином, дисперсія вимірювання частоти сигналу набуває вигляду

$$Д[\varepsilon] = \frac{\delta\omega^2_{вим}}{W_s}\left(\frac{1}{3} + \frac{N_n}{N_{So}}\right). \quad (2.41)$$

З (2.41) видно, що дисперсія вимірювання частоти сигналу пропорційна ширині вимірюваного спектра і обернено пропорційна енергії сигналу. Але в той же час з (2.41) видно, що і при відсутності помеховой складової дисперсія вимірювання частоти сигналу буде відмінна від нуля через квантового характеру процесів, що протікають в акустооптичних аналізаторі спектра. Очевидно, що збільшуючи енергію оптичного потоку, можна досягти співвідношення: $Д[\varepsilon] \ll \delta\omega^2_{вим}$ , що дозволить значно точніше вимірювати частоту радіоімпульсу великої тривалості.

Таким чином, в результаті використання запропонованої методики обробки сигналів в акустооптичних аналізаторах спектра їх роздільна здатність може бути значно поліпшена в порівнянні з методиками, заснованими на використанні критерію Релея.

Висновки. У підрозділі проаналізовано основні причини, що впливають на показники якості обслуговування (QoS) комп'ютерних мереж системи судової експертизи. Розглянуто особливості використання АОАС для тестування каналів зв'язку комп'ютерної мережі інформаційної системи суднової експертизи.

Також в підрозділі пропонується методика обробки сигналів в акустооптичних аналізатора спектра. Ця методика дозволяє підвищити роздільну здатність АОАС за рахунок того, що при інтегруванні імпульсного сигналу по стробу змінного знаку та подальшого підсумовування можна отримати значення математичного очікування часу приходу сигналу з дисперсією, значно меншою тривалості імпульсу. У пропонованому випадку ця методика буде поширена і на вимір просторового спектра в

акустооптичних аналізаторах спектра. З урахуванням того, що потік сигнальних фотоелектронів в акустооптичних аналізаторі спектра описується розподілом Пуассона, досягається точність вимірювання частоти, яка визначається співвідношенням $Д[\varepsilon] << \delta\omega^2_{изм}$, що дозволяють істотно збільшити точність вимірювання частоти в каналі передачі інформації КС, що в свою чергу забезпечує істотне підвищення показників QoS комп'ютерних мереж системи судової експертизи

Існуючі апаратні обмеження роздільної здатності акустооптичних аналізаторів спектра, засновані на критерії Релея, не є граничними. За допомогою різноманітних методик обробки сигналів можна істотно підвищити роздільну здатність по частоті акустооптичних аналізаторів спектра.

Подальші дослідження необхідно спрямувати на розробку оптимальних алгоритмів вимірювання частоти оптичного сигналу в акустооптичних аналізаторах спектра.

## 2.4. Метод підвищення показників якості розподіленої інформаційної системи судової експертизи

На даний момент в сучасному світі функціонує колосальну кількість готових до використання інформаційно-обчислювальних ресурсів, які були створені в різний час. Для їх розробки використовувалися різні підходи. У більшості випадків при розробці більш нової інформаційної системи можна знайти і застосувати вже готові за своїми функціями, вже працюють готові компоненти. Проблема полягає в тому, що при їх створенні не враховувалися вимоги сумісності. Ці компоненти не розуміють один одного, вони не можуть працювати спільно. Бажано мати механізм або набір механізмів, які дозволять зробити такі незалежно розроблені інформаційно-обчислювальні ресурси сумісними. Головним завданням таких інформаційно-обчислювальних ресурсів є, перш за все, полегшений доступ до віддалених

ресурсів і контроль спільного використання цих ресурсів (комп'ютерів, файлів, даних в базі даних (БД). Якраз до таких ресурсів відносяться різноманітні розподілені інформаційні системи (РІС).

Набір з'єднаних каналами зв'язку комп'ютерів може розглядатися як програмний модуль (додаток), що виконується в рамках окремого процесу. Користувачі і додатки одноманітно працюють в РІС незалежно від того, де і коли відбувається ця взаємодія. Для цього РІС повинні мати такі характеристики, як приховування від користувачів відмінностей між комп'ютерами і способів зв'язку між ними. Іншою важливою характеристикою РІС є спосіб, за допомогою якого забезпечується однакова робота користувачів (і додатків) в РІС. РІС повинна відповідати таким вимогам: - прозорість; - відкритість; - гнучкість; - масштабованість (розширюваність). У цих вимогах фіксуються два істотні моменти: автономність вузлів РІС і уявлення системи користувачем, як єдиної структури. При цьому основною сполучною ланкою РІС є програмне забезпечення. Різноманітне програмне забезпечення швидко розвивається і проникає в усі сфери людської діяльності. Не є винятком і судова експертиза.

Розподілений характер інформаційних систем судової експертизи і значимість інформації, що обробляється системою, пред'являють підвищені вимоги як до структури самої системи, так і до якості передачі даних між різними підсистемами. Подоланню цих проблем було присвячено велике число досліджень [4, 7-10, 14, 16, 39, 42].

Значне місце в цих дослідженнях займає аналіз впливу якості телекомунікаційного обладнання на функціонування РІС судової експертизи. Проведені в цих роботах дослідження встановили, що для підвищення ефективності роботи РІС судової експертизи необхідно забезпечити високу якість функціонування комп'ютерної мережі інформаційної системи, що не представляється можливим без удосконалення відповідного обладнання [8, 14, 16-18, 21, 24, 25].

Отже, вдосконалення існуючих систем передачі інформації і проектування нових телекомунікаційних систем є актуальним завданням для підвищення якості обслуговування всієї ІС судової експертизи.

Метою даної статті є аналіз існуючих моделей і типів інформаційних систем судової експертизи і можливість підвищення показників QoS комп'ютерної мережі за рахунок досягнення потенційної точності оцінювання частот двох одночасно прийшли радиоимпульсов при використанні методу сверхрелеевского дозволу в акустооптичних аналізаторах спектра.

Для вирішення цього завдання необхідно вирішити ряд приватних завдань:

1. Проаналізувати різні інформаційні системи судової експертизи і завдання, які вони вирішують.

2. Провести аналіз використання АОАС для визначення параметрів сигналу, що передається в розподіленої системі судової експертизи.

3. Отримати аналітичний вираз для оцінки потенційної точності величини розладу по частоті двох імпульсів.

### 2.4.1. Аналіз можливості використання АОАС для визначення параметрів сигналу в комп'ютерній мережі.

Для успішного вирішення завдання електромагнітної сумісності великої кількості існуючих в даний час різноманітних комплексів зв'язку, радіонавігації і радіолокації необхідно максимально точно, в реальному масштабі часу визначати параметри джерел радіовипромінювання. Завдання вимірювання параметрів поширюються сигналів ускладнюється тим, що сучасні радіотехнічні комплекси під час роботи можуть змінювати основні параметри випромінювання, такі як: частота, тривалість імпульсу, період проходження імпульсів і багато інших. Для оперативного розпізнавання і визначення параметрів радіосигналів все частіше використовуються методи обробки, що використовують акустооптичні взаємодія. Це обумовлено

специфічними можливостями таких методів: паралельною, високою швидкістю і частотою обробки оптичних сигналів і т.д. [25, 42, 44].

Перераховані вище можливості реалізовані в акустооптичних аналізаторах спектра (АОАС), що відрізняються простотою конструкції і паралельною обробкою сигналів у широкій смузі частот і практично в реальному масштабі часу [42]. Переваги використання АОАС для вирішення завдань спектрального аналізу і розширення смуги одночасно аналізованих частот обумовлює необхідність більш глибокого аналізу роздільної здатності цих приладів.

У більшості робіт, присвячених дослідженню роздільної здатності акустооптичних аналізаторів спектра, ці дослідження проводяться з використанням критерію Релея [42]. Так склалося історично, за аналогією з роздільною здатністю більшості оптичних приладів, наприклад, телескопів. Останнім часом в роботах [25, 44], присвячених проблемі підвищення роздільної здатності акустооптичних аналізаторів спектра, застосовуються і інші фізичні принципи. Так в [25] запропоновано методику підвищення роздільної здатності акустооптичних аналізаторів спектра з урахуванням нелінійного характеру акустооптичного взаємодії. У цьому випадку аналіз акустооптичного взаємодії, що протікає в акустооптичних аналізаторах спектра, був проведений без інтегрування за часом, яке призводить до згладжування флуктуацій.

Дуже часто частоти вимірюваних в АОАС радиоимпульсов настільки близькі, що розрізнити їх як за допомогою критерію Релея, так і інших методів не представляється можливим. Але в імпульсної радіолокації існує метод сверхрелеевского дозволу вузькосмугових імпульсів по часу їх приходу. Основою цього методу є бесшумовая ідеалізація сигнальної суміші і її аналітичним поданням полиномом, ступінь якого дорівнює числу джерел сигналу, а коріння однозначно пов'язані з їх параметрами.

### 2.4.2. Оцінка потенційної точності визначення розладу по частоті двох імпульсів

Як добре відомо, в більшості існуючих в даний час АОАС, здійснюється послідовне зчитування сигналу з лінійки фоточутливих елементів. Таким чином, можна вважати, що є вектор, що містить $N$ вимірювань в точках $x_1, \dots, x_N$ випадкової величини, розподіленої за законом Пуассона $n = \{n_1, n_2, \dots, n_N,\}$. Кожен елемент вектора вимірювань характеризується математичним очікуванням $M(n_i)$ та дисперсією $Д(n_i)$, причому

$M(n_i) = Д(n_i) = b_i, i = 1,2, \dots, N$ .

Відомо [10], що $b_i$ є функціями від параметрів $a$, $x_i$, $\Delta$:

$$b_i = \left(\frac{sin \quad a(x+\Delta/2)}{a(x+\Delta/2)}\right)^2 + \left(\frac{sin \quad a(x-\Delta/2)}{a(x-\Delta/2)}\right)^2, \tag{2.42}$$

де $a$– параметр, що характеризує дифракційні властивості аналізатора спектра, а невідомим є параметр Δ, що характеризує расстройку по частоті двох аналізованих імпульсів.

В (2.42) амплітуда покладається нормованої до одиниці, оскільки її облік в подальшому не має труднощів.

На рис. 2.12, 2.13 показаний можливий вид середнього значення вектора n, що визначається залежністю (2.22) при значеннях $a = \pi$ і $a = 0{,}5$ відповідно (величина $\Delta = 1$).

При незалежності відліків один від одного спільне їх розподіл буде мати вигляд:

$$P(\Delta, n) = \prod_{i=1}^{N} P(b_i n_i), \tag{2.43}$$

де $P(b_i n_i) = \frac{e^{-b_i} b_i^{n_i}}{n_i!}$ (2.44)

Потрібно визначити потенційну точність оцінювання параметра $\Delta$.

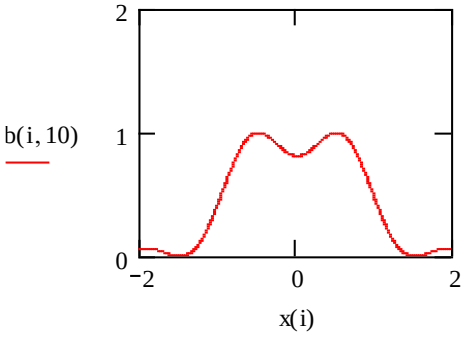



Рис. 2.12 Середнє значення вектора n при a = $\pi$

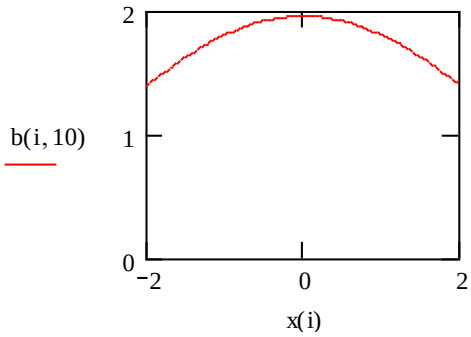



Рис. 2.13. Середнє значення вектора n при a = 0,5

Потенційно можлива дисперсія оцінки параметра $\Delta$ визначається виходячи з нерівності Рао-Крамера. Вона дорівнює зворотній величині очікуваного значення (тобто усередненого по реалізаціям) другої похідної логарифма функції розподілу (2), взятої з протилежним знаком [18]:

$$\sigma_\Delta^2 = \overline{-\partial^2\big(P(\Delta,n)\big)/\partial\Delta^2} = 1/\sum_{i=1}^{N}(\partial b_i/\partial\Delta)^2/b_i, \qquad (2.45)$$

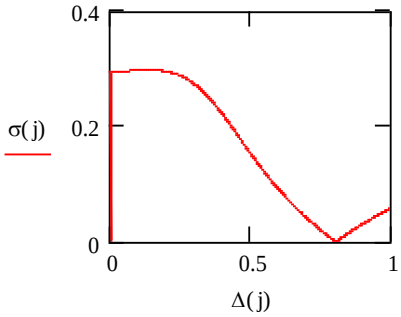
де межа над виразом означає знак усереднення,

$$\partial b_i/\partial\Delta = \frac{2Sina(x_i+\Delta/2)}{a^3(x_i+\Delta/2)^3}[a(x_i+\Delta/2)Cosa(x_i+\Delta/2)-(a\Delta/2)Sina(x_i+\Delta/2)]$$

$$+\frac{2Sina(x_i-\Delta/2)}{a^3(x_i-\Delta/2)^3}[a(x_i-\Delta/2)Cosa(x_i-\Delta/2)+(a\Delta/2)Sina(x_i-\Delta/2)]\ .$$

Зауважимо, що вираз для розрахунку дисперсії не містить других похідних від $b_i$. На практиці істинні значення $\Delta$ невідомі, тому їх замінюють відповідними оцінками. Однак тут ми не розглядаємо питання отримання оцінок невідомого параметра і для цілей аналізу залежності потенційної точності від величини невідомого параметра будемо вважати, що він точно відомий.

Були проведені розрахунки залежності величини середньоквадратичної помилки оцінювання расстройки двох імпульсів по частоті $\sigma_\Delta$ від велилчини расстройки $\Delta$ при різній частоті дискретизації параметра x. Дискретизація параметра x проводилася на інтервалі [– 2 $\pi$ /a, 2$\pi$ /a], т.е. $x_i = -\frac{2\pi}{a} + +i4\pi/aN$, где i = 1, 2, … , N; де N – кількість дискрет на обраному інтервалі. Результати розрахунків для a = $\pi$ наведені на рис. 3 и 4, а на рис. 5 и 6 – для a = 0.5. Кількість дискрет вибиралося рівним 10 і 100.



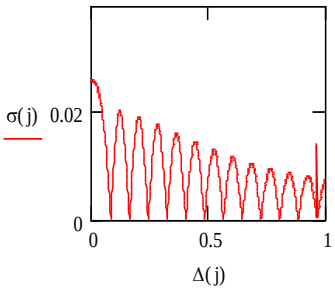
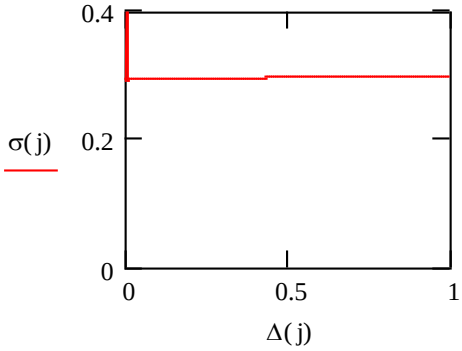




Рис. 2.14 Залежність $\sigma_\Delta$ від величини расстройки $\Delta$ при N = 10, a = $\pi$

Рис. 2. 15Залежність $\sigma_\Delta$ від величини расстройки $\Delta$ при N = 100, a = $\pi$



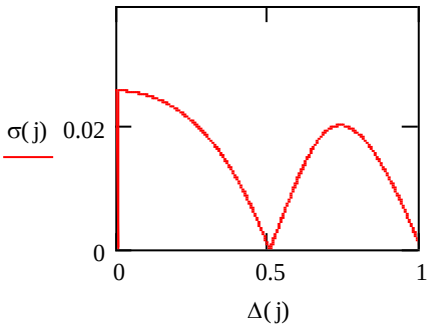




Рис. 2.16. Залежність $\sigma_\Delta$ від величини расстройки $\Delta$ при N = 10, a = 0,5

Рис. 2.17. Залежність $\sigma_\Delta$ від величини расстройки $\Delta$ при N = 100, a = 0,5

Аналіз рис. 2.14 – 2.17 показує, що залежність середньоквадратичної помилки оцінювання розладу по частоті від її величини носить періодичний характер. Це природно, оскільки складовими в (2.45) є також періодичні

функції. Однак при зменшенні величини а періодичність на обраному інтервалі стає менш помітною (рис. 2.12, 2.13), чим і пояснюється відмінність характеру кривих на рис. 2.14, 2.16. При малому числі дискрет (N = 10, рис. 2.14, 2.16) та невеликій величині расстройки $\Delta < 0.4$ среднеквадратическая помилка оцінюваного параметра порівнянна з його величиною. Це означає, що отримання достовірних оцінок в цих умовах малоймовірно. Зі збільшенням числа дискрет на обраному інтервалі (N = 100, рис. 2.15, 2.17) величина середньоквадратичної помилки становить менше 10% від величини оцінюваного параметра на всьому інтервалі.

**Висновки з розділу 2**

У розділі 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 поширюються в каналах зв'язку імпульсів пропонується використання акустооптичних спектраналізаторов, які забезпечують досить високі значення роздільної здатності по частоті.

У розділі запропоновано метод діагностики порушень синхронізації телекомунікаційної мережі комп'ютерної системи критичного застосування. Метод заснований на підвищенні роздільної здатності вимірювальної системи на базі акустооптичного спектроаналізатора. Основними результатами даного дослідження є:

• наведені результати аналізу факторів, що впливають на порушення стабілізації комп'ютерної мережі комп'ютерної системи критичного

застосування. Встановлено якісні та кількісні показники синхронізації системи;

• в роботі проаналізовані функціональні можливості використання акустооптичних спектроаналізаторів для контролю якості синхронізації комп'ютерних мереж, представлені основні математичні співвідношення, що визначають параметри вихідного сигналу АОАС;

• в результаті проведених чисельних розрахунків було встановлено, що для розрізнення несучих частот вхідних імпульсів при середніх і малих величинах расстройки загальним необхідною умовою є досить велика (в порівнянні з сумарною тривалістю вхідного імпульсу і тимчасової апертури спектроаналізатора) час реєстрації;

• основним підсумком досліджень можливості підвищення роздільної здатності АОАС є те, що виникають теоретичні передумови для визначення синхронності роботи генераторів в комп'ютерній мережі інформаційної комп'ютерної системи критичного використання, що призведе до підвищення показників якості обслуговування (QoS);

В результаті проведених в цій роботі досліджень був запропонований спосіб підвищення роздільної здатності когерентних акустооптичних спектроаналізаторів за рахунок особливості когерентної взаємодії сигналів. Використання способу підвищення роздільної здатності акустооптичних спектроаналізаторів за рахунок особливості когерентної взаємодії сигналів при обчисленні джиттера дозволить істотно підвищити контроль за якістю передачі сигналу по каналах передачі даних телекомунікаційної мережі, що, безсумнівно, дасть передумови для підвищення показників якості всієї комп'ютерної системи. Запропонований метод оперативного розрахунку значення джиттера телекомунікаційної мережі дозволить провести динамічну перенастроювання мережевих параметрів.

В розділі пропонується методика обробки сигналів в акустооптичних аналізатора спектра. Ця методика дозволяє підвищити роздільну здатність АОАС за рахунок того, що при інтегруванні імпульсного сигналу по стробу

змінного знаку та подальшого підсумовування можна отримати значення математичного очікування часу приходу сигналу з дисперсією, значно меншою тривалості імпульсу. У пропонованому випадку ця методика буде поширена і на вимір просторового спектра в акустооптичних аналізаторах спектра. З урахуванням того, що потік сигнальних фотоелектронів в акустооптичних аналізаторі спектра описується розподілом Пуассона, досягається точність вимірювання частоти, яка визначається співвідношенням $Д[\varepsilon] << \delta\omega^2_{изм}$, що дозволяють істотно збільшити точність вимірювання частоти в каналі передачі інформації КС, що в свою чергу забезпечує істотне підвищення показників QoS комп'ютерних мереж системи судової експертизи

У розділі обґрунтовується можливість застосування сверхрелеевского дозволу імпульсів по частоті в акустооптичних спектроаналізаторів. Отримано вираз для оцінки потенційної точності величини розладу по частоті двох імпульсів. Аналіз розрахунків потенційної точності показує, що для практичного використання ідеї сверхрелеевского дозволу імпульсів по частоті в акустооптичних спектроаналізаторів необхідно забезпечити необхідну частоту дискретизації вибірки.

Основні результати розділу опубліковано в [8, 9, 10, 25, 35, 36, 42].

# РОЗДІЛ 3
# МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДОВИХ БАЗОВОЇ МЕРЕЖІ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ СУДОВОЇ ЕКСПЕРТИЗИ

Інформаційні системи (ІС) відіграють значну роль в системі судових експертиз. Використання ІС дозволяє істотно підвищити якість виконуваних експертиз за рахунок зниження людського фактора. Для забезпечення надійного та оперативного обміну первинними даними, службової інформації, результатами експертизи необхідним є підвищення якості обслуговування (QoS) телекомунікаційною мережею інформаційної системи судової експертизи. Тому телекомунікаційна мережа ІС судової експертизи повинна забезпечувати дотримання жорстких вимог по підтримці параметрів якості обслуговування (QoS) [1 - 7], що в підсумку дозволить всій інформаційній системі вирішити поставлені перед нею завдання.

Отже, вдосконалення існуючих систем передачі інформації і проектування нових телекомунікаційних систем є важливим фактором підвищення якості обслуговування всієї ІС судової експертизи.

Забезпечення підвищення якості передачі даних можна досягти застосуванням повністю 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 в міру переходу на більш високий рівень моделі. Уникнути таких порушень режимів функціонування мережі можна за рахунок безперервного контролю параметрів роботи мережі і виявлення моментів неузгодженості мережі [2, 4, 6, 7].

Основні проблеми, що виникають при поширенні оптичного сигналу, є нелінійний характер цього процесу, викликаний як особливостями самого фізичного каналу, так і процесами, що протікають на більш високих рівнях семірівневій моделі, які мають фрактальні характеристиками.

Таким чином, перед дослідниками стоїть досить важлива і актуальна задача забезпечення контролю за станом передачі інформації на фізичному рівні в оптичних каналах зв'язку.

## 3.1 Використання формалізму континуальних інтегралів Феймана для побудови математичної моделі оптичних каналів передачі інформації

Для опису процесу передачі інформації в неоднорідній нелінійної середовищі, якої можна вважати і оптичне середовище передачі інформації, перспективо скористатися формалізмом континуальних інтегралів Фейман, які можуть дозволити проводити оцінку імовірнісних характеристикам даних.

Контінуальні інтеграли (КІ), введені в математику Н. Вінером як метод вирішення завдань теорії дифузії і броунівського руху, у фізичній літературі називають також Фейнмановскі - на честь Р. Фейнмана, який використав їх для переформулювання квантової електродинаміки. Згодом метод КІ був успішно застосований до широкого кола завдань і в даний час є одним з найбільш потужних методів теоретичної фізики [8 - 11].

Використання КІ надає можливість провести аналіз результатів, які отримані при використанні альтернативних методів досліджень. Відмінною особливістю континуальних інтегралів є можливість знаходжень точних рішень, за умови їх існування. Застосування КІ дозволяє отримати максимальний результат у разі модифікації стандартної теорії збурень, з огляду на те, що використовуваний математичний апарат дозволяє здійснювати відповідні налаштування і визначати спосіб її конкретної реалізації.

Сувора математична теорія і коректне визначення, в даний час, отримані лише для частини безлічі КІ. Але в рамках теорії збурень, використовуючи КІ

спеціального випадку - гаусового, формалізм КІ є достатньо суворим, і отримані результати не потребують додаткового обґрунтування

При вирішенні завдань дифракції в хвильової теорії світла метод континуальних інтегралів використовувався в ряді випадків [12, 13]. В теорії поширення хвиль в випадково-неоднорідних середовищах він був задіяний в роботах [14,15], а в подальшому отримав природний розвиток в атмосферної оптики. КІ дозволили провести опис малих флуктуацій оптичного випромінювання при проходженні через статистично однорідну і ізотропну турбулентну атмосферу [16, 17].

Перевагою методу КІ є легкість включення в дослідження анізотропії, регулярної рефракції, неоднорідності по одній або декількох координатах.

Це визначило результативність його використання в акустиці океану, де зв'язок між просторовим і тимчасовим поведінкою визначається дисперсійним рівнянням для внутрішніх хвиль, а не гіпотезою Тейлора про заморожених флуктуацій [58-63].

Застосовуючи КІ, стало можливим проаналізувати випадок насичених флуктуацій, коли нормована дисперсія інтенсивності зі збільшенням довжини траси поширення досягає свого максимуму. [18, 19].

Пропонований розділ присвячене визначенню можливості використання формалізму КІ для моделювання процесу поширення сигналу в оптичному каналі зв'язку за рахунок дослідження просторово-часових і просторово-частотних кореляцій поля хвилі. Таке завдання є надзвичайно складною через труднощі отримання виразів для просторово-часових моментів довільного порядку. Одним із прийнятних рішень такого завдання є пошук або висновок рівнянь, які можна вирішити чисельне.

### 3.1.1 Формулювання завдання і основні допущення для параметрів

Розглянемо скалярную 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 тимчасової масштаб зміни $H_{\omega}$ багато більше $\omega^{-1}$.

Поширення хвиль описується хвильовим рівнянням, в яке входить випадкова функція координат:

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

Проаналізуємо випадок великомасштабних (в порівнянні з довжиною хвилі) неоднорідностей середовища поширення. Для цього обмеження метод параболічного рівняння є одним з результативних способів зниження складності хвильового рівняння [18,19]. В рамках скалярного хвильового рівняння Гельмгольца він еквівалентний наближенню розсіювання вперед. Це наближення можливо застосовувати до середах, повільно мінливих на масштабах порядку довжини хвилі вздовж деякого виділеного напрямку.

У той же час, значна частина наближених методів рішення стохастичного хвильового рівняння декларує трохи збурень $\Delta\mu(\vec{r};k)$ [16, 17]. Це обмеження, або є основою методу (малих збурень), або дозволяє вирішити наближені рівняння (геометричної оптики, методу плавних збурень). Воно обумовлює застосування цих методів і не дозволяє розгляд сильних флуктуацій хвильового поля.

Ще один малий параметр - відношення поздовжнього (вздовж напрямку поширення хвиль) радіуса кореляції флуктуацій $\Delta\mu(\vec{r};k)$ до характерного подовжньому масштабу флуктуацій поля хвилі - використовує наближення марківського процесу. Дельта-корелированість поля $\Delta\mu(\vec{r};k)$ по поздовжній координаті дозволяє виходячи з параболічного рівняння для комплексної амплітуди хвиль $U(\vec{r})$, але не вирішуючи його, отримати

замкнуті рівняння для моментів $U(\vec{r})$ без припущення про малість флуктуацій амплітуди хвилі.

Тому вважається, що Марківське наближення описує і сильні флуктуації хвильового поля, по меньшей мере, тоді, коли можна знехтувати розсіюванням назад.

### 3.1.2. Застосування континуальних інтегралів для вирішення параболічного хвильового рівняння

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 $\mu_\omega(\vec{r}) = 1 + \Delta\mu(\vec{r};k)$, описується параболічним рівнянням

$$\left[\frac{i}{k}\frac{\partial}{\partial z} + \frac{1}{2k^2}\Delta_\perp + \frac{1}{2}\Delta\mu(\vec{\rho},z;k)\right]U(\vec{\rho},z;k) = 0, \qquad (3.1)$$

де $\Delta_\perp$- оператор Лапласа по поперечним координатам $\vec{\rho} = (x,y)$. Тут і нижче для спрощення запису опущена плавна залежність відповідних величин від часу (при необхідності її можна відновити в кінці розрахунків). Рішення рівняння (2.1) для довільних початкових умов записується як

$$U(\vec{\rho},z;k) = \int d\vec{\rho}_o G(\vec{\rho},z|\vec{\rho}_o,z_o;k)U(\vec{\rho}_o,z_o;k), \qquad (3.2)$$

де функція Гріна $G(\vec{\rho},z|\vec{\rho}_o,z_o;k)$ задовольняє за першою парою аргументів того ж рівняння (2.1), але з початковою умовою $G(\vec{\rho},z|\vec{\rho}_o,z_o;k) = \delta(\vec{\rho}-\vec{\rho}_o)$. Рівняння (2.1) 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 відразу записати вираз для $G(\vec{\rho}, z|\vec{\rho}_o, z_o; k)$ у вигляді КІ [8]:

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

(3.3)

Інтегрування в (3.3) проводиться за всіма двовимірним траєкторіях, що задовольняє граничним умовам $\vec{\eta}(z_o) = \vec{\rho}_o$, $\vec{\eta}(z) = \vec{\rho}$, а нормувальний множник $N$ знаходиться з умови

$$\frac{1}{N}\int \exp\left\{\frac{ik}{2}\int_{z_o}^{z} dz'\dot{\vec{\eta}}^2(z')\right\}\prod_{z'} d\vec{\eta}(z') = G_o(\vec{\rho} - \vec{\rho}_o, z - z_o; k), \qquad (3.4)$$

де $G_o(\vec{\rho}, z; k) = \frac{k}{2\pi i z}\exp\left(\frac{ik}{2z}\vec{\rho}^2\right)$ – функція Гріна рівняння (1) для однорідного середовища (при $\Delta\varepsilon(\vec{r}; k) = 0$). Для нашої задачі множник $N$ можна включити до позначення міри:

$$\frac{1}{N}\prod_{z'} d\vec{\eta}(z') = D\vec{\eta}.$$

Формулу (3.3) можна розуміти, як компактну запис нескінченного інтеграла

$$G(\vec{\rho}, z|\vec{\rho}_o, z_o; k) = \lim_{N\to\infty}\int\prod_{j=1}^{N-1}\left(\frac{k}{2\pi i\Delta\zeta_j}\, d\vec{\eta}_j\right)\times$$

$$\times\exp\left\{\frac{ik}{2}\sum_{j=1}^{N}\Delta\zeta_j\left[\left(\frac{\vec{\eta}_j - \vec{\eta}_{j-1}}{\Delta\zeta_j}\right) + \Delta\varepsilon(\vec{\eta}_{j-1}, \zeta_{j-1}; k)\right]\right\},$$

де $\Delta\zeta_j = \zeta_j - \zeta_{j-1}, \zeta_1, \zeta_2, \ldots, \zeta_n$ – розбиття інтервалу $[z_o, z]$ таким чином, що $z_o < \zeta_o < \zeta_1 < \ldots < \zeta_n \equiv z$, и $\vec{\eta}_o \equiv \vec{\rho}_o$, $\vec{\eta}_N \equiv \vec{\rho}$.

Оскільки будуть розглядатися просторово-частотні кореляційні функції, то в (3.1) - (3.4) явно виділена залежність всіх величин від частоти за допомогою

$k = k(\omega)$. Надалі ми обмежимося досить загальним випадком, коли залежність $\Delta\mu(\vec{r};k)$ від $k$ є мультиплікативній: $\Delta\mu(\vec{r};k) = \varepsilon(k)\,\delta\mu(\vec{r})$.

В силу лінійності співвідношення (3.2) 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

$$\Gamma_{n,m}\left(\{\vec{\rho}_p, k_p\}, \{\vec{\rho}'_s, k'_s\}, z\right) = \left\langle G_1 \ldots G_n\, G_1'^{*} \ldots G_m'^{*} \right\rangle, \tag{3.5}$$

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 по ансамблю реалізацій флуктуацій $\Delta\mu(\vec{r};k)$. Початковою умовою для моментів (2.5) є

$$\Gamma_{n,m}\left(\{\vec{\rho}_p, k_p\}, \{\vec{\rho}'_s, k'_s\}, z_o\right) = \prod_{p=1}^{n} \delta\left(\vec{\rho}_p - \vec{\rho}_{op}\right) \prod_{s=1}^{m} \delta\left(\vec{\rho}_s - \vec{\rho}_{os}\right).$$

### 3.1.3. Аналітичні вирази для середнього поля точкового джерела

Починаючи з найпростішого з моментів (3.5), усереднити вираз (3.3) для $G\left(\vec{\rho}, z \middle| \vec{\rho}_o, z_o; k\right)$ - по суті, поля точкового джерела, розташованого в точці $\left(\vec{\rho}_o, z_o\right)$, і отримаємо

$$\Gamma_{1,o}\left(\vec{\rho}, k, z\right) = \int \exp\left\{\frac{ik}{2}\int_{z_o}^{z} dz'\, \dot{\vec{\eta}}^{\,2}(z')\right\} \Phi\left[\lambda_{1,o}\right] D\vec{\eta}, \tag{3.6}$$

де

$$\lambda_{1,o}\left(\vec{\rho}, z\right) = \frac{1}{2} k\varepsilon(k)\, h\left(z' - z_o\right) h\left(z - z'\right) \delta\left(\vec{\rho}' - \vec{\eta}(z')\right); \tag{3.7}$$

$h(z)$ – 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.

Як відомо [19], і як випливає з (6), для того, щоб для рівняння моментів $\Gamma_{n,m}$ були замкнутими, поле $\delta\mu(\vec{r})$ повинно бути дельта-корельованим по $z$, тобто його кумулянти мати вигляд дельта-функцій по всьому z-аргументів:

$$K_n(\vec{r}_1,\ldots,\vec{r}_n)=K_n(\vec{\rho}_1,\ldots,\vec{\rho}_n,z_1)\,\delta(z_1-z_2)\ldots\delta(z_{n-1}-z_n).$$

Характеристичний функціонал представляється тоді в вигляді

$$\Phi[\lambda]=\exp\left\{\int_{-\infty}^{\infty}dz'\dot{\theta}_z,[\lambda]\right\}, \tag{3.8}$$

де

$$\dot{\theta}_{z'}[\lambda]=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{i^n}{n!}\int d\vec{\rho}_1\ldots d\vec{\rho}\;K_n(\vec{\rho}_1,\ldots,\vec{\rho}_n,z_1)\,\lambda(\vec{\rho}_1,z')\ldots\lambda(\vec{\rho}_n,z'). \tag{3.9}$$

Як видно з (9), $\dot{\theta}_{z'}[\lambda]$ є насправді функціоналом від $\lambda(\vec{\rho}',z')$ як функції тільки $\vec{\rho}'$, а залежність від $z'$ входить параметричне (таке позначення введено для зручності порівняння з результатами [19]).

Підставляючи (3.7) в (3.9), а потім в (3.6), отримуємо

$$\Gamma_{1,o}(\vec{\rho},k,z)=\int\exp\left\{\frac{ik}{2}\int_{z_o}^{z}dz'\left[\dot{\vec{\eta}}^2(z')+\delta\mu_{эф}(\vec{\eta}(z'),z',k)\right]\right\}D\vec{\eta}, \tag{3.10}$$

де

$$\delta\mu_{эф}(\vec{\rho},z)=\frac{2}{ik}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n!}\left[\frac{ik}{2}\,\mu(k)\right]^n K_n(\vec{\rho}_1,\ldots,\vec{\rho}_n,z). \tag{3.11}$$

Порівнюючи (3.10) з (3.3), то зрозуміло, що $\Gamma_{1,o}(\vec{\rho},k,z)$ задовольняє рівнянню (3.1), в якому $\delta\mu(\vec{r},z)$ замінено на $\delta\mu_{эф}(\vec{\rho},z)$. Якщо флуктуації магнітної проникності є однорідними, то $K_n(\vec{\rho}_1,\ldots,\vec{\rho}_n,z_1)=K_n$ і вираз (3.11) вже також не залежить від координат:

$$\delta\mu_{эф} = \frac{2}{ik}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n!}\left[\frac{ik}{2}\,\varepsilon(k)\right]^{n} K_n = const\,. \qquad (3.12)$$

Тоді відповідний множник в (10) можна винести з-під знака континуальної інтеграла і, з урахуванням (4), отримати:

$$\Gamma_{1,o}\left(\vec{\rho},k,z\right) = G_o\left(\vec{\rho}-\vec{\rho}_o\middle|z-z_o;k\right)\exp\left[\frac{ik}{2}\,\delta\mu_{эф}\left(z-z_o\right)\right]. \qquad (3.13)$$

Як легко показати $\operatorname{Im}\delta\mu_{эф} > 0$, і, отже, формула (3.13) описує експоненціальне загасання когерентної складової поля хвилі при поширенні в випадково-неоднорідному середовищі.

Вираз (3.13) можна отримати і безпосередньо, вирішуючи рівняння для $\Gamma_{1,o}\left(\vec{\rho},k,z\right)$ виду (11), в якому $\delta\mu_{эф}$ дається формулою (3.12).

Таким чином, було отримано аналітичний вираз для найпростішого з моментів функції Гріна параболічного рівняння з використанням формалізму КІ Феймана. Отже, встановлена теоретична можливість створення моделі процесу поширення сигналу в оптичному каналі зв'язку за рахунок дослідження просторово-часових і просторово-частотних кореляцій поля хвилі.

### 3.1.4 Рівняння для кореляційних функцій

Для отримання $\Gamma_{1,1}$ потрібно усереднити добуток двох функцій Гріна $G_1G_2^*$, для кожної з яких використовуємо вираз у вигляді КІ [8]. В результаті отримаємо:

$$\Gamma_{1,1}\left(\vec{\rho}_1,k_1,\vec{\rho}_2,k_2,z\right) = \int \exp\left\{\frac{i}{2}\int_{z_o}^{z} dz'\left[k_1\dot{\vec{\eta}}_1^2\left(z'\right) - k_2\dot{\vec{\eta}}_2^2\left(z'\right)\right]\right\}\Phi\left[\lambda_{1,1}\right]D\vec{\eta}_1\,D\vec{\eta}_2, \qquad (3.14)$$

де інтегрування ведеться по двовимірним траєкторіями з граничними умовами $\vec{\eta}_1(z_o) = \vec{\rho}_{o1}$,

$\vec{\eta}_2(z_o) = \vec{\rho}_{o2}$, $\vec{\eta}_1(z) = \vec{\rho}_1$, $\vec{\eta}_2(z) = \vec{\rho}_2$, а функція

$$\lambda_{1,1}(\vec{\rho}', z') = \frac{1}{2} h(z' - z_o)\ h(z - z') \times \\ \times\ \left[k_1 \mu(k_1)\ \delta\left(\vec{\rho}' - \vec{\eta}_1(z')\right) - k_2 \mu(k_2)\ \delta\left(\vec{\rho}' - \vec{\eta}_2(z')\right)\right]. \tag{3.15}$$

Характеристичний функціонал представляється тоді в вигляді:

$$\Phi[\lambda_{1,1}] = \exp\left\{\int_{z_o}^{z} dz' \dot{\theta}_{z'} \left[\frac{1}{2} k_1 \mu(k_1) \delta(\vec{\rho}' - \vec{\eta}_1(z')) - \frac{1}{2} k_2 \mu(k_2) \delta(\vec{\rho}' - \vec{\eta}_2(z'))\right]\right\}. \tag{3.16}$$

Вираз (1) з урахуванням (3) дає остаточний результат для в формі КІ, з вигляду якого відразу виписується рівняння

$$\left[\frac{\partial}{\partial z} + \frac{1}{2i}\left(\frac{1}{k_1}\Delta_{\perp 1} - \frac{1}{k_2}\Delta_{\perp 2}\right) - Q(\vec{\rho}_1, \vec{\rho}_2, z; k_1, k_2)\right] \Gamma_{1,1}(\vec{\rho}_1, k_1, \vec{\rho}_2, k_2, z) = 0, \tag{3.17}$$

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 $\vec{\rho}_1, \vec{\rho}_2$.

### 3.1.5. Рівняння для кореляційних функцій довільного порядку

Без істотних ускладнень можна отримати і рівняння для моментів довільного порядку. Усереднюючи добуток $G_1 \ldots G_n\, G_1'^{*} \ldots G_m'^{*}$ і знову використовуючи для кожного із співмножників подання до вигляді КІ, отримаємо:

$$\Gamma_{n,m} = \int \exp\left\{\frac{i}{2}\int_{z_o}^{z} dz'\left[\sum_{p=1}^{n} k_p \dot{\vec{\eta}}_p^2(z') - \sum_{s=1}^{m} k'_s \dot{\vec{\eta}}'^2_s(z')\right]\right\} \Phi\left[\lambda_{n,m}\right] D\vec{\eta}\, D\vec{\eta}', \tag{3.18}$$

де

$$\lambda_{n,m}(\vec{\rho}', z') = \frac{1}{2} h(z' - z_o)\, h(z - z') \times$$
$$\times \left[\sum_{p=1}^{n} k_p \mu(k_p)\, \delta(\vec{\rho}' - \vec{\eta}_p(z')) - \sum_{s=1}^{m} k'_s \mu(k'_s)\, \delta(\vec{\rho}' - \vec{\eta}_s(z'))\right], \tag{3.19}$$

$D\vec{\eta} = D\vec{\eta}_1 \ldots D\vec{\eta}_n$, $\quad D\vec{\eta}' = D\vec{\eta}'_1 \ldots D\vec{\eta}'_m$,

а інтегрування проводиться по всім двовимірним траєкторіях з наступними граничними умовами:

$$\vec{\eta}_p(z_o) = \vec{\rho}_{op}, \quad \vec{\eta}_p(z) = \vec{\rho}_p, \qquad p = 1, \ldots, n;,$$
$$\vec{\eta}'_s(z_o) = \vec{\rho}'_{os}, \quad \vec{\eta}'_s(z) = \vec{\rho}'_s, \quad s = 1, \ldots, m.$$

Характеристичний функціонал представляється тоді в вигляді:

$$\Phi\left[\lambda_{n,m}\right] =$$
$$= \exp\left\{\int_{z_o}^{z} dz' \dot{Q}_{z'}\left[\frac{1}{2}\sum_{p=1}^{n} k_p \mu(k_p)\, \delta(\vec{\rho}' - \vec{\eta}_p(z')) - \frac{1}{2}\sum_{s=1}^{m} k'_s \mu(k'_s)\, \delta(\vec{\rho}' - \vec{\eta}'_s(z'))\right]\right\}. \tag{3.20}$$

Формула (3.18) з урахуванням (3.20) дає вираз для $\Gamma_{n,m}$ в формі КІ, з вигляду якого можна відразу записати відповідне рівняння:

$$\frac{\partial \Gamma_{n,m}}{\partial z} = \frac{i}{2}\left(\sum_{p=1}^{n} \frac{1}{k_p} \Delta_{\perp p} - \sum_{s=1}^{m} \frac{1}{k'_s} \Delta'_{\perp s}\right) \Gamma_{n,m} +$$
$$+ \dot{Q}_{z'}\left[\frac{1}{2}\sum_{p=1}^{n} k_p \mu(k_p)\, \delta(\vec{\rho}' - \vec{\rho}_p) - \frac{1}{2}\sum_{s=1}^{m} k'_s \mu(k'_s)\, \delta(\vec{\rho}' - \vec{\rho}'_s)\right] \Gamma_{n,m}. \tag{3.21}$$

Вважаючи в (3.21) $k_1 = ... = k_n = k_1' = ... = k_s' = k$, прийдемо до рівнянь для просторових кореляційних функцій [29]. В окремому випадку гауссова випадкового поля $\delta\varepsilon(\vec{r})$ рівняння (3.21) раніше були отримані в [31,32].

Рівняння (3.21) дуже складні і, на відміну від випадку просторових кореляційних функцій, аналітично розв'язати вже починаючи з випадку $n = m = 1$ (3.17).

Для статистично однорідного по поперечним координатам поля $\delta\varepsilon(\vec{r})$, коли $Q(\vec{\rho}_1, \vec{\rho}_2, z; k_1, k_2) = Q(\vec{\rho}_1 - \vec{\rho}_2, z; k_1, k_2)$, функцію $\Gamma_{1,1}$ можна тільки факторізовати. Для цього в континуальному інтегралі (3.14) зробимо заміну змінних $\vec{\eta} = \vec{\eta}_1 - \vec{\eta}_2$, $\vec{\xi} = \frac{k_1\vec{\eta}_1 - k_2\vec{\eta}_2}{k_1 - k_2}$. Тепер змінні інтегрування в (3.14) поділяються:

$$\Gamma_{1,1}(\vec{\rho}_1, k_1, \vec{\rho}_2, k_2, z) = \int \exp\left\{\frac{i(k_1 - k_2)}{2}\int_{z_o}^{z} dz'\dot{\vec{\xi}}^2(z')\right\} d\vec{\xi} \times$$
$$\times \int \exp\left\{\frac{i}{2}\int_{z_o}^{z} dz'\left[\frac{k_1 k_2}{(k_1 - k_2)}\dot{\vec{\eta}}^2(z') - \frac{2}{i}Q(\vec{\eta}(z')), z'; k_1, k_2\right]\right\} D\vec{\eta}, \tag{3.22}$$

де траєкторії і задовольняють граничним умовам:

$$\vec{\eta}(z_o) = \vec{\rho}_{o1} - \vec{\rho}_{o2};\ \vec{\eta}(z) = \vec{\rho}_1 - \vec{\rho}_2;\ \vec{\xi}(z_o) = \frac{k_1\vec{\rho}_{o1} - k_2\vec{\rho}_{o2}}{k_1 - k_2};\ \vec{\xi}(z) = \frac{k_1\vec{\rho}_1 - k_2\vec{\rho}_2}{k_1 - k_2}.$$

З урахуванням нормування вираз (3.22) можна переписати таким чином:

$$\Gamma_{1,1}(\vec{\rho}_1, k_1, \vec{\rho}_2, k_2; z) =$$
$$= G_o\left(\frac{k_1(\vec{\rho}_1 - \vec{\rho}_{o1}) - k_2(\vec{\rho}_2 - \vec{\rho}_{o2})}{k_1 - k_2}, z - z_o, k_1 - k_2\right) f(\vec{\rho}_1 - \vec{\rho}_2, z; k_1, k_2),$$

де функція $f(\vec{\rho}, z; k_1, k_2)$ задовольняє наступним рівнянням і початковій умові

$$\begin{cases} \left[ \dfrac{\partial}{\partial z} + \dfrac{1}{2i}\left( \dfrac{1}{k_1} - \dfrac{1}{k_2} \right) \Delta_\perp - Q(\vec{\rho}, z; k_1, k_2) \right] f(\vec{\rho}, z; k_1, k_2) = 0; \\ f\big|_{z=z_o} = \delta(\vec{\rho} - \vec{\rho}_{o1} + \vec{\rho}_{o2}). \end{cases}$$

Рівняння для моментів можна отримати і іншим, кілька більш громіздким шляхом - перетворюючи в інтегро-диференціальні і усредняя відповідні стохастичні рівняння, використовуючи потім умова дельта-коррелированности для розчеплення виникають середніх і, нарешті, переходячи назад до диференціальної формі записи. Навіть останній крок для просторових кореляційних моментів з'явився свого часу нетривіальним завданням.

Крім того, при традиційному підході використання узагальнень формули Фуруцу-Новикова вносить додаткові труднощі, суть яких в наступному. У фізичних завданнях, описуваних системою диференціальних рівнянь першого порядку по виділеній (будемо називати її тимчасової) змінної *t* з початковими умовами *t=0*, статистичні властивості рішення в момент *t* визначаються статистичними характеристиками випадкового процесу $z(\tau)$ при $0 \le \tau \le t$, які повністю описуються характеристичним функціоналом

$$\Phi[t, \lambda] = \left\langle \exp\left\{ i\int_0^t d\tau\, \lambda(\tau)\, z(T) \right\} \right\rangle$$

В цьому випадку розраховані за формулою Фуруцу-Новикова середні $\langle z(t')\, R[z] \rangle$ ($R[z]$ - якийсь функціонал від $z(T)$) зазнають розрив в точці $t' = t$, обумовлений некомутативними операціями граничного переходу $t' \to t$ і розкладання в функціональний ряд Тейлора.

Складність і труднощі рішення рівнянь для моментів зростає з ростом їх порядку: якщо рівняння навіть для просторових функцій когерентності першого $\Gamma_{1,o}$ і другого $\Gamma_{1,1}$ порядків вирішуються в загальному вигляді, то

аналітичне рішення рівняння для більш високих моментів отримати вже не вдається.

Використання КІ дозволяє просто записувати як рішення рівнянь будь-якого порядку (хоча звичайно запис рішень у вигляді КІ є перенесенням труднощів з однієї області - рішення рівнянь в приватних похідних в іншу, тому що точно обчислюються КІ лише спеціального виду - гаусові), так і вирази для таких величин, які не можуть бути описані замкнутими рівняннями, уникаючи при цьому введення зайвих параметрів.

Так, наприклад, можна отримати замкнутий рівняння для функції когерентності $\Gamma_{2,2}$, за допомогою якого потім знайти середній квадрат інтенсивності $\left\langle I^2(\vec{\rho},z)\right\rangle$. Однак, як уже зазначалося, аналітично відповідне рівняння не вирішується і містить багато зайвих параметрів, в той час як уявлення $\left\langle I^2(\vec{\rho},z)\right\rangle$ у вигляді КІ цих параметрів не містить. Тому такий запис корисна для вивчення асимптотичних характеристик розподілу ймовірностей інтенсивності.

Як відомо, поза рамками марківського наближення, з рівняння (3.14) вдається отримати лише ланцюжок пов'язаних рівнянь для статистичних моментів поля $U(\vec{r})$, в рівняння для нижчих моментів обов'язково входять моменти більш високих порядків. Складність вирішення цього ланцюжка рівнянь пов'язана з труднощами обчислення КІ загального вигляду.

Зазвичай для розчеплення ланцюжка і отримання замкнутих рівнянь для моментів даного порядку приймаються певні статистичні гіпотези про рішення. При формулюванні завдання в терміналах КІ такі статистичні гіпотези проявляються як деякі наближення для підінтегрального вираження, що дозволяє простежити за характером наближень і визначити межі їх застосовності.

## 3.2 Моделювання нелінійних елементів критичної комп'ютерної мережі

Проблемі забезпечення необхідних показників якості обслуговування (QoS) було присвячено значну кількість робіт [2-20]. У них були визначені основні фактори, які призводять до зниження якості обслуговування в КС. Ці фактори можна розділити на кілька груп:

– фактори, які визначаються структурою і архітектурою КС;

– фактори, які визначаються принципами управління і перерозподілу обчислювального ресурсу КС;

– фактори, які визначаються властивостями і параметрами телекомунікаційного обладнання КС.

Кожному з цих факторів присвячено багато робіт, але в даному підрозділі основна увага буде приділена останньому фактору. Властивості телекомунікаційного обладнання грають важливу роль в забезпеченні виконання відповідності між необхідними показниками QoS і тими, що реально реалізуються в сучасних комп'ютерних системах. І одним з основних параметрів, що впливають на якість обслуговування, є стабільність і стійкість частоти сигналу, на якому відбувається передача інформації. У роботах [1, 21, 22] було проведено аналіз методів і способів підвищення точності вимірювання несучої частоти в комп'ютерних мережах для зниження впливу джиттера і підвищення синхронізації в каналах зв'язку. Але дані дослідження проводилися без урахування нелінійних властивостей як джерела сигналу, так і середовища поширення. В реальності все відбувається значно складніше, тому що виникає необхідність врахування малої нелінійності елементів телекомунікаційного обладнання КС.

Метою даного підрозділу є створення моделі нелінійних елементів телекомунікаційного обладнання комп'ютерної мережі системи критичного застосування для забезпечення необхідних параметрів QoS.

Для вирішення цього завдання необхідно вирішити ряд приватних завдань:

1. Створити модель впливу малої нелінійності на формування вільних коливань, за допомогою складання відповідного рівняння руху

2. Проаналізувати вільний рух осцилятора, що має вигляд рівняння Дюффінга

3. Побудувати загальний інтеграл рівняння Дюффінга в разі жорсткої системи

### 3.2.1 Основні співвідношення і формулювання

Для вирішення зазначеного завдання оцінимо вплив малої нелінійності на процес формування вільних коливань резонансної коливальної системи окремого кварцового генератора.

Рівняння вільного руху консервативного нелінійного осцилятора має вигляд:

$$z + f(x) = 0, \tag{3.23}$$

де f (x) – сила, що відновлює, в безрозмірному вигляді.

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

$$f(x) = x + \lambda x^3, \quad \lambda > 0 \tag{3.24}$$

Вільні коливання в електричному контурі без загасання з нелінійної ємністю описуються (3.23) при використанні сегнетоелектріка. Величина λ називається коефіцієнтом нелінійності. Рівняння (1) з відновлювальної силою (2) при λ>0 або λ<0 прийнято називати рівнянням Дюффінга.

У разі математичного маятника, що здійснює плоский рух, функція f (x) дорівнює:

$$f(x) = \sin(x) = x - \frac{x^3}{6} + \frac{x^5}{120} - ... \qquad (3.25)$$

Маса, що коливається в напрямку, перпендикулярному напрямку до осі розтягнутих пружин, призводить до відновлювальної силі такого вигляду:

$$f(x) = x\left(1 + \beta - \frac{\beta}{\sqrt{(1+x^2)}}\right), \beta > 0 \qquad (3.26)$$

В (3.24) і (3.26) відновлює сила відповідає жорсткою (грубої) системі, а в (3.25) - м'якою системі.

Розглянемо вільний рух осцилятора, що має вигляд рівняння Дюффінга:

$$\ddot{x} + x + \lambda x^3 = 0, \qquad (3.27).$$

Рівняння (3.27) допускає зниження порядку. Покладемо:

$\dot{x} = v, v = v(x).$

Маємо:

$$\ddot{x} = \dot{v} = \frac{dv}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = V\frac{dv}{dx}, \qquad (3.28).$$

Отже, рівняння (3.27) приймає вид:

$$v\frac{dv}{dx} + x + \lambda x^3 = 0, \qquad (3.29)$$

Поділяючи змінні, отримаємо:

$$vdv + (x + \lambda x^3)dx = 0, \tag{3.29}$$

Інтегруючи останнє рівняння, знаходимо:

$$\frac{v^2}{2} + \Pi(x) = C_0, \quad C_0 = Const. \tag{3.30}$$

де *П(x)* - потенційна енергія.

$$\Pi(x) = \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{4}\lambda x^4, \tag{3.31}$$

Постійна $C_0$ знаходиться з початкових умов:

$$v(x\ ) = v_0,\ x(0) = x_0 \tag{3.32}$$

Значення $C_0$ дорівнює:

$$C_0 = \frac{v_0^2}{2} + \Pi(x_0), \tag{3.33}$$

Висловимо *v* з рівняння (3.30):

$$v(x\ ) = \pm\sqrt{2C_0 - \Pi(x_0)} \tag{3.34}$$

На площині (*x*, *v*) фазова траєкторія складається з двох гілок. Розглянемо випадок $\lambda = 0$. Фазова траєкторія лінійного осцилятора являє собою коло.

Нехай $\lambda > 0$ (жорстка система).

Постійна $C_0 > 0$ при будь-яких значеннях $v_0$, $x_0$ в початкових умовах (3.32). Графічне побудова показує, що фазова траєкторія замкнута, тобто рішення (3.27) задовольняє початковим умовам (3.30) і є періодичним. Постійна $C_0$ визначається виразом:, де $v(0)$ - значення швидкості, що відповідає значенню $x = 0$.

З (3.33) видно, що (при одних і тих же значеннях $v_0$, $x_0$) збільшення параметра нелінійності λ призводить до збільшення швидкості v(0). Точки перетину фазового траєкторії з віссю x знаходиться з рішення рівняння причому

$$x_1 = 2\sqrt{\frac{C_0}{1+\sqrt{1+4\lambda C}}}, \quad \lim_{\lambda \to 0} x_1 = x_0. \tag{3.35}$$

Граничні значення $x_1$ відповідають дуже жорсткою нелінійної системі. У дуже жорсткою нелінійної системі ($x_0 = const$), відбувається витягування фазової траєкторії вздовж осі v. Умова $x_0 \neq 0$ - істотно.

Розглянемо випадок $\lambda < 0$ (м'яка система). Постійна $C_0$, задана формулою (3.33), має два максимуми, що відповідають значенням $x_0 = \pm x_2$, де $x_2$ дорівнює:

$$x_2 = \sqrt{-\frac{1_0}{\lambda}}, \quad \lambda < 0. \tag{3.36}$$

Значення максимуме $C_0(x_0)$ дорівнює:

$$\max C_0(x_0) = \frac{v_0^2}{2} - \frac{1}{4\lambda}, \quad \lambda > 0. \tag{3.37}$$

Потенційна енергія $\Pi(x)$ згідно (3.31) має два максимуме, що відповідають значенням $x_0 = \pm x_2$, де $x_2$ находжена у (3.36)

$$\max \Pi(x) = -\frac{1}{4\lambda} = \frac{1}{4|\lambda|} = C^* > 0 \qquad (3.38)$$

З (15) і (16) видно, що існує такі значення $C_0$, які задовольняють нерівності $C_0 > C^*$. Уточнимо область початкових значень $v_0$, $x_0$, яка дозволяє виконати вказану нерівність. Зафіксуємо значення $x_0$ і визначимо область значень $v_0^2$ у вигляді нерівності:

$$v_0^2 > \frac{1}{2}\left(\frac{1}{|\lambda|} + |\lambda| x_0^4\right) - x_0^2 \qquad (3.39)$$

В (3.39) виконано нерівність $C_0 > C^*$.

Теорема

При виконанні початкових умов, які задовольняють нерівності (2.39), рух, що описується задачею Коші для рівняння Дюффінга, відповідного м'якою системі, є необмеженим.

Доведення

Розглянемо в (3.34) праву частину. Вона визначена при будь-яких $x$ і є зростаючою функцією при $x \to \pm\infty$. Доказ теореми закінчено.

$$v_1^2(x_0, \lambda) > \frac{1}{2}\left(|\lambda| x_0^4 - 2x_0^2 + \frac{1}{|\lambda|}\right) \qquad (3.40)$$

Уточнимо опис траєкторії на фазовій площині при виконанні (3.40). Позначимо праву частину нерівності (3.40).

Неважко довести, що

$$v_1^2(x_0,\lambda) > 0, \quad x_0^2 \neq \frac{1}{|\lambda|},$$

$$v_1^2(\pm x_2,\lambda) > 0, \quad x_2 = \sqrt{\frac{1}{|\lambda|}}.$$

Звідси випливає, що фазові траєкторії, що задовольняють нерівності (3.39), не перетинають вісь *X*. Розглянемо фазові траєкторії м'якої системи, які перетинають вісь *X*.

Нехай постійна $C_0$ задовольняє нерівності $C_0 < C^*$ . В результаті отримуємо:

$$v_0^2 < v_1^2(x_0,\lambda),$$

де $v_1^2(x_0,\lambda)$ визначено в (3.40).

Таким чином, отримано нерівність, яке протилежно за змістом нерівності в (3.39). Початкові умови в (3.32) задаються в довільний момент часу, тому зручніше задавати умови в момент перетину фазового траєкторії осі X.

$$v(x_0) = 0, x(0) = x_0 \tag{3.41}$$

Підставимо (3.41) у (3.34), врахуємо нерівність $C_0 < C^*$, та маємо:

$$C_0 = \Pi(x), \quad \frac{1}{2}x^2 - \frac{1}{4}|\lambda|x_0^4 < \frac{1}{4|\lambda|},$$

тобто $v_1^2(x_0,\lambda) > 0$.

Звідси виводимо два початкових умови:

$$v(x_0)=0,\ x(0)=x_0 \quad 0<|x_0|<\frac{1}{\sqrt{|\lambda|}} \tag{3.42}$$

$$v(x_0)=0,\ x(0)=x_0 \quad |x_0|>\frac{1}{\sqrt{|\lambda|}} \tag{3.43}$$

При виконанні початкових умов (3.42) рух періодичний, а фазові траєкторії - замкнуті лінії, які оточують початок координат. При виконанні початкових умов (3.43) рішення рівняння Дюффінга необмежено. Детальніше розглянемо траєкторії періодичного руху. Згідно (3.42) покладемо

$$|x_0|>\frac{1}{\sqrt{|\lambda|}}, \quad 0<\varepsilon<1. \tag{3.44}$$

З (3.42) і (3.33) знайдемо $C_0$ . З (3.34) визначимо $\sqrt{v(x)}$. В результаті маємо формулу фазової траєкторії:

$$|v(x\ )|=\sqrt{\frac{\varepsilon}{|\lambda|}\left(1-\frac{\varepsilon}{2}\right)-x^2+\frac{x^4|\lambda|}{2}}, \quad |x|\le|x_0|, \quad 0<\varepsilon<1. \tag{3.45}$$

Скористаємося (3.45) і обчислимо відношення

$$\left|\frac{v(0)}{x_0}\right|=\sqrt{1-\frac{\varepsilon}{2}}, \quad 0<\varepsilon<1. \tag{3.46}$$

З (3.46) випливає, що фазові траєкторії періодичного руху м'якої системи витягнуті уздовж осі *X*. У цьому якісно полягає відмінність фазових траєкторій періодичних рухів м'якою і жорстких нелінійних систем. Формули (23) дозволяють визначити швидкість в будь-якій точці

фазової траєкторії в явному вигляді при відомому початковому відхиленні системи, описаному в (20) і (22). Рівняння фазової траєкторії (12) в неявній формі має вигляд $F(x, v) = 0,$ де $F$ дорівнює

$$F(x,v) = v^2 - 2C_0 + x^2 + \frac{\lambda}{2}x^4.$$

Особливі точки мають координати (0,0), ( $-x^2$,0), ( $x^2$ ,0), де

$$x_2 = \sqrt{-\frac{1}{\lambda}}.$$

Кутовий коефіцієнт дотичної $k = v',$ знаходиться з рівняння

$$A + 2Bk + Ck^2 = 0,$$

де $A, B, C$ – значення похідних

$$\frac{d^2F}{dx^2}, \quad \frac{d^2F}{dxdv}, \quad \frac{d^2F}{dv^2}$$

в точці. Знайдемо похідні другого порядку:

$$\frac{d^2F}{dx^2} = 2 + 6\lambda x^2, \quad \frac{d^2F}{dxdv} = 0, \quad \frac{d^2F}{dv^2} = 2.$$

Дискримінант квадратного рівняння щодо $K$ має вгляд:

$$B^2 - AC = -2\left(2 + 6\lambda x^2\right) < 0.$$

Таким чином, особливі точки такі, що в них немає дотичній. Такі точки називають ізольованими. У малій околиці ізольованих точок повертає сила

має різну поведінку. Проведемо аналіз повертає сили шляхом складання в статечної ряд. Утримуючи перший член статечного ряду, виводимо:

$(0,0), \quad f(x) \approx x,$

$(-x^2,0), \quad f(x) \approx -2(x + x_2),$

$(x^2,0), \quad f(x) \approx -2(x - x_2).$

З формули видно, що в точці (0,0) сила, що повертає, спрямована до положення рівноваги. В інших точках сила, що повертає, перетворюється в відразливу.

Побудуємо загальний інтеграл рівняння Дюффінга в разі жорсткої системи:

$$\ddot{x} + x + \lambda x^3 = 0, \quad \lambda > 0 \tag{3.47}$$

Рішення (3.47) відшукуємо у вигляді еліптичного косинуса

$$x = acn(u,k), \quad u = \sigma t, \tag{3.48}$$

де $a$, $\sigma$ , $k$ – невідомі постійні.

Скористаємося відомими співвідношеннями з теорії еліптичних функцій

$$(cnu)' = -snudu; \quad (snu)' = snu \cdot dnu; \quad (dnu)' = -k^2 snu \cdot cnu. \tag{3.49}$$

Найдемо похідні від (3.48)

$$\dot{x} = -a\sigma snudu; \quad \ddot{x} = -a\sigma^2 (cnu \cdot dn^2 u - k^2 sn^2 ucnu) = -x\sigma^2 (dn^2 u - k^2 sn^2 u). \tag{3.50}$$

Перетворимо (3.50), використовуючи інші співвідношення теорії еліптичних функцій:

$$sn^2u = 1 - cn^2u; \qquad dn^2u = 1 - k^2 sn^2u = 1 - k^2 + cn^2u. \tag{3.51}$$

Отримаємо:

$$\ddot{x} = -x\sigma^2\left[\left(1-k^2\right) + k^2 cn^2u - k^2\left(1 - cn^2 y\right)\right] = x\sigma^2\left[\left(1-k^2\right) + \frac{2k^2}{a^2}x^2\right],$$

тобто

$$\ddot{x} + \sigma^2\left(1-k^2\right)x + \frac{2k^2\sigma^2}{a^2}x^3. \tag{3.52}$$

З (3.48) і (3.52) отримуємо два рівняння

$$\sigma^2\left(1-k^2\right) = 1, \quad \frac{2k^2\sigma^2}{a^2} = \lambda. \tag{3.53}$$

У рівнянні (3.53) входять три невідомих, тому розглянемо початкові умови:

$$x(0) = x_0, \quad \dot{x}(0) = 0. \tag{3.54}$$

Задовольнимо початковим умовам, враховуючи, що cn(0, k) =1, sn(0, k)=0. Знайдемо, що $a = x_0$, тобто зміщення в початковий момент часу. По умовам λ> 0, тому в (31) значення k задовольняють нерівності

$$0 \le k \le \frac{1}{\sqrt{2}}. \tag{3.55}$$

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

$$x = x_0 cn(\sigma t, k), \tag{3.56}$$

де

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{(1-2k^2)}}, \quad \lambda = \frac{2k^2}{x_0^2(1-2k^2)}. \tag{3.57}$$

Значення $k$ (еквівалентного параметра нелінійності) в (3.55) відповідають інтервалу параметра нелінійності $\lambda$, який змінюється від нуля до нескінченності.

На рис. 3.1 представлені результати розрахунків впливу нелінійності елементів мережевого обладнання на стабільність частоти переданої в мережі інформації. Цей графік демонструє наскільки змінюється стабільність сигналу, що задає при відповідній зміні параметра $k$.

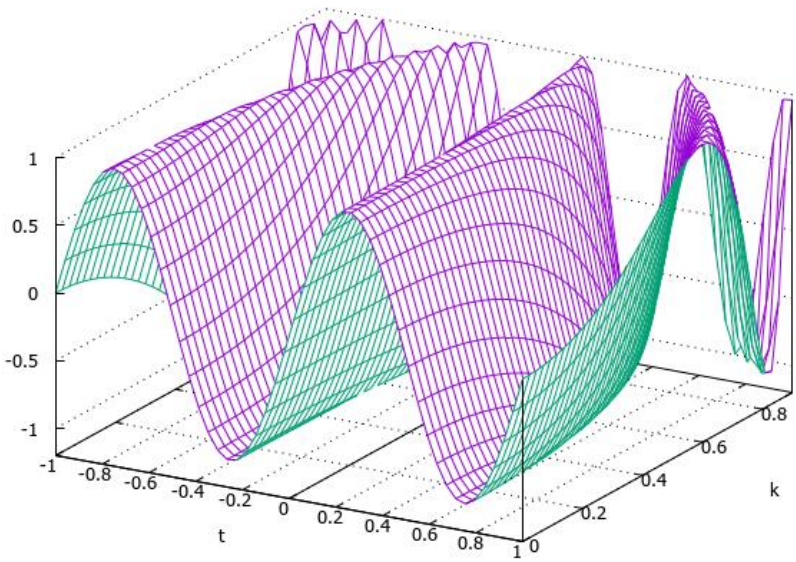



Рисунок 3.1. Залежність координати коливань сигналу від еквівалентного параметра нелінійності $k$.

Для більшої наочності на рис. 3.2 - 3.4 представлені різниці між сигналом, що поширюється, і стандартним гармонійним сигналом для різних діапазонів еквівалентного параметра нелінійності.

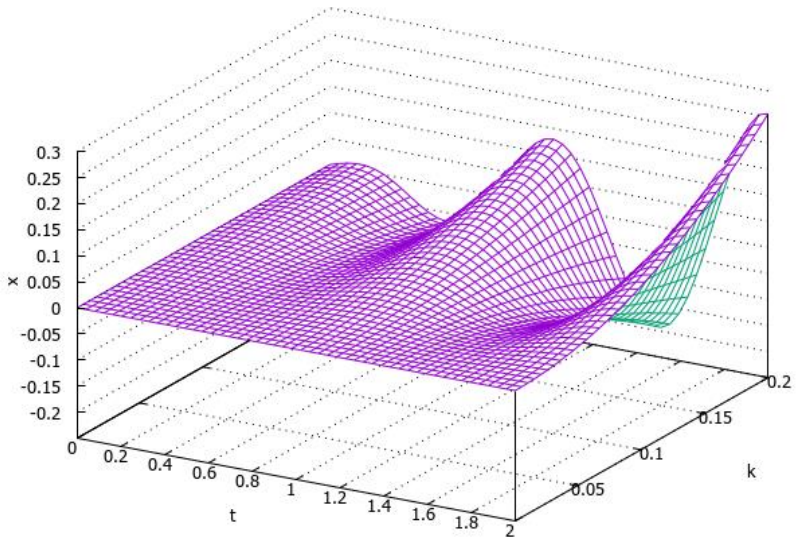



Рисунок 3.2 Різниця між сигналом, шо поширюється, і стандартним гармонійним сигналом при *0<k<0,2*

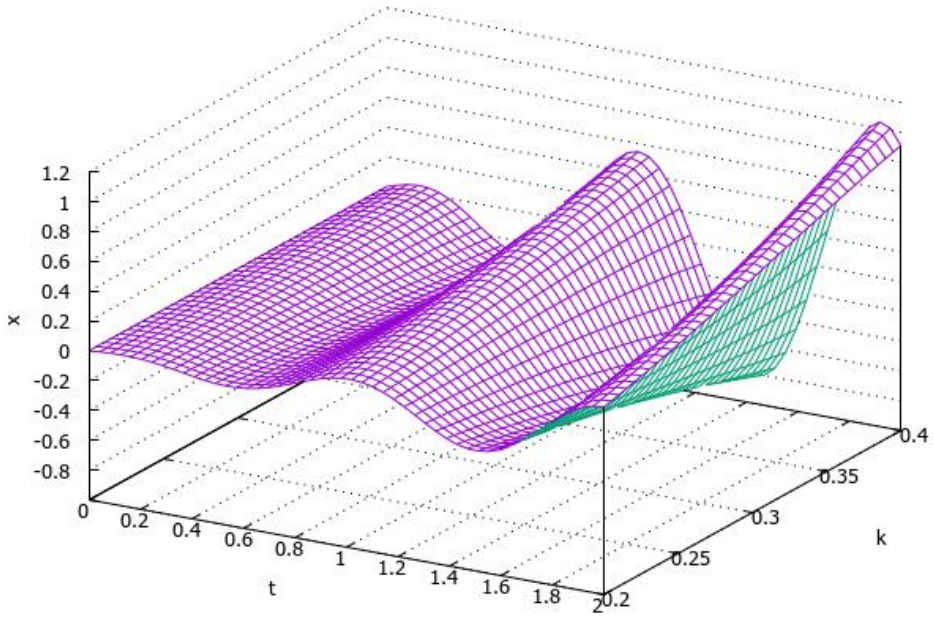



Рисунок 3.3 Різниця між сигналом, шо поширюється, і стандартним гармонійним сигналом при *0,2<k<0,4*

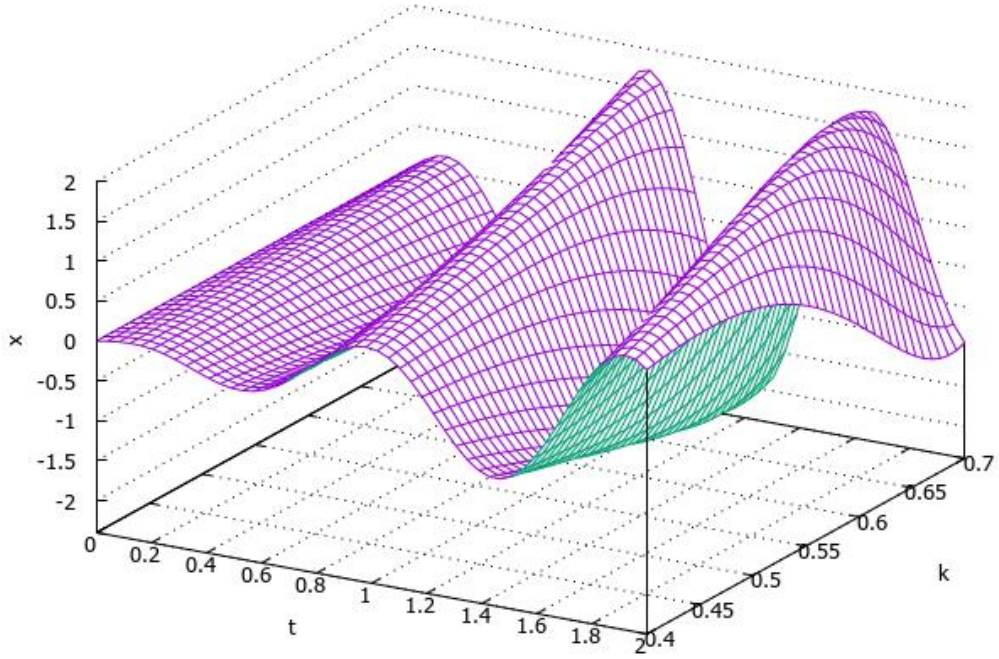



Рисунок 3.4 Різниця між сигналом, шо поширюється, і стандартним гармонійним сигналом при *0,4<k<0,7*

Рисунки 3.2-3.4 представлені таким чином, що вони охоплюють весь діапазон змін еквівалентного параметра нелінійності *k*.

При малих значеннях параметра *k* в межах *0<k<0,01* коливання (рис. 3.2) 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 привести до зниження показників якості функціонування КС. Але при подальшому збільшенні параметра k спостерігається істотне неузгодженість гармонійного процесу. Таким чином, в результаті чисельного моделювання коливального процесу в каналах передачі даних КС встановлено, що навіть незначна нелінійність може привести до істотних змін частоти переданого в мережі сигналу, що в свою чергу призведе до істотних втрат інформації або збільшення часу, необхідного для достовірної передачі.

**Висновки з розділу 3**

1. Сформульовано актуальність нового підходу до моделювання процесу поширення сигналу в оптичному каналі зв'язку за рахунок дослідження просторово-часових і просторово-частотних кореляцій поля хвилі, яка ґрунтуються на використанні формалізму КІ Феймана

2. Сформульовано задачу досліджень та визначено основні обмеження на параметри. Рішення відповідного хвильового рівняння проводилося в марківському наближенні з урахуванням малих збурень середовища і малих флуктуацій поширюється поля

3. Запропоновано використання формалізму КІ Феймана для вирішення параболічного хвильового рівняння, що описує поширення сигналу в оптичних каналах телекомунікаційної системи.

4. Отримано аналітичні співвідношення для середнього поля точкового джерела, що дозволило говорити про теоретичну можливість побудови моделі процесу поширення сигналу в оптичному каналі зв'язку за рахунок дослідження просторово-часових і просторово-частотних кореляцій поля хвилі, яка ґрунтуються на використанні формалізму КІ Феймана.

5. Запропоновано модель нелінійних елементів телекомунікаційного обладнання комп'ютерної мережі системи критичного застосування для забезпечення необхідних параметрів QoS в якої:

– створено модель впливу малої нелінійності на формування вільних коливань, за допомогою складання відповідного рівняння руху

– проаналізувано вільний рух осцилятора, що має вигляд рівняння Дюффінга

– побудувано загальний інтеграл рівняння Дюффінга в разі жорсткої системи

– проведено аналіз впливу нелінійності елементів мережевого обладнання на стабільність частоти переданої в мережі інформації

– встановлено, що при малих значеннях параметра нелінійності $k$ в межах $0<k<0,01$коливання системи є гармонійними або дуже близькими до них, однак при досягненні значень $k=0,25$ стабільність частоти істотно погіршується до $\delta\omega \square 5\cdot 10^{-6}\omega$ Такі флуктуації частоти вже можуть привести до зниження показників якості функціонування КС. Але при подальшому збільшенні параметра k спостерігається істотне неузгодженість гармонійного процесу.

Таким чином, в результаті чисельного моделювання коливального процесу в каналах передачі даних КС встановлено, що навіть незначна нелінійність може привести до істотних змін частоти переданого в мережі сигналу, що в свою чергу призведе до істотних втрат інформації або збільшення часу, необхідного для достовірної передачі.

6. Результати розділу опубліковано [25, 35, 36, 71, 72, 73].

# РОЗДІЛ 4
# МОДЕЛЮВАННЯ ЗАВАДОВОГО ВПЛИВУ НА АПАРАТНІ СКЛАДОВІ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ СУДОВОЇ ЕКСПЕРТИЗИ

В теперішній час 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).

Застосування розроблених зразків ЕМВ значно загострює проблему забезпечення живучості об'єктів КС СЕД. Одним з найбільш значущих факторів, який сприяє підвищенню ефективності функціонування КС СЕД є засоби їх захисту, що забезпечують гранично припустимі рівні уражаючих факторів, які засновані на фізичних факторах впливу ЕМЗ.

Існуючі методи та засоби не завжди здатні забезпечити за своїми характеристиками необхідну ефективність захисту КС СЕД, насамперед, через відсутність ідеальних екранів (без дефектів), неможливість створення (наявність конструктивних отворів, щілин, швів, місць з'єднань в корпусах, місць введення кабелів живлення, ліній зв'язку,) або застосування герметичних екранів по відношенню до ЕМВ (за рахунок наявності антенних входів), нездатність існуючих обмежувачів витримувати імпульсні перенапруги під впливом ЕМВ сучасних видів ЕМЗ, недостатню швидкодію та неприйнятні масогабаритні характеристики. Отже виникла актуальна наукова задача, побудови комплексу моделей, які враховують вплив завадового впливу на функціонування КС СЕД.

Вирішення завдання, що склалося, в роботі забезпечується на основі концепції захисту з використанням плазмової технології, синтезу матеріалів та середовищ, здатних забезпечити потрібний рівень захисту РЕЗ від потужного імпульсного ЕМВ ультракороткої тривалості (УКТ) без впливу на їх функціонування.

Використання плазмових технологій здатне привнести в засоби захисту ряд нових властивостей у порівнянні зі звичайними засобами. Найбільш важливими з них є миттєва зміна електрофізичних властивостей твердотільного та іонізованого повітряного середовища, що визначають відбиваючі, поглинаючі та замикаючі властивості засобів захисту під впливом потужного імпульсного ЕМВ УКТ, а також працездатність на протязі усього життєвого циклу РЕЗ та здатність витримувати імпульсні перенапруги, що створюються засобами ЕМЗ [75-81].

## 4.1. Аналіз вимог до засобів захисту радіоелектронного обладнання КС СЕД від впливу потужного імпульсного ЕМВ ультракороткої тривалості

З метою удосконалення методики обґрунтування вимог до засобів захисту радіоелектронного обладнання КС СЕД від впливу потужного імпульсного ЕМВ ультракороткої тривалості у підрозділі був проведений аналіз відомих методик обґрунтування вимог до засобів захисту об’єктів ОВТ, принципів побудови, функціонування й характеристик сучасної і перспективної ЕМЗ, а також перспектив її розвитку з урахуванням особливостей побудови та тенденцій подальшого впровадження мікросхемотехніки в якості елементної бази РЕЗ КС. Проведено аналіз основних фізичних механізмів впливу потужного імпульсного ЕМВ УКТ на РЕЗ КС та можливостей відомих методів та засобів щодо їх захисту. В основу розробки методики, покладено розроблену автором узагальнену модель

процесу функціонування РЕЗ ОВТ з урахуванням стану оперативно-тактичної обстановки (ОТО), структурна схема якої наведена на рис.3.1

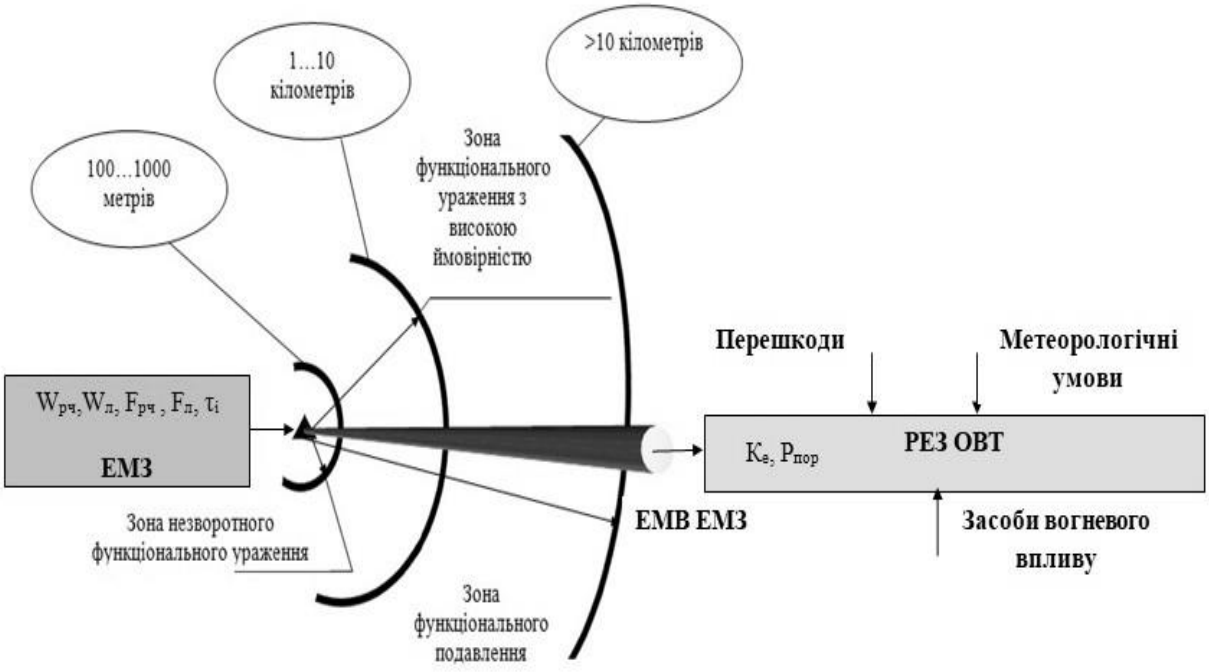



Рисунок 4.1 – Структурна схема узагальненої моделі процесу функціонування РЕЗ КС

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):

$$P_{ВБЗ}=P\left(\Pi_{ВХ_{ЕМВ}} \le \Pi_{ПОР}\right). \qquad (4.1)$$

де $P_{ВБЗ}$ – ймовірність виконання функціональних обов’язків в умовах можливих впливів;

$\Pi_{ВХ_{ЕМВ}}$ – потік падаючої потужності, що створюється засобами ЕМЗ;

$П_{ПОР}$ – порогове значення потоку падаючої потужності, при якій здійснюється функціональне ураження РЕЗ.

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 10-8Дж.

3. Час спрацювання не менше 10-10с для захисту від засобів ЕМІ та радіочастотних засобів, та 10-19с – 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.)).

## 4.2 Основні напрямки розробки захисних матеріалів і середовищ з використанням плазмової технології

У даному підрозділі 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.

Концепція захисту РЕЗ КС від потужного імпульсного ЕМВ УКТ, що створюється засобами ЕМІ, радіочастотними та оптичними засобами, полягає в забезпечені зниження рівня енергії ЕМВ на входах в точках доступу в РЕЗ до гранично припустимого шляхом використання фізичних механізмів, які забезпечать замикання, відведення, ефективне поглинання та відбиття цього випромінювання [70-73].

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 [76-84].

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 E0 все ще дуже мале, а тиск індукованого поля E2/4π 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 $f_1(t_1,\vec{v},\vec{r},E,\tau_i)$.

Час формування плазмової лавини складає t1 та визначається параметрами ЕМВ ($E,\tau_i$) 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 $\omega$ в плазмовій лавині будуть мати місце процеси

поглинання енергії зовнішнього поля, які визначають час розвитку лавини. Провідність плазмової лавини визначено як $\sigma_л = f(n_l(f_l),\omega)$;

плазмово-стрімерну, коли поле E1 повністю компенсує зовнішнє поле E0. 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 наступні:

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 $\alpha_p$, $p$ –коефіцієнт рухомості електронів та атмосферний тиск, при якому відбувається формування високопровідного каналу.

4. Провідність стрімера $\sigma_c = f(n_{кр},\omega)$.

У відповідності до етапів формування пробою в отворі розміром $d$ пробійна напруга є функцією від параметрів плазмового середовища, ЕМВ та тиску повітряного середовища: $E_{пр} = f(Q,f_l(t_1,\vec{v},\vec{r},E);\ f_2(t_c,\vec{v},\vec{r},E),\ \tau_i,\alpha_p,p,d)$. 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. 3.2.

Відповідно до цієї структури формалізована модель опису процесу формування високопровідного каналу представлено наступними виразами:

$$\sigma_c = f(n_{кр},\omega); \tag{4.2}$$

$$n_{кр} = f(n_1, f_2, \alpha_p, p); \tag{4.3}$$

$$\tau_{пр} = f(t_1; t_c); \tag{4.4}$$

$$E_{пр} = f(Q, f_1(t_1, \vec{v}, \vec{r}, E); \tag{4.5}$$

$$f_2(t_c, \vec{v}, \vec{r}, E),\ \tau_i, \alpha_p, p, d). \tag{4.6}$$

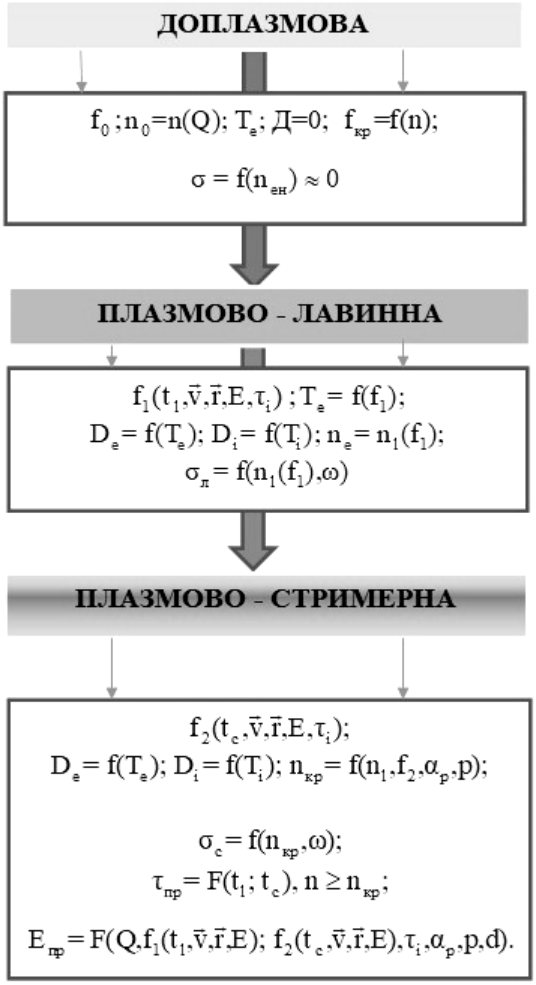



Рисунок 4.2 – Стадії формування високопровідного каналу довгого розрядного проміжку

Особливість розробленої моделі, що визначає її новизну, полягає в урахуванні фізичних процесів на початковій плазмовій, плазмово-лавинній та плазмово-стрімерній 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.

Для створення твердотільного плазмового середовища запропоновано використовувати напівпровідникову матрицю, в якій для створення комплексної діелектричної проникності розміщено елементи радіоактивної речовини. Використання радіоактивної речовини необхідне для здійснення іонізації та виникнення нерівноважного стану електронної підсистеми. Радіоактивна речовина у вигляді плівки може бути розміщена між металевим корпусом та напівпровідниковою матрицею. Крім того, радіоактивна речовина може бути хаотично розміщена в напівпровідниковій матриці у вигляді елементів відповідної форми (круглої, підковоподібної). Для створення комплексної магнітної проникності в матриці застосовано гексаферитові включення, які необхідно вибирати з урахуванням залежності їх поглинаючих властивостей в діапазоні частот. В такому випадку матеріал умовно можна розглядати як багатошаровий. Базова структура фізичної моделі твердотільного плазмового матеріалу наведена на рис. 4.3

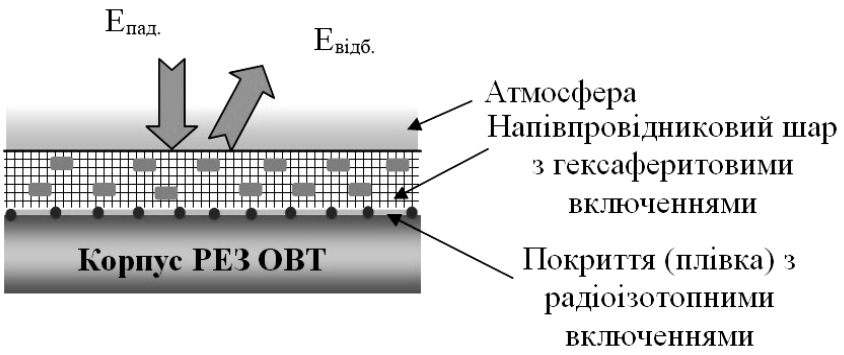



Рисунок 4.3 – Базова структура фізичної моделі твердотільного плазмового матеріалу

Діелектрична проникність твердотільного плазмового матеріалу, яка визначає екрануючі властивості, у відповідності до базової моделі представлено у виді:

$$\varepsilon_{П}\left(\omega,\vec{k}\right)=\varepsilon_{М}+\sum_{i=1}^{N}\delta\varepsilon_{вкл_i}\left(\omega,\vec{k}\right)+\sum_{\xi=1}^{M}\delta\varepsilon_{неравн_\xi}\left(\omega,\vec{k},Q\right)+$$
$$+\sum_{i=1}^{M}\delta\varepsilon_{г_i}\left(\omega_i\right)+\sum_{\nu=1}^{J}\delta\varepsilon_{неравн_\nu}\left(T(\vec{E},\vec{H})\right)+$$
$$+i\left\{\frac{4\pi}{\omega}\left[\sigma_{eff}\left(\omega,\vec{k}\right)+\sigma_{eff}\left(T(\vec{E},\vec{H})\right)+\sigma_{eff}\left(\omega_i\right)+\alpha_e E^2\right]\right\}, \quad (4.7)$$

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;

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

$\sum_{i=1}^{M} \delta\varepsilon_{\Gamma_i}\left(\omega_i\right)$, $\sigma_{eff}\left(\omega_i\right)$ – 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;

$\alpha_e$, 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:

$$\mu(\omega_i) = 1 + \sum_{s=1}^{U} \mu_s(\omega_i), \tag{4.8}$$

де $\sum_{s=1}^{U} \mu_s(\omega_i)$ – 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:

$$n > n_{кр} = \frac{\omega_p^2 m_e}{4\pi e^2}, \tag{4.9}$$

де $\omega_p = \omega_{кр} = \sqrt{\frac{4\pi n e^2}{m}}$ – плазмова частота;

n – концентрація заряджених часток;

e, m – заряд та маса електрону.

$n_{кр}$ – критична концентрація електронів в плазмі.

Плазма такої концентрації виникає при впливі ЛВ лише на металеву поверхню. Зниження концентрації неоднорідної плазми пропонується здійснювати, стимулюючи в ній розпадні параметричні нестійкості, які зв’язують різни типи коливань. Для здійснення розпадної параметричної нестійкості необхідно забезпечити виконання наступної умови, при якій забезпечити концентрацію електронів менше критичної:

$$n > n_{кр} \left( \frac{v_{Te}}{c} \right)^2, \tag{4.10}$$

де $v_{Te}$ – теплова швидкість електронів.

Математичні моделі, що описуються виразами (4.2-4.6), (4.7), (4.10) не можуть бути безпосередньо застосовані для визначення екрануючих

властивостей ЕМВ та захисту РЕЗ КС від ЕМЗ, що обумовлює необхідність розвитку теоретичних основ захисту РЕЗ КС на основі використання плазмових технологій, які дадуть змогу визначати умови здійснення гарантованого захисту РЕЗ КС в залежності від особливостей їх застосування [102-106].

Проведено аналіз відомих наукових результатів в області дослідження й розробки плазмових матеріалів та середовищ, придатних для захисту від потужного ЕМВ, визначені напрямки розвитку теорії твердотільних плазмоподібних матеріалів та слабоіонізованих повітряних середовищ та їх взаємодії з імпульсними потужними надширокосмуговими полями для забезпечення захисту наземних та бортових об'єктів ОВТ від деструктивного впливу імпульсного потужного ЕМВ УКТ.

## 4.3 Дослідження впливу попередньої іонізації та ЕМВ на макроскопічні властивості повітряного середовища в отворах корпусів та кабельних каналах введення

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 $\alpha$-часток) використання джерел іонізації призводить до нерівноважної ФР електронів $f(E)$, яка виявляється близькою до статечної:

$$f(E) = A\,E^{S}, \tag{4.11}$$

де $A$ – нормувальна константа;

$E$ – повна енергія електронів;

$s$ – показник ступеня.

Показано, що з урахуванням припущення щодо однорідності електронної підсистеми слабоіонізованого повітряного середовища в розрядному проміжку отвору для опису кінетики нерівноважного стану доцільно використовувати просторово однорідне нелінійне рівняння Больцмана з джерелами і стоками часток в наступному вигляді:

$$\frac{\partial f(\mathbf{v})}{\partial t} = I_з\{f,f\} + L(v), \quad L(v) = S_+ - S_- , \tag{4.12}$$

де $L(v)$ – джерела і стоки в просторі швидкостей;

$$S_\pm \sim I_\pm \delta(v - v_\pm)/v^2 . \tag{4.13}$$

$$I_з\{f,f\} = \int d\mathbf{v}_1 d\Omega g \sigma(g,\theta)(f(\mathbf{v},t)f(\mathbf{v}_1,t) - f(\mathbf{v},t)f(\mathbf{v}_1,t)), \tag{4.14}$$

де $\sigma(g,\theta)$ – диференційний перетин розсіювання, який залежить від відносної швидкості та кута розсіювання $\theta$ між векторами $g$ та $g' = v' - v'_1$;

$d\Omega = \sin\theta d\theta d\varphi$ – елемент тілесного кута;

$g = |\mathbf{v} - \mathbf{v}_1|$ – відносна швидкість часток при зіткненнях.

Джерело іонізації у вигляді радіоізотопної плівки, що нанесена на поверхню ребра отвору (щілини), є локалізованим джерелом в просторі енергій. Виходячи з цього, модель локалізованого в просторі енергій джерела використана у наступному вигляді:

$$Q(x) = \begin{cases} 0, & x \le x_i - \Delta_i,\ x \ge x_i + \Delta_i; \\ G\dfrac{1}{2\Delta_i}, & x_i - \Delta_i < x < x_i + \Delta_i, \end{cases} \tag{4.15}$$

де $Q$ – інтенсивність джерела іонізації;

$G$ – потужність джерела іонізації;

$\Delta_i$ – напівширина енергетичної області, в якій джерело працює.

Для умов іонізації в повітрі $\Delta_i \to 0$. В цьому випадку вираз (4.13) має вигляд $Q(x) = G\delta(x-x_i)$. Модель стоку використана в формі $-\frac{1}{\tau(x)}f(x)$. З урахуванням (4.15) вираз, що описує джерела та стоки, представлено виразом:

$$L(x) = Q(x) - \frac{1}{\tau(x)}f(x), \tag{4.16}$$

де $\tau(x)$ – характерній час втрати зарядженої частки в енергетичній області функціонування стоку.

З урахуванням, що інтенсивність стока пов'язана з ФР співвідношенням $Q_c = \frac{1}{\tau_c}f(x)$, для стаціонарного нерівноважного стану визначено моменти ФР, які визначають основні макроскопічні параметри іонізованого середовища. Для джерела з інтенсивністю $Q_Д$ та кінцевою шириною $\tau$-стока одержано стаціонарні значення для нульового $M_0$ та першого моментів $M_1$:

$$M_{0st} = Q_Д \tau_c; \qquad M_{1st} = \frac{2}{3} x_Д Q_Д \tau_c, \tag{4.17}$$

які є вихідними даними для дослідження взаємодії потужного ЕМВ УКТ з іонізованим середовищем отвору.

Чисельне моделювання залежності моментів ФР від нерівноважного параметра $\varepsilon$, результати розрахунку якого наведені на рис. 4.4, показало, що при збільшенні $\varepsilon$ моменти ФР прагнуть до своїх граничних значень.

В умовах відсутності зовнішнього ЕМВ в повітряному середовищі отвору ($d \geq 3{,}8cm$) встановлюється квазістаціонарній рівноважний стан електронної підсистеми. Це обумовлено тим, що при такій величині розміру отвору, що перевищує довжину вільного пробігу $\alpha$-часток в повітряному середовищі, суттєвими стають процеси релаксації. Але під впливом зовнішнього ЕМВ буде відбуватися зміна стану його електронної підсистеми. В залежності від потужності ЕМВ, частоти та тривалості імпульсу ці процеси будуть відрізнятися та по різному визначати умови здійснення захисту РЕЗ ОВТ.

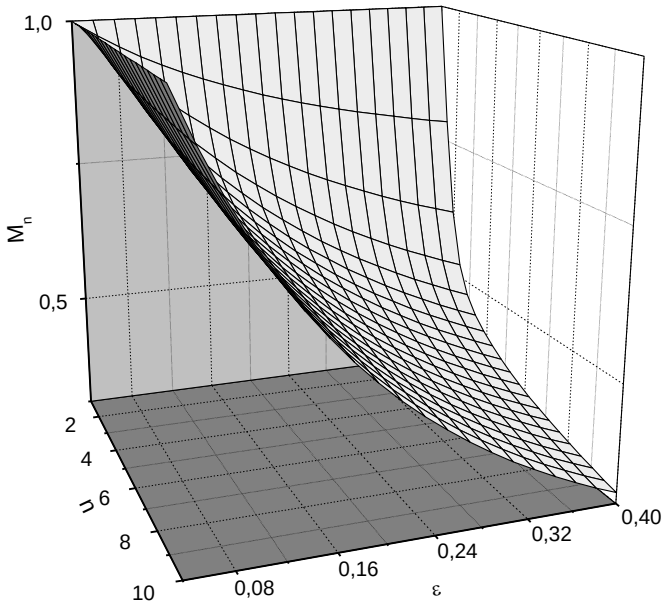



Рисунок 4.4 – Поверхня, що демонструє еволюцію моментів функції розподілу від нерівноважного параметру $\varepsilon$

Оскільки формування високопровідного каналу для здійснення розряду визначають процеси генерації заряджених часток та їх втрати, які обумовлені дифузією, прилипанням, зміною електронної температури, перетином розсіювання та рекомбінацією, розглянуто окремо кожен з цих процесів в залежності від параметрів ЕМВ.

З урахуванням впливу ЕМВ ФР електронів визначається наступним співвідношенням:

$$f = f_0 + \frac{eE}{m_e \nu_{me}} \frac{\partial f_0}{\partial V}, \tag{4.18}$$

де $\nu_{me} = \frac{1}{\tau_з}$ – частота зіткнень електронів з нейтралами з передачею імпульса.

З урахуванням (4.18) вираз для провідності попередньо іонізованого повітряного середовища через частоту $\nu_{me}$ зіткнень електронів з нейтралами:

$$\sigma = \frac{ne^2}{m_e \nu_{me}} = \frac{\omega_p^2}{4\pi\nu_{me}}. \tag{4.19}$$

Відповідно до (4.19) провідність попередньо слабоіонізованого повітряного середовища в отворі корпусу-екрану РЕЗ КС визначається плазмовою частотою і частотою зіткнень електронів з нейтралами ($\omega_p \square \nu_{me}$) та є малою величиною. Це означає, що попередня іонізація повітряного середовища для здійснення захисту антенного хвильовода РЕЗ КС за допомогою джерела $\alpha$-часток не впливає на проходження робочого сигналу, який завжди є малим.

Під впливом джерела іонізації, а також електричного поля виникає градієнт концентрації іонів, який за рахунок зіткнень утягує за собою електрони. В результаті змінюється провідність іонізованого повітряного середовища в отворах РЕЗ КС. Проаналізовано вплив дифузії часток на провідність розрядного проміжку. Встановлено, що ЕМВ, що створюється радіочастотним засобом, на відміну від впливу засобів ЕМІ, на електронну

провідність слабоіонізованого повітряного середовища більш негативно впливає на здійснення замикання ЕМВ при його взаємодії з отворами, щілинами, кабельними вводами РЕЗ КС.

Досліджено вплив ЕМВ на зміну концентрації заряджених часток в розрядному проміжку. Одержано вираз для визначення концентрації часток в момент часу t на відстані r від джерела іонізації під впливом електричного поля в тривимірному випадку:

$$n(Q,E,x,t) = \frac{n_0(Q)}{\left(A(E)\Omega\frac{kT_i}{m_i\nu_{mi}}(t-t_0)\right)^{\frac{3}{2}}}\exp\left(\nu_i t - A^{-1}(E)\left(\frac{x^2+(x-\nu_i t_d)^2}{4\frac{kT_i}{m_i\nu_{mi}}(t-t_0)}\right)\right), \quad (4.20)$$

де $\nu_i$ – частота іонізації;

$x=\sqrt{m_e V_e^2/2T_e}$;

$A$ – константа нормування.

$m_i$ – маса іона;

$T_i$ – термодинамічна температура процесу іонізації;

$k$ – постійна Больцмана;

$Q$ – інтенсивність джерела іонізації;

$\Omega$ – тілесний кут.

Вираз (4.20) описує профіль лавини, що виникає в розрядному проміжку на початку плазмово-лавиної стадії формування високопровідного каналу в пепередньо іонізованому середовищі отвору корпусу-екрану РЕЗ КС під впливом потужного ЕМВ УКТ з урахуванням впливу на стан електронної підсистеми потужного ЕМВ з відповідними параметрами, яке враховує дрейф заряджених часток, їх втрати за рахунок рухливості та амбіполярної дифузії. Враховано, що процеси рекомбінації заряджених часток при різних

значеннях атмосферного тиску і температури повітря призводять до зменшення початкової концентрації електронів в розрядному проміжку, що, в свою чергу, буде призводити до збільшення часу виникнення високопровідного каналу та під впливом більшої величини енергії ЕМВ, яка може перевищити гранично припустимий рівень [89-101].

Сильно нерівноважний стан електронної підсистеми повітряного проміжку, що встановлюється в отворах малих розмірів під впливом потужного ЕМВ УКТ, призводить до еволюції ФР та, відповідно до формалізованої моделі процесу формування високопровідного каналу в розрядному проміжку, до зміни концентрації заряджених часток в плазмово-стрімерній стадії. На цій стадії часова та просторова залежність ФР часток визначається кінетичними рівняннями, в яких інтеграли зіткнень зумовлені кореляцією між частками. На цій стадії при дослідженнях неможливо обмежитись лінійним наближенням. З урахуванням динамічної поляризації плазмового середовища найбільш адекватною для опису нерівноважного стану є кінетичне рівняння з інтегралом зіткнень Ленарда-Балеску. З урахуванням динамічної поляризації діелектрична проникність $\varepsilon=\varepsilon(kv,k)$. Для цих умов одержано співвідношення для вектору потоку:

$$j_i=\frac{8\pi^2A^2e^4k_{max}^4}{\omega_p^4m^3}p^{2S+5}\left(\frac{2S+9}{(S+2)(S+7)(S+9)}\right). \qquad (4.21)$$

де k – хвильове число;

p – імпульс електрону.

Встановлено, що існує два рішення: $S_p = -7/2,\ \ S_e = -9/2$, при яких виникають стаціонарні нерівноважні стани електронної підсистеми повітряного середовища малорозмірних отворів, щілин корпусів-екранів та кабельних каналів введення як з урахуванням динамічної поляризації, так і без неї.

Визначення впливу ЕМВ на іонізоване повітряне середовище в отворі корпусу РЕЗ здійснено шляхом одержання з системи рівнянь Максвела, що виражені через комплексні діелектричну та магнітну проникності іонізованого середовища, в припущенні незмінності просторового розподілу поля електричної напруженості при взаємодії імпульсного ЕМВ з іонізованим повітряним середовищем, хвильового рівняння в полярній системі координат:

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial r}\right)+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial \theta^2}-\frac{k}{c^2}\frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2}=0, \tag{4.22}$$

де c – швидкість світла.

Такий підхід дав змогу одержати вираз для опису розподілу вектору електричної напруги імпульсу ЕМВ радіочастотної зброї на межі повітря-іонізоване середовище отвору у наступному виді:

$$E(r,\theta,t)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\sum_{i=1}^{N}e^{j\omega_i t}\sum_{k=1}^{M}\left(\begin{array}{l}\dfrac{\cos k\theta}{2\pi}\displaystyle\int_{-\pi}^{\pi}E_0(\omega,\theta)\cos k\theta d\theta+\\ +\dfrac{\sin k\theta}{2\pi}\displaystyle\int_{-\pi}^{\pi}E_0(\omega,\theta)\sin k\theta d\theta\end{array}\right)\frac{L_n(r)}{L_n(m)}, \tag{4.23}$$

де

$$L_n(r)=J_n\left(\frac{r\omega}{c}\right)-\frac{1}{c^2}\left(J_n\left(\frac{r\omega}{c}\right)+\frac{\left(Z_n\left(\frac{a\omega}{c}\right)+Y_n\left(\frac{a\omega}{c}\right)\right)}{N_n\left(\frac{a\omega}{c}\right)}N_n\left(\frac{r\omega}{c}\right)+Z_n\left(\frac{r\omega}{c}\right)\right),$$

де N – кількість гармонік, які описують огинаючу функцію відбитих від іонізованого середовища хвильових пакетів;

M – кількість додатків ряду, що описують функцію з необхідною точністю;

$J_n$ – функція Беселя першого роду по індексу n;

$N_n$ – функція Неймана за індексом n.

$$E_0(\theta,\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\tau} e^{-j\omega t} E_{max} \exp\left(-\frac{t^2}{2a^2}\right) \sin(\omega t) \exp\left(-\frac{\theta_0^2}{\theta^2}\right) dt. \quad (4.24)$$

Функція $E_0(\omega,\theta)$, що стоїть під інтегралом в (24), визначає граничні умови задачі визначення розподілу поля електричної напруженості при взаємодії імпульсного ЕМВ з іонізованим повітряним середовищем в отворі корпусу-екрану РЕЗ КС.

Функція $Z_n\left(\frac{r\omega}{c}\right)$ визначається шляхом рішення неоднорідного рівняння Беселя для $L_n\left(r/c\right)$, яка визначається через параметр плазмової частоти. Модель розподілу поля електричної напруженості при взаємодії імпульсного ЕМВ з іонізованим повітряним середовищем в отворі корпусу-екрану РЕЗ КС (4.24) описує динаміку просторово-часового розподілу напруги НВЧ імпульсу, що формується радіочастотною зброєю, в іонізованому повітряному середовищі отвору корпусу-екрану РЕЗ КС з урахуванням кінетичних процесів в іонізованому повітряному середовищі, зокрема враховує вплив втрат заряджених часток на формування високопровідного каналу в отворі.

Наявність існуючих зразків ЕМЗ, що здатні генерувати та каналізувати ЕМВ УКТ на великі відстані, обумовило необхідність визначення фокусної відстані, впливу повітря на втрати потужності ЕМВ та нагрів електронів.

Знайдено, що потужне ЕМВ УКТ, що розповсюджується перпендикулярно до поверхні Землі, з потужністю $P = 10^{10}...10^{12}$ Вт, буде

проходити через повітряний простір при мінімальних фокусних відстанях $H_Ф = 130$ та $170$ км, відповідно.

Імпульсне ЕМВ з потужністю $P = 10^{10}$ Вт ($\tau_i = 50$нс) проходить через повітряний простір при $H_Ф \geq 70$ км. При $P = 10^{12}$ Вт ($\tau_i = 20$нс) мінімальна фокусна відстань складає $H_Ф \geq 85$ км. Оцінки виконанні з урахуванням втрат в дифузійній області та в області прилипання.

Застосування розроблених та наведених вище моделей та методик забезпечило можливість визначення концентрації електронів та балансу енергії на різних стадіях розвитку пробою, а також стало основою для обґрунтування та розробки енергетичного та часового критеріїв визначення умов гарантованого пробою в отворах РЕЗ КС.

Одержано, що плазмова стадія характеризується концентрацією електронів $n_0 = n(Q) = Q_Д \tau_c = G \frac{\tau_c}{\Delta i}$. Функція розподілу електронної компоненти для отворів малих розмірів рівноважна, великих отворів – нерівноважна.

Зміну концентрації електронів під впливом імпульсного ЕМВ на другій стадії розвитку високопровідного каналу представлено рівнянням:

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} = \left(\nu_i - (\nu_Д + \nu_П + \nu_{Др} + \nu_р)\right) n_0, \qquad (4.25)$$

де $\nu_в$ – частота втрат електронів;

$\nu_{др}$ – частота дрейфу електронів;

$\nu_р$ – частота рекомбінації електронів;

$\nu_Д$ – частота рекомбінації електронів;

$\nu_П$ – частота прилипання електронів.

Виконання умови:

$$\nu_i \geq \nu_Д + \nu_П + \nu_{Др} + \nu_р \tag{4.26}$$

означає початок появи лавини, концентрація якої в загальному випадку може бути представлена виразом:

$$n_{e_{пл}}(x,t) = n(Q,E_0,x,t) \times \exp\left(\nu_i - (\nu_Д + \nu_П + \nu_{Др} + \nu_р)\right)t, \tag{4.27}$$

На стадії формування високопровідного каналу та розвитку пробою зовнішнє поле, що формується зброєю ЕМІ, значно перевищує внутрішнє поле плазмового середовища. Але на межі лавина–стрімер ці поля вирівнюються.

Для існування електронної компоненти плазмового середовища з концентрацією $n_e = 10^6 см^{-3}$ при атмосферному тиску необхідно, щоб швидкість наробки електронів складала не менш ніж $10^{12} см^{-3} с^{-1}$. Забезпечення такої концентрації електронів можливе при наявності зовнішнього ЕМВ з Е0=10кВ/см, що нижче межі пробою повітря, але легко забезпечується за рахунок джерела іонізації на плазмовій стадії. При застосуванні α-радіоактивних джерел іонізації швидкість наробки електронів $10^{12} см^{-3} с^{-1}$ забезпечується при активності 10−2 …10−3 Кю/см3.

На третьому етапі для виконання умови $n \geq n_{кр}$ необхідно, щоб частота іонізації перевищувала втрати електронів за рахунок їх дифузії та дрейфу, і було враховано зменшення впливу ЕМВ на іонізаційні процеси за рахунок дисипативних процесів, що відбуваються при нерівноважному розподілі електронної компоненти:

$$n_{e_{пс}}(x,t)= n_{e_{пл}}(x,t)\exp\left(\nu_i'(E_0)-(\nu_Д+\nu_{Др})\right)t, \tag{4.28}$$

де $\nu_i'(E)$ – частота іонізації з урахуванням втрат енергії ЕМВ при взаємодії з нерівноважним плазмовим середовищем.

Рівняння блансу енергії на плазмово-стрімерній стадії розвитку пробою має наступний вид:

$$W_{пс} = W_{пл} + W_E - W_T - W_B - W_з, \tag{4.29}$$

де $W_{пл}$ – енергія плазмово-лавинної стадії;

$W_E$ – додаток енергії за рахунок зовнішнього поля;

$W_T$ – теплові втрати енергії;

$W_B$ – втрати енергії за рахунок випромінювання;

$W_з$ – втрати енергії за рахунок зіткнень.

Одержано вираз для умови виконання пробою в отворі РЕЗ КС під впливом ЕМВ, що створюється радіочастотною зброєю:

$$t_{кр}\nu_i' = \ln\left(\frac{n_{кр}(n_{пл},n_{пс})}{n\left(Q_Д\right)}\right), \tag{4.30}$$

де $t_{кр}=t_{пл}+t_{пс}$;

$t_{пл}=\frac{1}{\nu_{iпл}}\left[\ln\left(\frac{n_{крпл}}{n_0}\right)\right]$ – час формування лавини;

$t_{пс}=\frac{1}{\nu_{iпс}}\ln\left(\frac{n_{крпс}}{n_{крпл}}\right)$ – час формування стрімера.

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

$$E_п > \sqrt{\frac{4}{3}\frac{m_e}{e^2}W_E\frac{1}{\tau_i}\frac{\nu_i^2(Q,E)+\omega^2}{\nu_i(Q,E)}\ln\left(\frac{n_{кр}(n_{пл},n_{пс})}{n\left(Q_Д\right)}\right)}. \quad (4.31)$$

де $\frac{W_E}{e}=I_i$ [Дж/Кл] – потенціал іонізації.

Вираз (4.31) враховує умови здійснення гарантованого захисту отворів корпусів-екранів РЕЗ ОВТ з урахуванням фізичних процесів, що відбуваються на різних стадіях розвитку лавино-стрімерного пробою.

Чисельні оцінки залежності пробійної напруженості поля від початкової концентрації електронів в отворі РЕЗ наведено на рис. 4.5.

Показано, що зі збільшенням початкової іонізації в отворі РЕЗ ОВТ з $n_{e0}=10^9$ см$^{-3}$ до $n_{e0}=10^{10}$ см$^{-3}$ пробивна напруженість електричного поля при p=760 мм.рт.ст. зменшується з $E_П$=30кВ/см до $E_П$=5кВ/см.

При збільшенні висоти знаходження РЕЗ ОВТ, що призводить до зменшення величини повітряного тиску відбувається зменшення пробійної напруженості поля. Так збільшення початкової концентрації до $n_{e0}=10^{10}$ см$^{-3}$ при зменшенні повітряного тиску до p=10 мм рт.ст. призводить до зменшення пробійної напруженості електричного поля з $E_п$= 30кВ/см до $E_П$=20кВ/см.

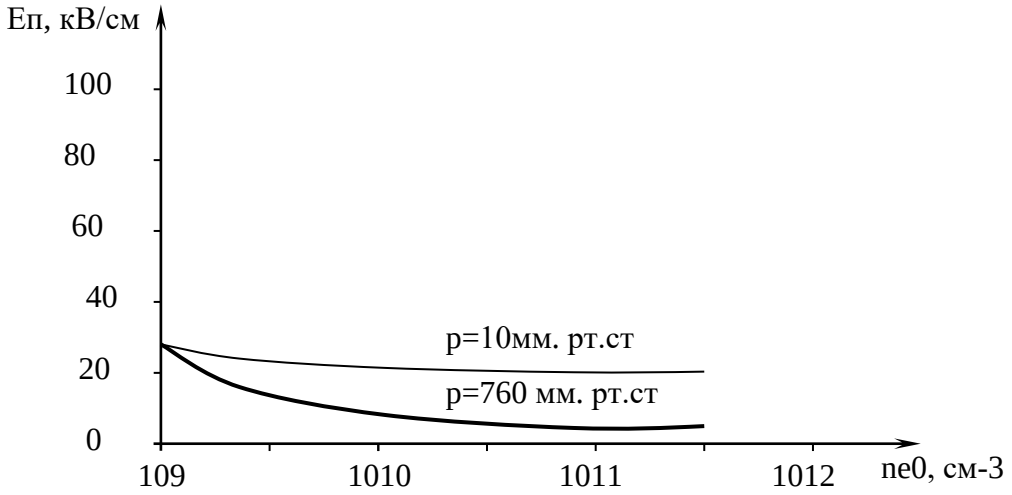



Рисунок 4.5 – Залежність пробійної напруженості поля від початкової концентрації електронів в отворі РЕЗ ОВТ

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.

Приклад реалізації пристрою захисту РЕЗ від потужного ЕМВ УКТ через отвори в їх корпусах та по кабельних каналах проникнення, наведено на рис. 4.6.

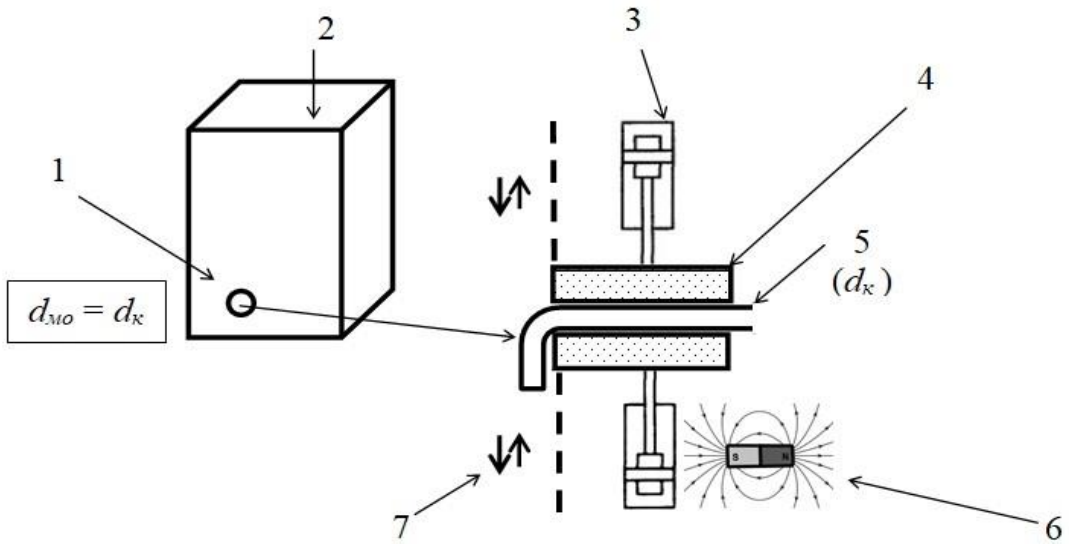



Рисунок 3.6 – Пристрій захисту РЕЗ від впливу потужного ЕМВ УКТ через отвори в їх корпусах та по кабельних каналах проникнення

Запропонований пристрій захисту РЕЗ від впливу потужного ЕМВ УКТ через отвори в їх корпусах та по кабельних каналах проникнення містить монтажний отвір 1, який знаходиться у корпусі РЕЗ 2, в середину якого входить кабель 5. На стінках корпусу поблизу з монтажним отвором РЕЗ або хвильоводною насадкою встановлено циліндри двосторонньої дії з поршнями 3,на поверхню яких нанесена плівка з $\alpha$ – радіоактивною речовиною 4, та соленоїд 6, що створює постійне магнітне поле, яке призводить до зменшення дифузії заряджених часток та, відповідно, до зменшення рівня пробійних полів та підвищення швидкодії пристроїв захисту.

## 4.4 Моделі поглинаючих та відбиваючих властивостей твердотільного плазмового середовища для захисту РЕЗ КС від впливу радіочастотних та лазерних засобів

Даний підрозділ присвячений дослідженню екрануючих властивостей твердотільного плазмового середовища для захисту РЕЗ КСТ від випромінювання радіочастотної та лазерної зброї.

Відповідно до умови (4.12) в розпаді приймають участь наступні хвилі:

$$t' \rightarrow t'' + \ell, \tag{4.32}$$

де $t'$ – падаюча електромагнітна хвиля;

$\ell$ – ленгмюрівська хвиля;

$t''$ – відбита хвиля.

З урахуванням (4.32) здійснено визначення умови забезпечення відбиття ЛВ від ізотропного твердотільного плазмового середовища. Визначення цих умов проведено для випадку злиття ленгмюрівських хвиль з

хвильовим вектором kl. Враховано, що падаюча ЕМХ та ленгмюрівська хвиля зв'язані розпадними умовами:

$$k_{t'}+k_l=k_{t''},\ \omega_l+\omega_{t'}=\omega_{t''}.$$

При виконанні умови $|k_l|>>|k_{t'}|$ ЕМХ розповсюджується в зворотному напрямку по відношенню до падаючої хвилі. З рівняння для опису розсіювання ЕМХ на ленгмюрівських хвилях знайдено амплітуду ленгмюрівських хвиль, при якій відбувається відбиття ЛВ, та потік енергії відбитого ЛВ:

$$\Pi_{t''}\approx\frac{cH_x^{(t'')}}{8\pi}\approx\frac{e^2}{(2m_e\omega)^2c}\left(\frac{k_l}{k_{t''}}\right)^2 A_Л^2 a_л^2, \qquad (4.33)$$

де $A_Л$ – амплітуда ЛВ;

$a_л$ – амплітуда ленгмюрівських хвиль;

Знайдено коефіцієнт перетворення T по потоку енергії падаючої хвилі в енергію відбитої хвилі:

$$T=\frac{S_{t''}}{S_{t'}}\approx\frac{e^2}{\left(2m_ec\omega\right)^2}\left(\frac{k_l}{k_{t''}}\right)^2 a_л^2. \qquad (4.34)$$

З (4.34) при T = 1 одержано вираз для амплітуди ленгмюрівських хвиль:

$$a_л^2\approx\left(\frac{k_{t''}}{k_l}\right)^2\frac{\left(2m_ec\omega\right)^2}{e^2}. \qquad (4.35)$$

В припущенні, що $\omega \approx (10...20)\omega_p$ знайдено чисельне значення коефіцієнта перетворення Т:

$$T=\frac{e^2 a_л^2}{4m_e^2 c^2 10^2 \omega_p^2} \approx (1...2)\cdot 10^{-10} a_л^2.$$

З урахуванням, що при повному відбитті ЛВ від твердотільного плазмового середовища Т=1, одержано величину амплітуди ленгмюрівських хвиль: $a_л=(0.165...0.33)10^3$. Показано, як при повному відбитті ЛВ від твердотільного плазмового середовища буде змінюватись амплітуда ленгмюрівських хвиль зі збільшенням розпадної нестійкості.

При розпадній нестійкості відбувається підсилення ленгмюрівських хвиль (інкремент наростання). З урахуванням інкременту наростання визначено амплітуду ленгмюрівських хвиль в наступному виді:

$$a_л=a_0 e^{\gamma_н t}, \qquad (4.36)$$

де а0 – амплітуда плазмових хвиль, що збуджуються ЛВ;

$\gamma_н=\frac{eA_л}{m_e \omega_t' c}\left(\omega_t' \omega_p\right)^{\frac{1}{2}}$ – інкремент наростання амплітуди плазмових хвиль.

Знайдено, що для типових значень енергії ЛВ $S_{t'} \approx 10^{10}\,\frac{Вт}{см^2}$ величина АЛ $\leq$104. Для одержаних значень визначено амплітуду ленгмюрівських хвиль для різних значень товщин захисного матеріалу Х. Встановлено, що для Х = 3мм на частоті ЛВ $\omega=10^{16}$ Гц величина ал $\geq$ 103 В/см, для Х = 0.3мм при $\omega=10^{17}$ Гц, $a_л \leq 10^3$ В/см.

Для реалізації механізму розпадної нестійкості у твердотільному плазмовому середовищі необхідно, щоб за час розвитку нелінійної взаємодії

$\tau_н = \frac{1}{\gamma_н}$ щільність плазми складала величину не менше 1010 см-3. При цьому ЛВ повинно проплавити екрануючий матеріал на глибину:

$$X = \tau_н T_п, \tag{4.37}$$

де $T_п$ – температура плавлення.

Температура плавлення може бути знайдена зі співвідношення:

$$T_п = \frac{S_{t'}}{\lambda_1 (1 + 2.2/y_0) \rho_0}, \tag{4.38}$$

де $\rho_0$ – щільність електронів в твердотільному матеріалі;

$\lambda_1$ – енергія зв'язку кришталевої грати;

$y_0 = \frac{\lambda_1}{kT_0}$;

T0 – температура поверхні матеріалу;

k – постійна Больцмана.

Оцінено товщину захисного екрану для обраних та розрахованих параметрів.

Для $n_0 = 10^{23}$ см$^{-3}$, $S_{t'} = 10^{10} \frac{Вт}{см^2}$, $\lambda_1 \sim 5$еВ та T0~ 0,1еВ товщина екрануючого матеріалу буде складати X ~ 1 мм.

Під впливом ЛВ в твердотільному середовищі виникає нерівноважний стан електронної підсистеми, що призводить до зміни його електрофізичних характеристик.

З рішення дисперсійного рівняння в умовах розпадної нестійкості одержано співвідношення для інкременту нестійкості, яке має вид:

$$\gamma_{н}(k)=\frac{\omega_p}{32\pi}\frac{a_0^2}{n_0 T_e}\left(\frac{k}{k_{ds}}\right)^2 \mathrm{Im}\varepsilon(\omega,k), \qquad (4.39)$$

де $\alpha 0$ – амплітуда ленгмюрівських коливань;

n0 – початкова щільність електронів в твердотільному плазмовому матеріалі;

Te – температура електронів твердотільного плазмового матеріалу;

$k_{ds}$ –хвильовий вектор Дебая.

Вираз (4.39) дає можливість оцінити збільшення коефіцієнта відбиття лазерного випромінювання від твердотільного плазмового середовища в нерівноважному стані в порівнянні з рівноважним (за умов відсутності деструктивного впливу ЛВ). Так типових умов (W =5 еВ , частота акустичних плазмових коливань ωps=3·1013 Гц, $V_{TE} \approx 10^6$ см/с, швидкість електронного звука $v_i \approx 6\cdot 10^7\sqrt{W}$, см/с) здійснено розрахунки відношення інкременту наростання:

$$\frac{\gamma_H(k)}{\gamma_0(k)} \approx (35...40)\ \text{дБ}. \qquad (4.40)$$

Встановлено, що створення умов розпадної нестійкості в твердотільному плазмовому середовищі забезпечує підвищення відбиття ЛВ до 40 дБ по відношенню до рівноважного стану плазмового середовища при незначній товщині екрануючого матеріалу.

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. 4.7.

Таким чином, показано, що без використання механізму розпадної нестійкості при товщині захисного матеріалу порядку одиниць міліметрів неможливо здійснити екранування РЕЗ ОВТ від ЛВ, оскільки незначне збільшення тривалості імпульсу практично не впливає на зниження проникаючої здатності імпульсного ЕМВ УКТ ЕМЗ.

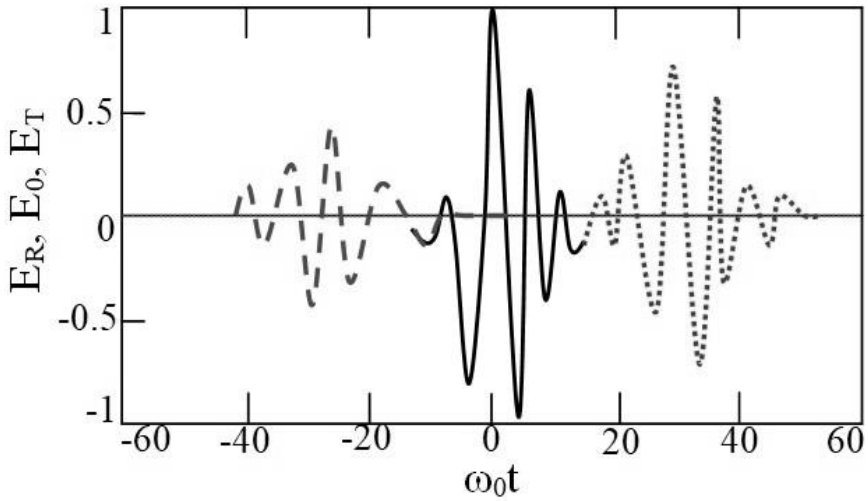



Рисунок 4.7 – Результати чисельного моделювання впливу дисперсійних властивостей твердотільного плазмового середовища на розпливання імпульсного випромінювання

Досліджено екранування імпульсного потужного ЕМВ твердотільним плазмовим середовищем з гексаферитовими елементами в частотному діапазоні радіочастотної зброї може бути забезпечене використанням багатошарового композитного матеріалу з відповідним типом наповнювачів та їх концентрацією. Встановлено, що використання в якості наповнювача порошку барієвого гексафериту структури BaFe12O19 з розмірами частинок 90-160 мкм може забезпечити в діапазоні частот від 25 до 275 ГГц поглинання від 25% до 70% в залежності від вмісту гексафериту. Застосування в якості наповнювача стронцієвого гексагонального фериту М-типу (SrFe12O19), легованого іонами титану, кобальту і алюмінію с

додаванням дрібнодисперсного карбіду заліза величина забезпечить поглинання ЕМВ від 5 до 21 дБ в діапазоні частот від 30 до 55 ГГц.

Метою експериментальних досліджень ставилось підтвердження можливості використання штучно створеного під впливом потужного ЕМВ високопровідного каналу в отворі корпусу-екрану РЕЗ КС в якості електромагнітного бар’єру для створення електрогерметичного екрану, а також підтвердження оцінок ступеня захисту отворів РЕЗ КС від імпульсного потужного ЕМВ УКТ, одержаних в результаті теоретичних досліджень.

З урахуванням відсутності радіоізотопної плівки, необхідної для створення попередньої іонізації в отворі корпусу РЕЗ ОВТ, було запропоновано використовувати тонкий мідний дріт між стінками отвору. При цьому для забезпечення максимальної чистоти експерименту та простоти його реалізації запропоновано експериментальні дослідження здійснювати в хвильоводному тракті відповідно до наведених вище досліджень [102-107].

Реєстрація параметрів ЕМІ здійснювалася з використанням цифрового осцилографу DPO 4104, який має похибку вимірювань не більше 1%. Осцилограми напруженості імпульсного електричного поля в ПЛ-48 для обраних значень амплітуди представлені (рис. 4.8, 4.9).

Часові параметри імпульсів наведені на осцилограмах напруженості електричного поля (рис. 4.8, 4.9).

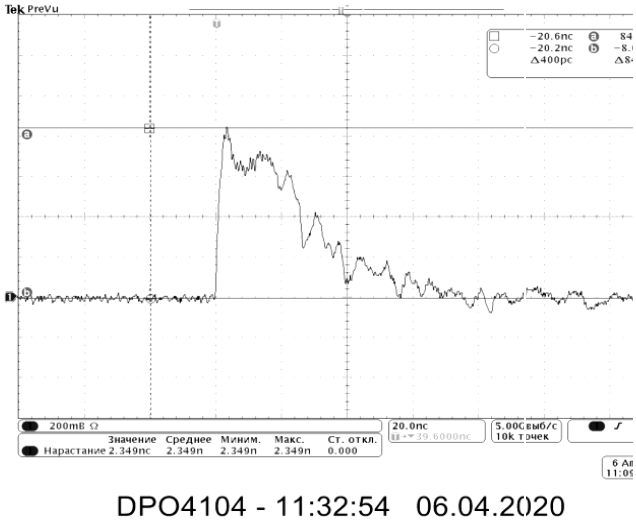



Рисунок 4. 8 – Осцилограма напруженості електричного поля при 15 кВ/м

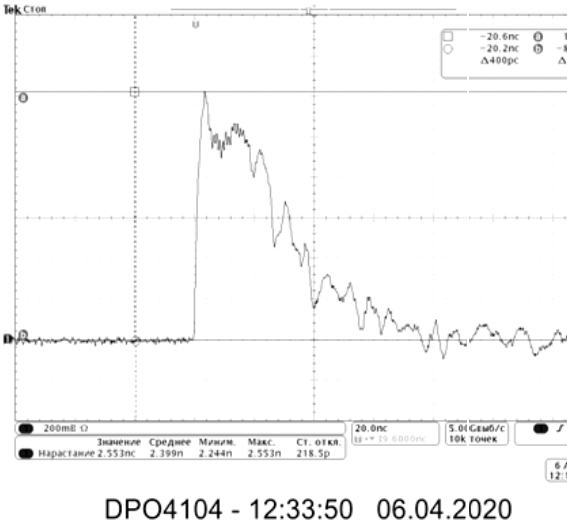



Рисунок 4. 9 – Осцилограма напруженості електричного поля при 23 кВ/м

Результати випробувань.

1. Відповідно до програми випробувань здійснено захист детекторного діоду з використанням тонкодротового наближення встановлено, що у всіх випадках впливу імпульсного ЕМВ УКТ діод залишався непошкодженим.

2. Застосування ЛМ без елемента захисту призвело до виведення зі строю випробувального елемента.

Таким чином, в результаті проведених експериментальних досліджень підтверджено результати теоретичних досліджень. Показано, що формування високопровідного каналу в отворах, щілинах корпусів-екранів РЕЗ КС, кабельних каналах введення здатне здійснити гарантований захист від впливу імпульсного потужного ЕМВ УКТ, що формується ЕМЗ.

Відповідно до розробленої методики обґрунтування вимог до засобів захисту РЕЗ КС від впливу потужного імпульсного ЕМВ УКТ в якості показника ефективності здійснення захисту використано ймовірність виконання бойової задачі $P_{ВБЗ}$ РЕЗ в умовах впливу ЕМЗ. Відповідно до результатів розробки моделі опису високопровідного стану та методу захисту отворів корпусів-екранів РЕЗ КС і кабельних каналів введення від

впливу потужного ЕМВ на основі формування високопровідного каналу, що визначає ймовірність виконання бойової задачі $P_{ВБЗ}$ в умовах впливу потужного ЕМВ на отвори, щілини корпусів-екранів РЕЗ, фактично означає ймовірність забезпечення та виконання умов здійснення гарантованого захисту отворів шляхом формування високопровідного каналу в отворі. Показник ефективності захисту отворів корпусів-екранів РЕЗ КС і кабельних каналів введення від впливу потужного ЕМВ представлено в наступному виді:

$$P_{ВБЗ}=P\left(E_п \le E\right)=f\left(W,\ \omega,\ \tau_i,\ \nu_i(Q,E),\ \ln\left(\frac{n_{кр}(n_{пл},n_{пс})}{n\left(Q_Д\right)}\right)\right). \tag{4.41}$$

Таким чином, створення умов, що визначаються відповідними до виразу (4.35) параметрами, забезпечить гарантований захист отворів корпусів-екранів і кабельних каналів введення РЕЗ ОВТ. З виразу (4.41) видно, що на здійснення гарантованого захисту ($P_{ВБЗ}=1$) можна впливати шляхом вибору необхідних параметрів джерела іонізації, урахуванням величини повітряного тиску відповідно до висоти знаходження РЕЗ, прогнозованих енергетичних та часових параметрів ЕМЗ та лінійних розмірів отворів, що необхідно до визначення впливу дисипативних процесів на втрати заряджених часток.

Визначено ступень зниження пробійної напруженості, яку представлено як:

$$U=20\log\frac{E_{пE}}{E_п}=20\log\left(\frac{30p\sqrt{2}\sqrt{1+\left(\frac{\omega}{4\cdot10^9 p}\right)^2}\left(1.1+1.5\cdot10^{-4}\frac{1}{p\tau_i}\right)^{1/5.34}}{\sqrt{\frac{4}{3}\frac{m_e}{e^2}W_E\frac{1}{\tau_i}\frac{\nu_i^2(Q,E)+\omega^2}{\nu_i(Q,E)}\ln\left(\frac{n_{кр}(n_{пл},n_{пс})}{n\left(Q_Д\right)}\right)}}\right). \tag{4.42}$$

Визначено ефективність екранування потужного ЕМВ твердотільним плазмовим середовищем з гексаферитовими елементами в припущенні, що матеріал товщиною l має нескінчену тривалість, на який падає плоска електромагнітна хвиля з параметрами Епад, Нпад, та є безперервним.

Чисельні розрахунки показали, що в діапазоні частот від 3 до 100 ГГц коефіцієнт загасання ЕМВ може досягати величини до 70 дБ при виборі величини активності джерела іонізації в координатному просторі або під впливом імпульсного потужного ЕМВ, енергія яких складає 60…70 мкКu/см2. Оцінки ефективності екранування потужного ЕМВ твердотільним плазмовим середовищем з гексаферитовими елементами показали потенційну можливість забезпечення екранування імпульсного ЕМВ УКТ в межах 62…72 дБ.

**Висновки з 4 розділу**

1.1. Вперше розроблена математична модель опису високопровідного стану слабоіонізованого повітряного середовищем, що виникає під впливом імпульсного ЕМВ УКТ та забезпечує захист отворів екранів-корпусів РЕЗ шляхом його замикання.

1.2 Отримав подальший розвиток комплекс моделей для опису взаємодії твердотільного плазмового середовища з потужним ЕМВ УКТ. При цьому:

а) отримала подальший розвиток формалізована математична модель опису модифікованих електрофізичних властивостей твердотільного плазмового середовища з гексаферитовими елементами;

б) отримала подальший розвиток формалізована математична модель опису процесу взаємодії ЛВ з плазмовим матеріалом, призначеним для захисту РЕЗ ОВТ шляхом відбиття цього випромінювання.

Результати розділу опубліковано [102, 103, 104, 105, 106].

# РОЗДІЛ 5
# МЕТОДИКА ВИБОРУ МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ У СИСТЕМІ СУДОВОЇ ЕКСПЕРТИЗИ

Бурхливий розвиток комп'ютерної техніки та телекомунікаційних систем призвело до різкого розширення можливостей отримання, зберігання і обробки інформації. Однією з найбільш зручних форм представлення інформації є графічні образи або зображення. Однак величезна інформаційна ємність зображень так чи інакше обмежує можливості їх використання при вирішенні різних наукових і практичних завдань. Незважаючи на швидкодію і інші обчислювальні ресурси сучасних комп'ютерів, ці обмеження виявляються відразу, як тільки обсяги інформації, що переносяться зображеннями, починають перевищувати деякі порогові значення. Інакше кажучи, наскільки б не розширювалися можливості сучасних засобів обчислювальної техніки і передачі даних по каналах зв'язку, завжди виникає потреба оперування об'єктами більшого обсягу, ніж ці кошти можуть забезпечити [124-127].

В даний час найбільш вузьким ланкою для передачі графічної інформації є цифрові канали зв'язку: їх пропускна здатність обмежує можливості швидкої передачі великих обсягів інформації за короткий час передачі. Все це торкається і каналів зв'язку інформаційної системи судової експертизи, яка зобов’язана відповідати досить жорстким критеріям ефективності та оперативності.

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[129-135].

Усе більше в матеріалах досудових, судових проваджень з'являються речові докази у вигляді електронних документів чи їх зображень, фотозображень, відеозаписів, сканованих копій, що мають цифрову природу утворення. З огляду на відносну легкість створення, модифікування, розповсюдження цифрових зображень, логічна в слідства чи суду виникає питання їх достовірності (автентичності) [136-140].

Досягнуті результати в області цифрових методів подання і стиснення зображень проте не вирішують повною мірою завдання їх ефективного представлення, що робить пошук ефективного представлення зображень актуальним. Одним із шляхів її вирішення є розробка інтелектуальних технологій обробки зображень, що забезпечують не формалізоване їх кодування, а розпізнавання їх просторової структури, яка і є носієм укладеної в них інформації, оскільки можливості отримання корисної інформації з зображень цілком і повністю визначається їх просторово-структурними властивостями і характеристиками.

Таким чином, встає актуальна задача проведення аналізу різноманітних адаптивних ортогональних перетворень інформації для виявлення більш ефективних.

## 5.1 Способи формування й збереження фотозображень. Характер спеціальних знань, що використовуються при їх дослідженні

Отримання інформації про факти за допомогою спеціальних знань є специфічною для судової експертизи формою пізнавальної діяльності.

Судово-експертна галузь знань є науковою базою для проведення експертизи, а експертна практика, у свою чергу, ставить завдання перед судово-експертною галуззю, визначаючи напрям її розвитку, поставляє емпіричний матеріал для наукових експериментів і узагальнень. При цьому судово-експертна галузь знань залишається формою знань і видом діяльності, спрямованої на впровадження нових знань, а судова експертиза – видом

діяльності із застосування цих знань для вирішення питань, що виникають на час досудового розслідування та розгляду конкретних судових справ [141, 142].

Зазначене зумовлює необхідність розрізнення понять «предмет судово-експертної галузі знань» і «предмет судової експертизи», який є похідним від галузевих знань. Теоретична розробка визначення конкретного предмета судово-експертної галузі знань дає можливість створити наукову базу й побудувати відповідну організаційну структуру галузевих знань, що у свою чергу дозволяє визначити можливості й межі певної судової експертизи.

Судова фототехнічна експертиза створювалась і розвивалась як підвид криміналістичної експертизи, базуючись на досягненнях криміналістичної техніки та фотографії. Предмет фототехнічної експертизи складається з фактичних даних, що стосуються справи та пов’язані із зафіксованою у фотознімках інформацією, технікою й технологією їх виготовлення [136, 137]. Це визначення предмета фототехнічної експертизи досить чітко описує основні його складові як виду судово-експертної діяльності, але не окреслює предмет галузі знань, який за загальним філософським трактуванням складається із зафіксованих у досвіді й уключених у процес практичної діяльності людини сторін, властивостей і відносин об’єкта, що досліджується, із визначеною метою в даних умовах і обставинах. Іншими словами, предмет – це логічно й практично зумовлена поданість об’єкта у певному знанні. У зв’язку з цим, проаналізуємо поданість сучасних об’єктів дослідження та їх властивостей у системі знань у галузі фототехнічної експертизи.

За природою фотознімки є джерелом інформації про зовнішній вигляд (образ, стан) середовища (об’єкта) у конкретний момент часу, яка створюється оптичним шляхом засобами центральної проекції. Такий шлях формування інформації є об’єктивним відбитком матеріальної сутності середовища у вигляді графічних зображень. Для фіксації цієї інформації тривалий час використовували світлочутливі властивості галогенів срібла,

що тонким рівномірним емульсійним шаром наносилися на плоску поверхню різних за властивостями підкладок (прозорої плівки, скла чи паперу). Під дією світла, яким формується зовнішній вигляд середовища, змінюється внутрішня енергетична структура галогенів срібла в емульсійному шарі, тобто формуються так звані «центри прихованого зображення». Візуалізація цих центрів досягається фізико-хімічним обробленням емульсії (проявлення, фіксація), що дозволяє спостерігати оптичний образ навколишнього середовища у вигляді плоскої графічної картини. При цьому перехід між довільно обраними ділянками відтвореного зображення є плавним і нерозривним. Із розвитком електроніки та цифрових технологій засоби фіксації такої інформації суттєво змінилися. Світлочутливу емульсію із галогенів срібла замінили на сукупність приладів із зарядовим зв’язком (ПЗЗ (CCD) матриця – матриця приладів із зарядовим зв’язком). Оптичний образ навколишнього середовища, що формується засобами центральної проекції (об’єктива) на поверхні кожного елемента ПЗС матриці, зумовлює картину розподілу електричного заряду по елементах матриці відповідно до інтенсивності їх освітлення. Після формування цієї картини здійснюється процедура зчитування заряду із кожного елемента матриці шляхом послідовного зміщення цих зарядів по елементах рядка матриці (за рахунок ефекту зв’язку зарядів між елементами, який передається при підключенні напруги на елемент). Із крайнього правого елемента знімається послідовність електричних імпульсів відповідно до їх величин на кожному елементі рядка. Імпульси слідують із частотою, із якою проводиться зміна напруги на кожному елементі рядка, тобто імпульси зчитуються роздільно із частотою дискретизації, що відповідає частоті змінення напруги на елементах рядка. У подальшому імпульси піддаються підсиленню та квантуванню на дискретні рівні. Отже, здійснюється перетворення аналогової форми сигналу в дискретну. У результаті такого перетворення формується цифровий образ, дані про який за допомогою засобів цифрових технологій фіксуються на відповідному технічному носієві інформації. Записи даних проводяться

відповідно до розроблених уніфікованих форматів цифрових графічних файлів. Відтворення відповідного оптичного образу із зафіксованої інформації здійснюється шляхом установлення кожному елементу матриці оптичної щільності згідно з величиною заряду. Отже, відтворений образ складається з окремих дискретних елементів, оптична щільність яких відповідає встановленим рівням квантування. Для нівелювання дискретності зображень використовуються матриці із значною кількістю елементів (більше $10^6$ пікселів). Застосовується оброблення відтворюваних образів фільтрами, що покращують їх візуальне сприйняття тощо. Для отримання кольорового зображення середовища формується три зображення в додаткових кольорах, що збільшує об’єм даних про зображення в 3 рази. Але фізичні можливості технічних носіїв інформації по об’єму пам’яті обмежені, тому отримані цифрові образи до їх фіксації на технічний носій піддаються обробленню, а саме: визначенню коефіцієнтів корекції по двох кольорових шарах, логічному зменшенню розмірності матриці, стисканню даних тощо. Ці операції призводять до часткової втрати якості образу, але на порядки зменшують об’єм його даних, що підлягають фіксації [139-145].

Таким чином, можна стверджувати, що відповідність відтвореного образу (фотозображення) його оригіналу, як і зафіксованої в образі інформації про нього, залежить як від природних закономірностей формування цього образу, так і технічних характеристик пристрою формування, оброблення й запису даних у вигляді графічних файлів. Знання про закономірності та процеси, за якими створюються графічні файли, відносяться до таких фундаментальних галузей знань, як геометрична оптика, проективна геометрія, фізична електроніка, математика, комп’ютерне програмування та формування графічних файлів, фототехніка.

Знання з геометричної оптики та проективної геометрії про світлотіньову проекцію об’єкта, передачу його перспективи (геометричної, тональної, кольорової), формування глибини різкості, контрастності, насиченості та роздільної щільності елементів тощо дозволяють визначати за

образом інформацію про об’єкт дослідження: його морфологічні властивості, розміри, колір, розташування, установлення його типу тощо. Фототехнічні засоби, що задіяні в процесі формування зображень, можуть впливати як на загальний вигляд образу (формування гіперперспективного чи плаского зображення образу, дестабілізація об’єктива), так і на окремі його частини (локальні спотворення образу у вигляді аберацій, дисторсій, відсутність окремих елементів (втрати в тінях і висвітленнях), локальні шуми тощо). Закономірності їх проявлення та методи виявлення складають специфічну функцію експертних знань у галузі судової фототехнічної експертизи.

На етапі формування та зйому електричного відгуку оптичного образу відбуваються окремі спотворення, обумовленні нерівномірністю сигналів рівням освітлення, підйомом рівня шуму тощо. Це зумовлено закономірностями фотон-електронної взаємодії в структурі матеріалу матриці (наприклад, напівпровідникового p-n переходу), розсіюванням світла поверхнею матриці, підвищенням чутливості тощо, які розглядаються фізикою напівпровідників. Із метою зменшення дії цих факторів застосовуються спеціальні процедури нормування сигналу: підвищення рівня сигналу до норми, визначення шуму та його віднімання, що здійснюється апаратно за визначеними математичними моделями. Безумовно, ці процедури підвищують якість зображення, створюючи максимальну апроксимацію електронного образу до його оптичного виду. Запровадження цих процедур є результатом математичного моделювання та аналізу процесів у фізелектроніці. Знання про це та врахування цих процедур дає можливість експерту зробити правильну оцінку при проведені піксельного аналізу зображень, що також належить до специфіки фототехнічної експертної галузі знань.

Перетворення унормованого аналогового електричного відгуку з елемента матриці в цифрову форму здійснюється аналогово-цифровим перетворювачем (АЦП), на виході якого є цифровий сигнал у вигляді двоїчного коду, який за визначеним алгоритмом записується в оперативну

пам’ять фотоапарата без оброблення. Якщо фотоапаратом чи іншим засобом відео- чи фотозйомки не задані які-небудь процедури оброблення даних, то ці дані разом із метаданими, що формуються засобом зйомки, записуються на технічний носій інформації у форматі RAW. Цей спеціально розроблений для фотографій формат дає максимальний об’єм інформації про фотозображення та дає багато переваг для редагування зображень – корекції експозиції, кольору, шуму. При експертному дослідженні фотозображень у форматі RAW можна дослідити піксельну структуру та стан матриці фотоапарата, установити його індивідуальні ознаки тощо. Але об’єм даних, що мають файли в цьому форматі, досить значний, а технічні носії інформації, які використовуються для їх запису, мають обмежений ресурс пам’яті, у зв’язку з чим проводять оброблення даних із метою їх стиснення. Залежності від мети використання фотознімка фотограф на фотоапараті може обрати відповідний режим, який може зменшити кількість пікселів у розмірі зображення та стиснути дані за вибраними алгоритмами з подальшим формуванням відповідного формату файлу. У сучасних фотоапаратах найбільше поширеним є формат jpg, який був розроблений для передачі зображення каналами зв’язку та публікацій в Інтернеті. Формат передбачає такі алгоритми обробки, щоб зберігалася основна частка інформації про яскравість пікселів. Колір обчислюється на основі урізаних даних. Тому в цьому форматі зображення записуються з істотними втратами кольору та меншими втратами яскравості й контрасту. Отже, цей формат забезпечує достатню якість для аматорських фотографій і перегляду знімків на моніторі, публікацій в Інтернеті та друку до формату А4 включно. На відбитках більшого розміру вже стає видно всі погрішності та втрати в якості, обумовлені стисканням даних. У практиці зустрічаються й інші формати, які створені для використання в різного роду пристроях: телефонах, відеокамерах, принтерах та інших засобах оргтехніки.

Таким чином, базовими знаннями для визначення інформації про техніку та технологію отримання фотознімків для спеціальних знань у галузі

судової фототехнічної експертизи є знання в галузі радіоелектроніки та комп'ютерної техніки. Специфіка спеціальних знань цієї галузі судово-експертних знань полягає в тому, що визначення інформації про техніку та технологію отримання фотознімків проводиться за наданими на експертизу фотознімками, знання про якості та закономірності виникнення яких не належать до предмета базових знань і є специфічними у формуванні спеціальних знань у галузі фототехнічної експертизи. Практичні напрацювання судових експертів у цій галузі дозволили сформувати основні ознаки властивостей, що відображаються у фотознімках, понятійний апарат і відповідне методичне забезпечення. Це створило базис спеціальних знань, який, ураховуючи значний розвиток цифрових технологій і сенсорів зйому інформації, потребує подальшого розвитку для ефективного забезпечення судово-експертної практики.

Фототехнічна експертиза досліджує фотографічні зображення, які можуть бути будь-якими за властивостями та змістом. Аналізу можуть бути піддані будь-які фотографічні об'єкти – цифрові знімки, негативи, виконані на стандартній фотоплівці, паперові відбитки (знімки) та ін. Якщо в процесі розгляду позову або судової справи стає необхідним комплексне дослідження фотографічних матеріалів таких, як цифрові й паперові фотографії, то може бути призначена судова фототехнічна експертиза. Аналіз у цій сфері проводиться за допомогою виявлення невідповідностей досліджуваного об'єкта закономірностям формування фотографій. Найчастіше досліджуються:

- будь-які фотографії – паперові й цифрові;
- матеріали, які використовуються для виготовлення фотографій;
- дані й факти щодо умов роздрукування фото;
- безпосередньо об'єкти, зображені на фотознімках.

Фототехнічна експертиза проводиться в разі необхідності ідентифікації об'єктів за їх фотографіями, виявлення техніки та матеріалів, які використовуються для виробництва знімка, установлення марок і типів

плівок і фотопаперу. Також судова фототехнічна експертиза допомагає встановити випадки механічного або цифрового впливу на фотографію, наприклад ретуші, монтажу. Крім цього, такий аналіз може допомогти із з'ясуванням подробиць, за яких створювалося фото.

Залежно від наявних завдань, експертиза фотографій може або ідентифікувати конкретний об'єкт на фотографії, або класифікувати об'єкти за певними групами. Експерт може діагностувати ті або інші властивості фотографій, визначити яким чином і як давно вони були зроблені, а також відновити первинний зовнішній вигляд знімка.

Фототехнічна експертиза дозволяє встановити:

- які розміри зображених на знімку об'єктів;
- на якій відстані один від одного знаходилися два зображених на знімку об'єкта;
- при якому освітленні, природному або штучному, проводилася зйомка;
- піддавався фотознімок додатковому обробленню;
- чи застосовувалася ретуш при виготовленні знімка;
- сфотографовані чи зображені на знімку об'єкти з натури або вони являють собою репродукцію друкованого видання;
- чи є на знімку ознаки монтажу;
- чи не виготовлені фотознімки з використанням даного фотоапарата;
- чи віддруковані надані фотознімки із застосуванням даного принтера;
- чи зображені на фотознімку предмети, вилучені в обвинуваченого, ділянка місцевості.

## 5.2 Використання вейвлет перетворень для підвищення ефективності проведення судової експертизи

В теперішній час існує значна кількість методів методи обробки, фільтрації, стиску, розпізнання і передачі інформації, які відповідають завданням судової експертизи цифрових зображень. Вони дозволяють побудовати загальну схему досліджень, порядок дій експерта при попередньому дослідженні, дії при візуальному аналізі та аналізі метаданих у межах аналітичного дослідження. Однак слід зауважити, що ефективність візуального аналізу цілком залежить від кваліфікації та стану зору експерта й містить значний суб'єктивний фактор. Аналіз метаданих є ефективним лише в разі примітивних підробок, бо EXIF-дані фотографії можуть бути легко відредаговані існуючими EXIF-редакторами.

На наш погляд, основна увага має бути приділена методам розширеного аналізу зображень із використанням спеціалізованого програмного забезпечення [159 - 161].

Проте за методикою, використання різних методів (ELA, PCA, wavelet та ін.) [136-137] у межах розширеного аналізу зображень означено лише концептуально без конкретних рекомендацій щодо обмежень їх використання та запобігання отримання експертом хибного висновку – визначення ознак фотомонтажу або ретушування за відсутності таких (помилка першого роду), або визначення їх відсутності в редагованому зображенні (помилка другого роду). Це змушує експертів застосовувати означені та інші методи на свій розсуд, з урахуванням свого досвіду, що призводить до протилежних висновків різних експертів за одним і тим самим провадженням.

Використання для аналізу зображень існуючих методів комп'ютерної обробки дозволяє отримати більше інформації про досліджуваних зображеннях, визначити акти зміни зображення і істотно скоротити час, необхідний на передачу цих зображень. [145 - 151].

Одним з найбільш перспективних засобів обробки зображень є вейвлет-перетворення сигналу, яке є сигнально-незалежним [147-154]. Октаво смужне розбиття спектра, вироблене їм, підходить для більшості, але не для всіх реальних сигналів. Бажано було б мати перетворення, адаптоване до сигналу, подібно ПКЛ, але має швидкий алгоритм виконання. Це еквівалентно тому, що перетворення було б здатне довільно змінювати структуру розбиття частотна-часової площини в залежності від сигналу. Каскадно з'єднані блоки вейвлет фільтрів дозволяють досягти цього. Вейвлети можуть бути ортогональними, полуортогональнимі, біортогональних. Ці функції можуть бути симетричними, асиметричними і несиметричними. Розрізняють вейвлети з компактною областю визначення і не мають такої. Деякі функції мають аналітичний вираз, інші - швидкий алгоритм обчислення пов'язаного з ними вейвлет-перетворення. Вейвлети розрізняються також ступенем гладкості. Все це розмаїття визначає основний напрямок досліджень, проведених в даній статті-аналіз застосовності різних варіацій вельвет перетворення для обробки зображень в інтересах судової експертизи.

Метою даного розділу є визначення можливості використання адаптивних перетворень, що на основі введеної функції вартості реалізують довільне розбиття частотна-часовій площині сигналу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі приватні задачі:

- провести аналіз так званих пакети вейвлетов, або адаптації в частотної області;
- проаналізувати алгоритм подвійного дерева, або адаптацію базису розкладання як в частотній, так і в просторової областях;
- провести дослідження розмірності бібліотеки базисів для всіх перетворень і їх обчислювальної складності.

Отже, вейвлет-перетворення сигналу виконується шляхом його пропускання через каскадно з'єднані двоканальні схеми А-С. При цьому

каскадованне проводиться по низькочастотної області. Причина цього в неявному припущенні, що ця область містить більше інформації про вихідний сигнал. В результаті виходить «однобоке» дерево (рис. 4.1 (а)). Дане припущення виправдано для багатьох реальних сигналів. Справді, воно означає, що наш сигнал є низькочастотних на великому інтервалі часу, а високочастотні складові з'являються на короткому інтервалі. Однак для деяких сигналів це припущення не виконується. Метод пакетів вейвлетів заснований на визначенні того, з якої області на даному рівні вигідніше виробляти каскадованне. Для цього спочатку проводиться каскадованне по обидва субсмугам. В результаті виходить так зване «повне», «збалансоване» дерево (рис. 5.1 (б)), що нагадує дерево, властиве короткочасного перетворення Фур'є. Далі, на основі введеної функції вартості визначається найкращий шлях по цьому дереву (рис. 5.1 (в)). Якщо вихідний блок вейвлет-фільтрів був ортогональним, то і схема, відповідна будь-якої конфігурації дерева, буде ортогональної, так як вона є не що інше, як каскадне з'єднання ортогональних блоків. Таким чином, виходить базис, адаптований до сигналу. Відзначимо, що ця адаптація не вимагає навчання або знання статистичних властивостей сигналу.

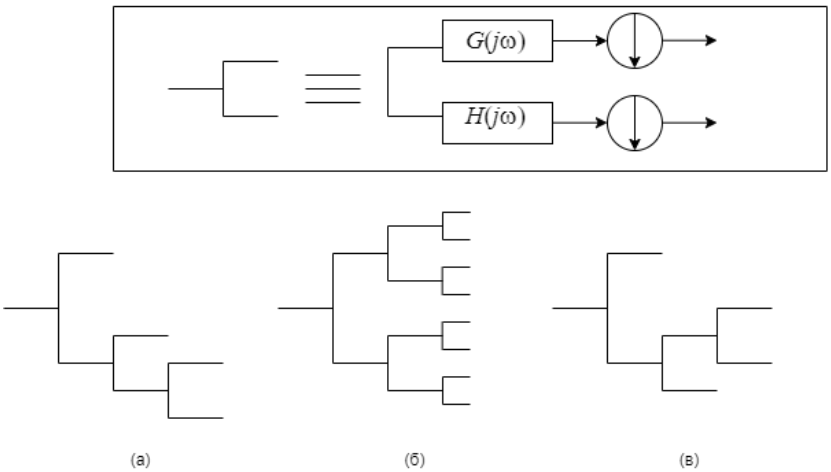



Рисунок 5.1. Розбиття частотна-часовій площині за допомогою пакетів вейвлетів: (а) вейвлет-декомпозиція; (б) повна, аналогічна STFT декомпозиція; (в) приклад декомпозиції за допомогою пакетів вейвлетів

Вейвлет-перетворення (DWT), як і STFT, є окремим випадком цього базису. Адаптивність досягається за рахунок збільшення обчислювальної вартості. На щастя, розроблений швидкий алгоритм пошуку найкращого базису. Пакети вейвлетів були розроблені і досліджені Р.Койфманом і М.Вікерхаузером. В якості опції вартості вони використовували ентропію, що розуміється ними, як «концентрацію» числа коефіцієнтів $E$, потрібних для опису сигналу. Ця функція буде великий, якщо коефіцієнти приблизно однієї величини, і малої, якщо все, крім кількох коефіцієнтів, близькі до нуля. Таким чином, будь-який усереднення призводить до збільшення ентропії. Функція вартості повинна бути адитивною. Це означає, що

$$E(0) = 0 \text{ та } M(\{x_i\}) = \sum_i M(x_i) \tag{5.1}$$

Під ентропією в даному контексті розуміється величина:

$$E = -\sum_{i=1}^{k} p(i) * \log [p(i)], \tag{4.2}$$

де $p(i)$ – ймовірність стану $i$;

k – кількість станів.

$$p_n = |x_n|^2 \|x\|^2. \tag{4.3}$$

Ця ентропія обчислюється для кожного вузла повного дерева пакета вейвлетів. Далі порівнюється сума ентропії двох нащадків і ентропія їх предку на дереві. Якщо ентропія предку виявилася менше, відмовляємося від його декомпозиції, тобто «обрізаємо» дерево. Алгоритм рекурсивне триває до досягнення вершини дерева. Доведено, що даний алгоритм призводить до найкращого базису щодо $M$.

Алгоритм одиночного дерева

Для вирішення завдання стиснення сигналу вибір ентропії як функції вартості, можливо, не є найкращим. У роботах, присвячених стиску зображень, в якості опції вартості використовується функціонал Лагранжа $J = D + \lambda R$. Тут $D$ - спотворення (середній квадрат помилки), що вноситься за рахунок непередана коефіцієнта вузла, $R$ - кількість біт, необхідних для опису коефіцієнта на цьому вузлу і λ - множник Лагранжа. Ця функція вартості включає в себе два окремих випадки: тільки спотворення ($\lambda=0$) і тільки швидкість ($\lambda = -\infty$). Алгоритм виконується так само, як і в разі вибору в якості опції вартості ентропії. Ухвалення рішення для одного з вузлів дерева показано на рис. 5.2.

Даний алгоритм отримав назву алгоритму одиночного дерева. Він був застосований для кодування зображень. При цьому на кожному етапі зображення ділилося на чотири субсмугі (структура, звана квадродерева вейвлет-коефіцієнтів). При застосуванні цього алгоритму для цілей стиску не можна забувати про необхідність передавати декодера інформацію про структуру дерева. Одним з методів може бути посилка декодера одного біта, що вказує, проводилася чи ні декомпозиція вихідного зображення. Якщо - так, то посилаємо ще чотири біта, що вказують рішення по розподіленню кожної з субсмуг. Легко показати, що для дерева максимальної глибини $d$ число додаткових біт не перевищує $N = \sum_{k=1}^{d} 4^{k-1} = \frac{1}{3}(4^d - 1)$. Скажімо, при 4 уровневом розбитті зображення розміром 512x512 потрібно 85 біт або приблизно 0.000324 біт / піксель, що зовсім небагато.

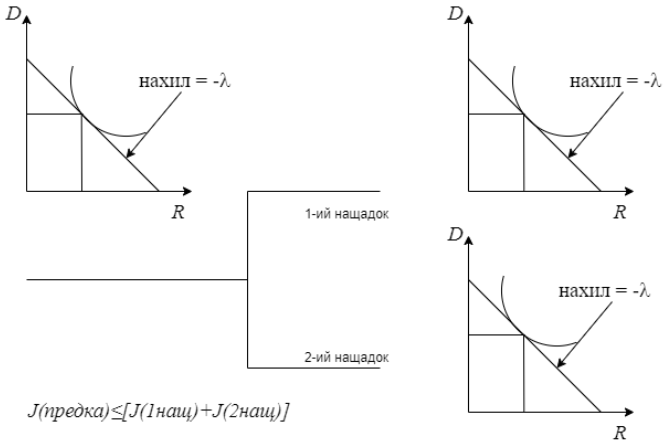



Рисунок 5.2. Ухвалення рішення в алгоритмі одиночного дерева

Алгоритм подвійного дерева

Хоча вейвлет-пакети є більш гнучким засобом декомпозиції сигналів, ніж вейвлет-перетворення, вони не змінюються, а значить, і не адаптуються в часі (просторі). Ряд важливих класів сигналів (мова, зображення) є нестаціонарними в часі і вимагають більш гнучкого розкладу. Наприклад, для зображення адаптація може бути досягнута шляхом виконання просторової сегментації і застосування алгоритму одиночного дерева до кожного сегменту. Це призводить до просторово постійно змінюваних вейвлет-пакетів. Швидкий алгоритм, що дозволяє досягти подібного розбиття, отримав назву алгоритму подвійного дерева. Алгоритм подвійного дерева заснований на спільному пошуку найкращого (бінарної) просторової сегментації і частотного розбиття для кожного сегмента сигналу. Даний алгоритм базується на теорії просторово змінюються блоків фільтрів. Дамо коротке пояснення роботи алгоритму на прикладі одновимірної декомпозиції (рис.5.3), маючи на увазі, що перехід до двовимірному нагоди елементарний.

Припустимо, що сигнал містить чотири субсмузі - A, B, C, D. Ми можемо побудувати одиночне дерево для всього сигналу (ABCD), для двох його половинок після виконання сегментації (AB або CD) або для кожної з чвертей (A, B, C, D). Зрештою, ми отримаємо надмірне уявлення сигналу -

структуру подвійного дерева - деревоподібну сегментацію в часі і частоті. Для спільного пошуку найкращої сегментації в часі і кращого базису вейвлет-пакетів для кожного сегмента виконується наступне. Для кожного можливого тимчасового сегмента довжиною, кратною ступеня двійки, виконується розкладання за допомогою вейвлет-пакетів. Знайдені значення вартостей Лагранжа сегментів записуються у вигляді бінарного дерева. Далі до одержали дереву застосовують алгоритм одиночного дерева для знаходження найкращого сегментації.

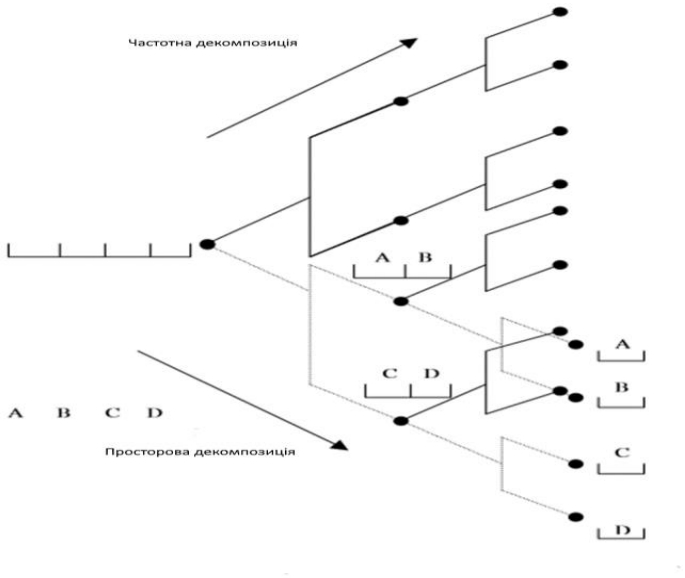



Рисунок 5.3. Повне подвійне дерево глибиною 2 для одновимірного сигналу. Суцільні лінії показують частотне дерево, штрихові - просторове

Може бути показано, що число додаткових біт, яке необхідно надіслати декодера для дерева максимальної глибини $d$, визначається за формулою $N = \sum_{k=1}^{d-1} 4^k$. Для зображення розміром 512x512 і дерева глибиною 5 число біт одно 341 або 0.0013 біт / піксель.

Частотно-тимчасове дерево

Алгоритм подвійного дерева (див. підрозділ 4.2) володіє деякою асиметрією. Справді, дерева в частотної області будуються над тимчасовими

сегментами, але не навпаки. Частотно-тимчасове дерево має структуру квадродерева. Ми бачимо, що кожен батьківський вузол має дві пари нащадків: тимчасові і частотні сегменти. Обрізання цього дерева здійснюється шляхом порівняння значень функції вартості Лагранжа. Порівняння виконується для просторової і частотної пари на кожному вузлі в напрямку від листя дерева до його вершини. В результаті виконання алгоритму виходить оптимальне двійкове дерево розбиття по частоті і по часу повної глибини. У цьому його відмінність від алгоритму одиночного дерева, де обрізане дерево має, як правило, неповну глибину. Різниця між алгоритмами одиночного, подвійного і частотно тимчасового дерева може бути легко з'ясована, якщо поглянути на розбиття частотно-часовій площині, вироблене ними (рис. 5.4). Відзначимо, що на рис. 5.4 (а) кожний розподіл по частоті відноситься до всього сигналу, так як структура дерева не змінюється в часі. Розбиття, показане на рис.5. 4(б), неможливо отримати за допомогою алгоритму одиночного дерева. Вертикальна лінія посередині відповідає сегментації в тимчасовій області. Відзначимо, що двом половинкам сигналу відповідають різні поодинокі дерева. Розбиття, представленого на рис. 4.4 (в), можна досягти тільки з використанням алгоритму частотно-часового дерева. Для кодування зображень алгоритм частотно-часового дерева нескладно перенести на двовимірний випадок. Тоді виходить просторово-частотне дерево. Недоліком розглянутих алгоритмів є принципове обмеження двійковій сегментацією в часі. Звідси випливає також чутливість тимчасової сегментації до зрушень вихідного сигналу. Для ліквідації цієї чутливості відомий алгоритм, заснований на динамічному програмуванні і названий деревом гнучкою просторової сегментації. При цьому розбиття в частотної області залишається бінарним, так як використовується двоканальний блок фільтрів. Даний алгоритм включає в себе як окремі випадки все вище розглянуті алгоритми. Основним недоліком його є неможливість простого перенесення алгоритму на двовимірний випадок для кодування зображень

Порівняння обговорюваних алгоритмів

Порівняння алгоритмів зробимо за такими параметрами: 1) розмірність бібліотеки базисних функцій, серед яких здійснюється пошук найкращої; 2) обчислювальна складність; 3) ефективність кодування реальних зображень.

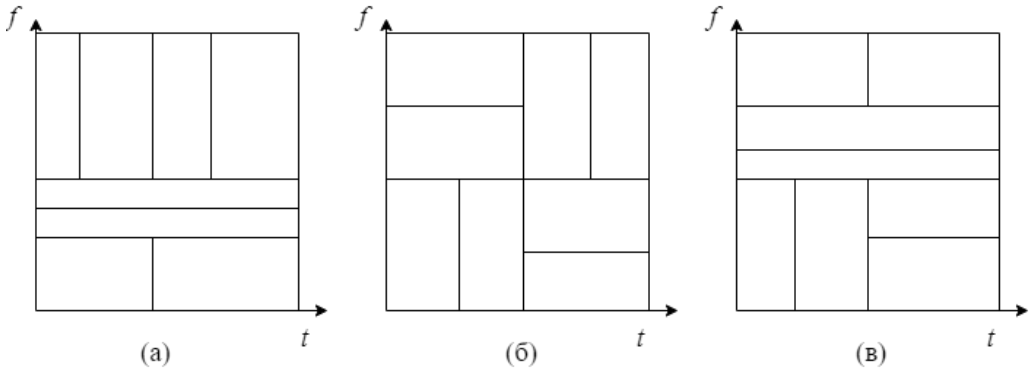



Рисунок 5.4. Приклади розбивки, що досягаються різними алгоритмами: (а) алгоритм одиночного дерева; (б) алгоритм подвійного дерева; (в) алгоритм частотно-часового дерева

Розмірність бібліотеки базисів

Може бути показано, що для одновимірного сигналу довжиною *N* при застосуванні двоканального блоку фільтрів число базисів *S(N)*, які перебираються алгоритмом одиночного дерева, обчислюється рекурсивно:

$$S(N) = [S(N/2)]^2 + 1, \tag{5.4}$$

де S(2)=2.

Це випливає з таких міркувань. Будь-яке бінарне дерево може бути представлено у вигляді суми двох субдерев висотою на 1 менше. Якщо

кількість базисів в цих субдеревах S(N/2) =, то кількість базисів у всьому дереві $(N) = [S(N/2)]^2 + 1$. Для спрощення аналізу алгоритму подвійного дерева припустимо, що використовуються фільтри Хаара, так як в цьому випадку не потрібно застосування граничних фільтрів.

Аналогічно попередньому випадку може бути показано, що кількість які перебираються базисів

$$D(N) = [D(N/2)]^2 + S(N) - S(N/2), \tag{5.5}$$

де *D(2)=2* , а $(N) - S(N/2)$- кількість «нових» базисів одиночного дерева, коли немає просторової сегментації.

Кількість базисів для частотно-часового дерева може бути обчислено аналогічно (для фільтрів Хаара):

$$B(N) = 2\left[B[N/2]\right]^2 - \left[B[N/4]\right]^4, \tag{5.6}$$

*де B(2)=2.*

У разі використання інших фільтрів кількість базисів збільшується за рахунок застосування граничних фільтрів або періодичного розширення сигналу і стає рівним $B(N) = 2\left[B[N/2]\right]^2$.

Для алгоритму гнучкою тимчасової сегментації кількість базисів

$$F(N) = \sum_{i=1}^{[logN]} \left(S(2^i) - S(2^{i-1})\right) F(N - 2^i) \tag{5.7}$$

*з F(2)=2* та *S(1)=0.*

У табл. 5.1 підсумовано кількість базисів, які перебираються різними алгоритмами. Наприклад, при *N=8 S(8)=26, D(8)=70, B(8)=82, F(8)=94;* при *N=64 S(64)=2,10*10*$^{11}$ , *D(64)=9,78*10*$^{14}$ , *B(64)=6,41*10*$^{16}$, *F(64)=1,06*10*$^{17}$. Звичайно, для двовимірного випадку кількість базисів значно більше.

Таблиця 5.1

Порівняння кількості базисів, які перебираються різними алгоритмами

| | |
|---|---|
| одиночне дерево | $S(N) = [S(N/2)]^2 + 1$, S(2)=2 |
| подвійне дерево | $D(N) = [D(N/2)]^2 + S(N) - S(N/2)$ |
| частотно-тимчасове дерево | $B(N) = 2\left[B[N/2]\right]^2 - \left[B[N/4]\right]^4$ |
| дерево гнучкою тимчасової сегментації | $F(N) = \sum_{i=1}^{[logN]} \left(S(2^i) - S(2^{i-1})\right) F(N - 2^i)$ |

Обчислювальна складність алгоритмів та ефективність кодування зображень

Для одновимірного сигналу довжиною $N$ і дерева максимальною висотою $d$ обчислювальна складність алгоритму одиночного, подвійного і частотно -часового дерева буде $0(Nd)$, $0(Nd^2)$, $0(Nd^4)$ відповідно. Обчислювальна складність алгоритму гнучкою сегментації – $0(NM^2d)$, де M - максимальне число сегментів ($N=ML$).

При аналізу використання запропонованих методів для кодування двох тестових зображень встановлено, що застосування адаптивних алгоритмів дозволяє до 10% покращити значення пікового відношення сигналу до шуму при низьких швидкостях кодування.

## 5.3 Методи виявлення редагування зображень

### 5.3.1 Аналіз типів редагування зображень

Нині внаслідок стрімкого розвитку фотографічних засобів і програмних продуктів для оброблення зображень існують широкі можливості маніпулювання змістом цифрових фотографій. Існуючі редактори цифрових фотографій (GIMP, Paint.NET, PhotoPosPro, PhotoScape, Fotor та ін.) дають

безліч можливостей для зміни змісту фотографій і їх метаданих. Однак, серед відомих типів утручання в контекст фотографії можливо виділити лише 3 основних типи:

– ретушування;
– вставка (фотомонтаж);
– стискання із втратами.

Ретушування фотографії – це внесення локальних змін у властивості зображення (яскравості, кольору, зменшення шуму), у тому числі видалення окремих ділянок [8]. У разі ретушування нові елементи в зображенні не з’являються, але є зміни певних особливостей оригіналу, у тому числі їх повне зникнення. Прикладом ретушування є, зокрема, видалення зморшок та інших косметичних дефектів (або особливих прикмет) на сфотографованому обличчі (див. рисунок 5.5).

Рисунок 5.5 – Приклад ретушування зображення (оригінал ліворуч)

Вставка – це внесення в зображення фрагментів з іншого або того самого зображення (див. рисунок 5.6). Отже, різновидом вставки є широко відомий прийом – клонування фрагментів (унесення кількох однакових елементів) зображення (див. рисунок 5.7). Слід ураховувати, що в загальному випадку можлива наявність обох означених типів утручання в контекст фотографії.

Стискання із втратами є особливістю формату зображень jpeg, який широко використовується в сучасній фотографічній практиці. Залежно від установленого рівня параметра якості зображення, воно при збереженні потребує різного обсягу пам’яті. Збереження із втратами вносить зміни в зображення, що при значних (якість менше 75 %) рівнях стискання або при багаторазовому стисканні з різною якістю суттєво ускладнює, або навіть унеможливлює інструментальний аналіз оригінальності (виявлення ознак ретушування та монтажу) цифрової фотографії.

Рисунок 5.6 – Приклад фотомонтажу зображення

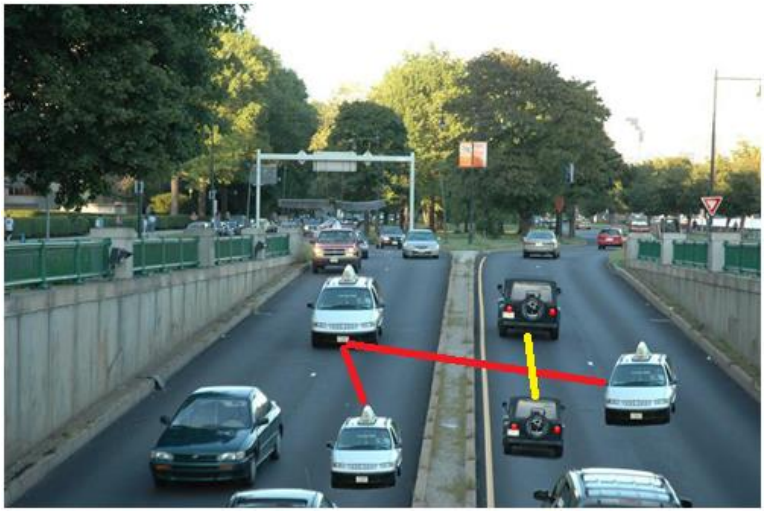


Рисунок 5.7 – Приклад клонування фрагментів зображення.

\

### 5.3.2 Аналіз дослідницьких програмних продуктів

Програма Fast Copy Detection (Matlab 7.14) [148] призначена для детектування клонованих ділянок зображення. Використовує DCT-перетворення, класифікацію за методом k-means із подальшим обчисленням кореляції між блоками зображення.

Програма ImageMI (Matlab 7.12) [148] призначена для детектування клонованих ділянок зображення. Використовує спільну (mutual) інформацію порівнюваних блоків зображення.

Збірник програм [149] (Matlab) призначений для проведення таких досліджень зображення:

– клонування методом аналізу сингулярних чисел (Singular Value Decomposition, SVD);

– розпізнавання методом головних компонент (Principal Component Analysis, PCA);

– видалення (ретушування) фрагментів методом SVD;

– вставок у зображення методом пошуку країв (Edge Detection) подвійного квантування;

– пошуку стеганографічних вкладень методом аналізу бітових шарів

зображення.

Проект [150] (Matlab) спрямований на дослідження невідповідностей в освітленні деталей на зображенні.

Проект [151] (Matlab) спрямований на дослідження відео методом пошуку кадрів із подвійним квантуванням.

Проект [152] (Matlab) містить спеціалізоване програмне забезпечення (15 програм) для дослідження ознак фотомонтажу або ретушування зображень методами DCT, ELA, CFA.

Поряд із спеціалізованим програмним забезпеченням, спрямованим на криміналістичне дослідження зображень, інтерес являють також програмні продукти загального призначення, що дозволяють проводити вимірювання різних властивостей досліджуваного зображення, таких як локальна якість фокусування, характеристики шумів тощо. Із цієї точки зору інтерес для використання являє програма [153] (Matlab), що дозволяє оцінювати загальну якість фокусування зображення декількома методами.

Також інтерес для оцінювання характеристик шумів зображення являє програма [154] (Matlab), котра дозволяє оцінювати властивості випадкових процесів такими методами: Kolmogorov-Smirnov (KS-Lim); Stephens Method (KS-S); Marsaglia Method (KS-M); Lilliefors test (KS-L); Anderson-Darling (AD); Cramer-Von Mises (CvM); Shapiro-Wilk (SW); Shapiro-Francia (SF); Jarque-Bera (JB); D’Agostino and Pearson (DAP).

Перспективу використання для досліджень ознак фотомонтажу або ретушування зображення мають методи й програми оцінювання ентропії та її модифікації (Shannon, Joint, Sample, Approximate, Conditional, Permutational, Fuzzy) [155] (Matlab).

Проект [156] (Matlab) спрямований на створення швидких обчислювальних алгоритмів за методами SVD та PCA.

Для дослідження зображень стосовно клонованих фрагментів перспективу використання має метод виділення на зображенні стійких особливостей (Speeded Up Robust Features, SURF) [157] (Matlab). Метод має

певну стійкість до деяких спотворень зображення (повороту, масштабу та шуму).

## 5.4. Розробка методу виявлення ознак монтажу на основі виділення шумів за максимізацією ентропії

### 5.4.1 Аналіз сучасних методів виділення шуму зображення

Шумова складова зображення може бути використана як джерело інформації про редагування зображення, оскільки зазвичай оригінальні зображення мають однорідний шумовий фон, що може порушуватись у разі монтажу [166]. Однак виділення шуму із загального сигналу зображення є некоректним завданням, оскільки необхідно розділити сумарний сигнал на дві складові, жодна з яких точно невідома. Існуючі методи вирішення цього завдання використовують різну апріорну інформацію про ці складові. Методи виявлення втручання в контекст цифрової фотографії поділяють на активні (вбудовування певної службової інформації в зображення при його створенні, зокрема «водяних знаків») і пасивні, із виділенням та аналізом природних шумових складових. У останньому випадку, найбільш характерному для судово-експертного аналізу, можна виділити такі існуючі підходи та технології:

– піксель-орієнтовані (клонування, ресемплінг, сплайсинг та статистичні);

– формат-орієнтовані (JPEG квантування та JPEG блокування);

– камера-орієнтовані (виділення артефактів сенсорів, лінз, електронних елементів, кольорові аберації);

– виявлення фізичних невідповідностей зображення (порушення перспективи та геометрії об’єктів).

Підходи до оцінювання рівня шуму поділяються на три основні категорії: оцінювання шуму на основі блоків, оцінювання шуму на основі

градієнтів та оцінювання шуму на основі згладжування [166]. Аналіз відомих методів виявлення підробок на основі виділення шумів і їх особливостей наведено в таблиці 5.2.

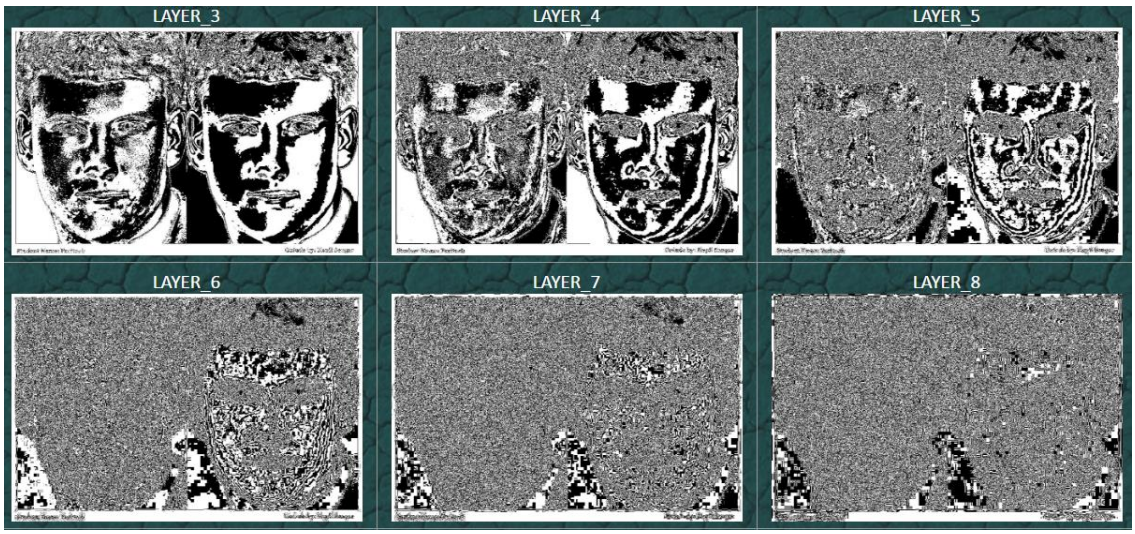
Загальним недоліком розглянутих методів, на наш погляд, є необхідність розбиття зображення на блоки з певною кількістю пікселів, залежність результатів виділення шуму від розмірів блоків і непрацездатність у разі, коли розмір блока дорівнює пікселю. Зазначений недолік не притаманний методу стеганографічного аналізу, що орієнтований на виділення молодших бітів пікселів зображення (LSB-детектор) [174]. Цей метод дозволяє попіксельно розбити зображення на певну кількість шарів (зазвичай 8) для їх подальшого аналізу. У цьому випадку шари 5–8 (див. рисунок 4.8) містять різні шумові компоненти зображення. Але слід зауважити, що це поділення не є оптимальним, бо окремі шари зображення містять компоненти корисного сигналу поряд із шумом.

Таблиця 5.2 – Аналіз методів виявлення підробок на основі виділення шумів

| **Джерело** | **Методологія** | **Особливості** |
|---|---|---|
| [28] | Метод для стеганографічного аналізу цифровихзображень за трьома наборами шумів | Не дає точного обсягу і місця розташування зміненого фрагмента |
| [29] | Метод виявлення невідповідності шумів на основі оцінювання варіації шуму в блоках із перекриттям | Недоліком методу є передбачення, що оригінальне зображення відомо, та на практиці це не відповідає дійсності |
| [30] | Метод виявлення підробок на основі кластеризації блоків із різними варіаціями шумів | Недоліком є використання відомих властивостей оригіналу |
| [31] | Метод виявлення співвідношень | Непрацездатний для форматів з |

| | | |
|---|---|---|
| | між шумовими характеристиками зображення та EXIF-даними | відсутніми EXIF-даними |
| [32] | Метод виявлення фотомонтажу, який застосовувався до різних операцій, таких як сплайсинг, ретушування, рекомпресія, зміна розміру тощо | Не є селективним, бо не націлений на жодну конкретну операцію |
| [33] | Розбиває зображення на різні однорідні сегменти за рівнем шуму на підставі вейвлет-перетворення, є різновидом градієнтного методу | Не здатен до виявлення порушених ділянок у разі малих змін, потребує візуальної інтерпретації |
| [34] | Метод оцінювання шуму в кольоровому просторі HSV | Для покращення необхідно використовувати розмиття |

а) б)




в)

Рисунок 5.8 – Результати поділення зображення на шари в площині яскравості:

а) досліджуване зображення-оригінал [175]; б) ретушоване зображення;

в) шумові шари (LAYER_3 – LAYER_8) оригіналу та ретушованого зображень у площині яскравості

### 5.4.2 Метод виділення шумів зображення на основі максимізації ентропії

Інформаційна ентропія $E$ за К. Шенноном визначається відомим співвідношенням (5.2).

Доцільність використання цього поняття для відділення шумів від зображення полягає в тому, що ентропія хаотичних процесів (шумів) більша ніж детермінованих (корисних компонент зображення). Отже, основне положення методу, що пропонується, полягає у виділенні шумової складової зображення, як його частини, що має максимальну ентропію. Цей принцип застосовується до значення кожного пікселя зображення таким чином:

– зображення масштабується до отримання певної, наприклад, 20-ти чисельної розрядної сітки;

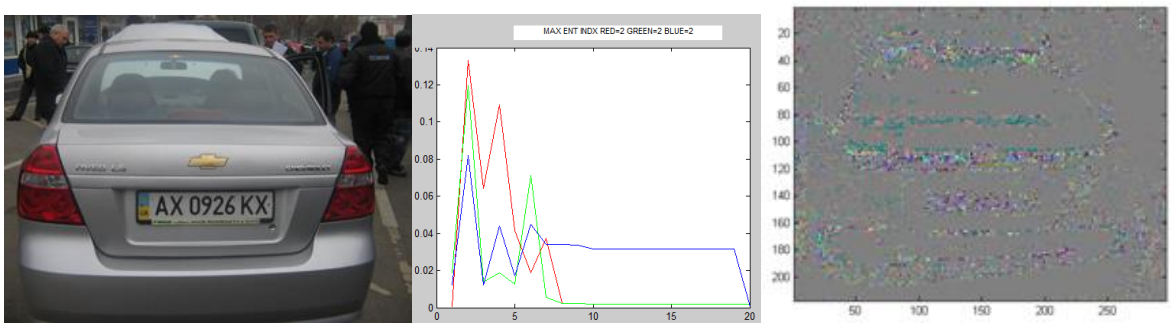
– циклічно обчислюються часткові зображення з відкинутими

розрядами значень кожного пікселя, починаючи зі старших до молодших;

– для кожного часткового зображення обчислюється його ентропія;

– шумовою компонентою зображення вважається таке часткове зображення, що має максимальну ентропію.

Процедура виділення шумів застосовується до кожного кольорового шару зображення окремо. Приклад отримання шумового зображення за максимумом ентропії наведений на рисунку 4.9. Однак шумові зображення отримані лише суто за максимом ентропії охоплюють лише останні шари діапазону (1–2 молодші розряди) яскравості оригіналу і, як видно з рисунка 2.9, є малоінформативними.




а) б) в)

Рисунок 5.9 – Приклад виділення шумів: а) зображення; б) залежність ентропії від кількості розрядів; в) шумова картина за максимумом ентропії

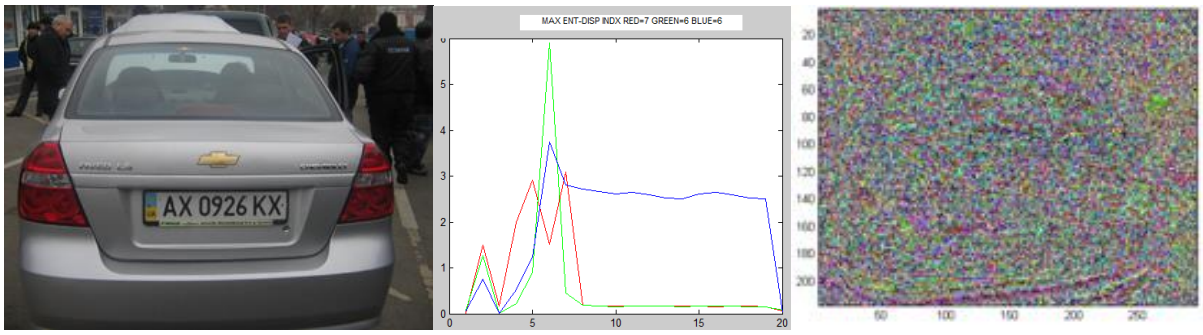
Тому нами запропоновано вдосконалений комплексний критерій виділення шуму з урахуванням ентропії та дисперсії часткових зображень:

$$J(n) = E(n) * D(n), \qquad (5.8)$$

де $E$ – ентропія часткового зображення, обчислена за співвідношенням (5.2) з використанням $n$ розрядів яскравості;

$D$ – дисперсія цього часткового зображення (відхилення від його середнього). Приклад виділення шуму за максимумом комплексного критерія

$J$ наведено на рисунку 5.10.




а) б) в)

Рисунок 510 – Приклад виділення шумів за комплексним критерієм:

а) зображення; б) залежність ентропії від кількості розрядів; в) шумова картина за максимумом ентропії

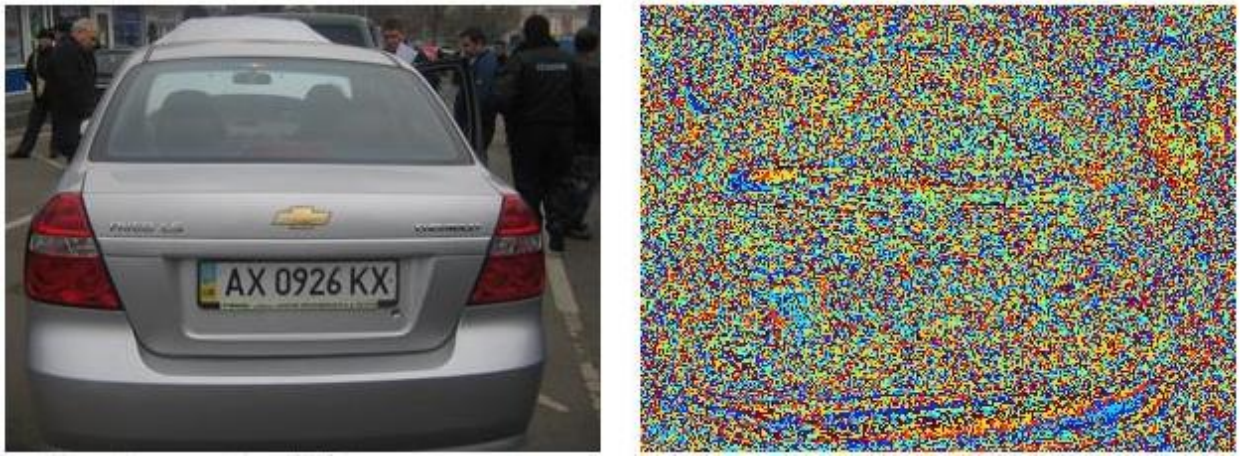
Таким чином, запропонований метод виділення шуму дозволяє оптимально, на основі максимуму комплексного критерія (5.8), розділити корисний сигнал і шум кожного зображення без поділення його на блоки та згладжування. Шумова картина, отримана за критерієм (5.8) є більш інформативною та придатна для подальшого аналізу. Подальше оцінювання отриманого шумового фону можливе як шляхом візуального аналізу, так і методами його класифікації. Нами пропонується такий алгоритм амплітудної класифікації кольорового (RGB) шумового зображення, наведений у таблиці 5.3.

Відповідно до таблиці 5.3 класифікатор перетворює шумову картину зображення на мапу класів шумів (див. рисунок 4.11) де пікселям кожному класу відповідає свій колір у палітрі jet (розподіл кольорів від синього до червоного за діапазоном яскравості 0–255).

Таблиця 5.3 – Характеристики запропонованого класифікатора шумів

| **Найменування класу** | **Співвідношення між пікселями кольорових шарів** | **Рівень яскравості класу на зображенні мапи класів шумів** |
|---|---|---|

| | | |
|---|---|---|
| A | R>G&G>B | 255/7 |
| B | B>R&R>G | 255/(7*2) |
| C | G>B&B>R | 255/(7*3) |
| D | B>G&G>R | 255/(7*4) |
| E | G>R&R>B | 255/(7*5) |
| F | R>B&B>G | 255/(7*6) |
| G | R=G&G=B | 255 |




а) б)

Рисунок 5.11 – Оригінальне зображення (а) та мапа класів його шумів (б).

Для мапи класів шумів оригінального зображення характерний її рівномірно хаотичний вигляд (див. рис. 5.10). Для зображень з ознаками редагування та монтажу характерні мапи класів шумів, що, на відміну від мап шумів оригіналів, мають значні рівномірно забарвлені ділянки (див. рис. 5.11).

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:

$$kclr = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\frac{\{1, I(i,j)=I(i\pm1, j\pm1)\}}{m*n} * 100, \qquad (5.9)$$

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.

а)

б)

Рисунок5.12 – Приклади мап класів шумів (а, б) відомих фотопідробок

### 5.4.3 Дослідження залежності рівня шуму від яскравості фону

Дослідження залежності шуму від яскравості фону проведено на прикладі камери Cannon-A400 шляхом фотографування однорідних зразків із різними градаціями сірого в діапазоні від чорного до білого. Кількість зразків складала 13. Рівень шуму обчислювався як середнє квадратичне відхилення яскравості від середнього значення яскравості зображення зразка (див.

рисунок 5.13).

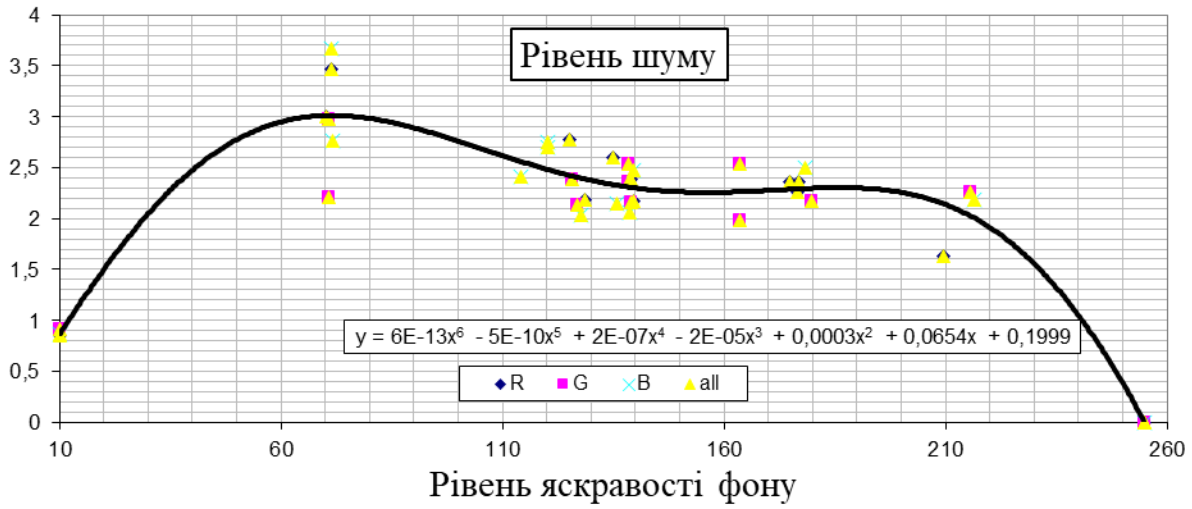
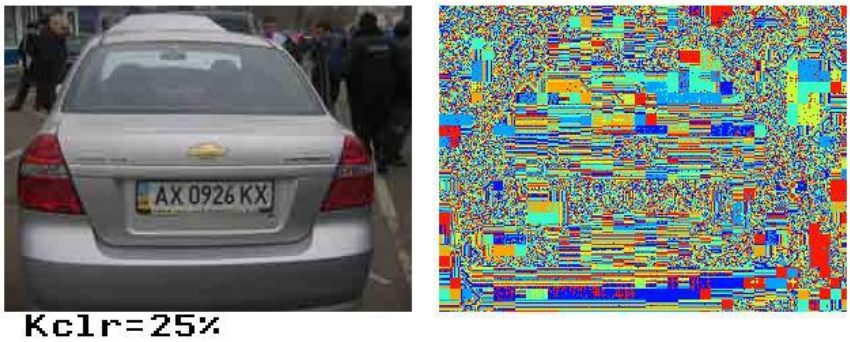


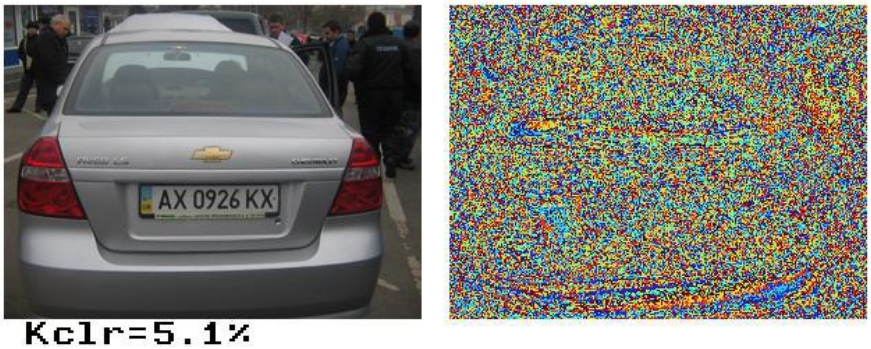

Рисунок 5.13 – Залежність шуму зображення від яскравості фону для камери Cannon-400 та його апроксимація

### 5.4.4 Дослідження впливу стискання з втратами на рівень шумів зображення

Методи стискання з втратами, зокрема jpeg, набули значного поширення та використовуються у всіх типах цифрових фотокамер для суттєвого зменшення обсягів пам’яті. Збережене таким чином зображення втрачає певну кількість інформації. Це стосується в першу чергу шумового фону фотографії. У зв’язку з цим проведено дослідження впливу рівня якості кінцевого зображення від заданого при стисканні рівня якості jpeg. Оцінювання ступеня порушення однорідності шумового фону доцільно проводити за чисельним критерієм кластеризації шуму. Коефіцієнт кластеризації шуму в цьому дослідженні обчислювався за рівнянням (5.9). Приклад впливу jpeg стискання на розподіл шумового фону наведено на рис. 5.14. Залежність коефіцієнта кластеризації шуму від заданої якості jpeg-перетворення надано на рис. 5.14.




а) якість jpeg 8,3 %




б) якість jpeg 100 %

Рисунок 5.14 – Вплив jpeg-стискання на мапу класів шумів зображення

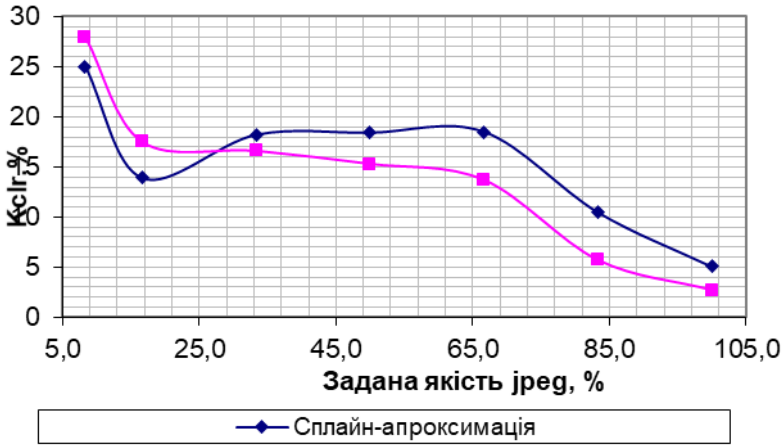



Рисунок 5.15. – Залежність коефіцієнта кластеризації шуму від заданої якості jpeg-перетворення

## 5.5 Розроблення програмного забезпечення з аналізу ознак монтажу цифрових фотографій

### 5.5.1 Розроблення детектора ознак фотомонтажу

В роботі було розроблено діалогову комп’ютерну програму для

проведення досліджень цифрових кольорових фотозображень на основі методу, описаного в підрозділі 5.4.

Програма розрахована на використання в середовищі Windows 7 та являє собою файл IFD_1.0.exe (IFD) і працює за умови попереднього встановлення на комп’ютері бібліотек MCRInstaller.exe. Інтерфейс програми англомовний для запобігання проблем застосування різних шрифтів при використанні програми на різних комп’ютерах.

Загальне вікно інтерфейсу IFD подане на рис. 5.16.

Рисунок 5.16 – Загальне вікно інтерфейсу IFD_1.0

Загрузка досліджуваного зображення здійснюється кнопкою LOAD, а обраний досліджуваний фрагмент показаний на рис. 5.17.

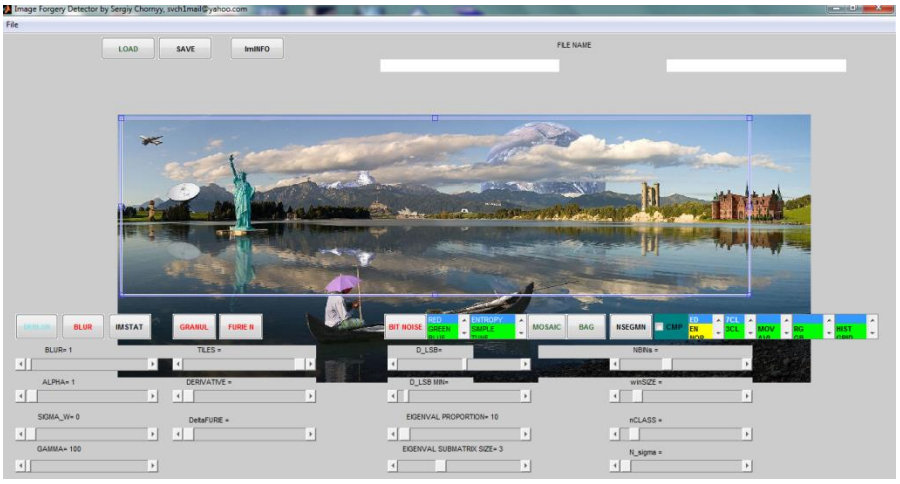



Рисунок 5.17 – Обрання досліджуваного фрагмента на зображенні

Фрагмент для дослідження (рис. 5.17) позначається розтягуванням вікна вибору на зображенні при натисканні та утриманні лівої кнопки маніпулятора (миші, сенсорного маніпулятора). Закінчення обрання фрагмента фіксується подвійним натисканням кнопки маніпулятора. Обране зображення переміщується ліворуч і перетворюється в тони сірого (рисунок 5.18).

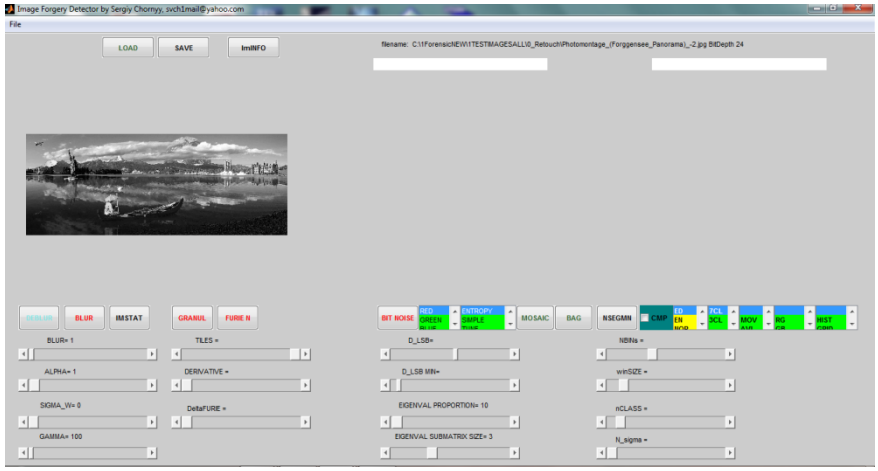



Рисунок 5.18 – Вид вікна інтерфейсу перед початком дослідження

Дослідження включає:

– розрахунок ентропії за критеріями, описаними в підрозділі 5.2;

– розрахунок шумової картини;

– класифікацію шумового фону;

– обчислення показника кластеризації шумів.

Для проведення дослідження шумового фону обраним методом рекомендується використовувати налаштування програми за замовчуванням. Інші варіанти налаштувань є дослідницькими, потребують подальших досліджень, і тому далі не розглядаються.

Обчислення ентропії ініціюється натисканням кнопки BIT NOISE.

Результати розрахунку показані на рис. 5.19. Середнє вікно відображає графік ентропії зображення по каналах RGB, вікно праворуч – графік

критерію *J* (добуток ентропії на дисперсію часткових зображень). Над вікнами наведені значення кількості розрядів для максимумів відповідних критеріїв по каналах RGB.

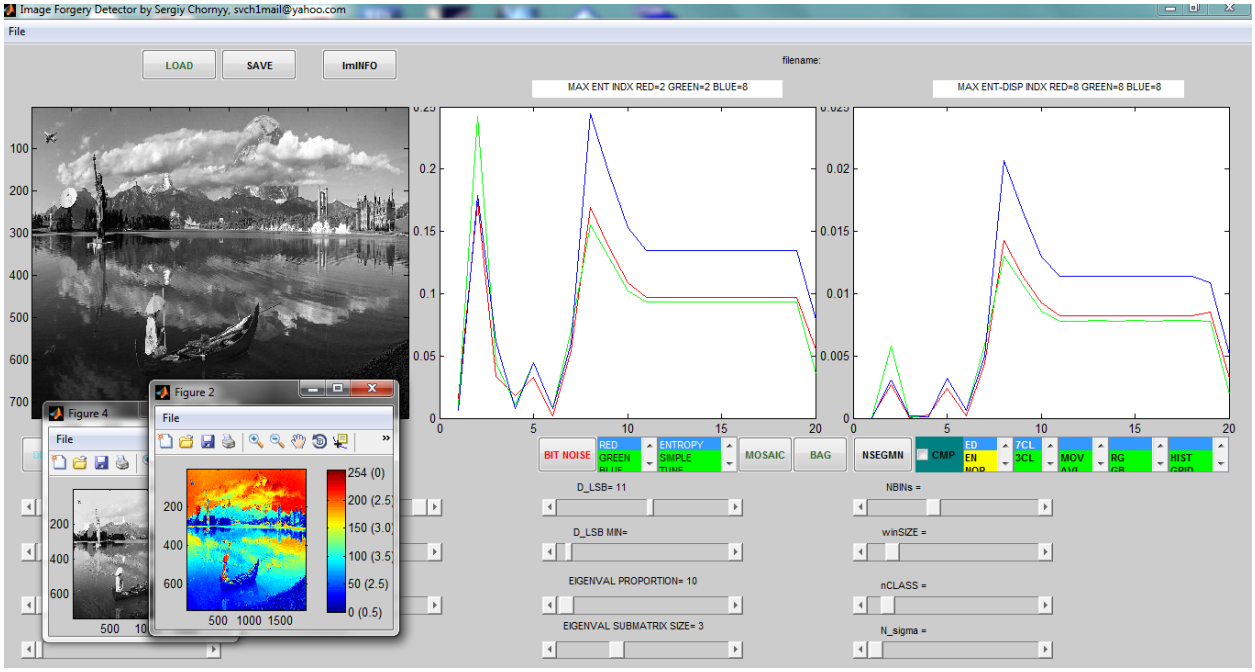



Рисунок 5.19 – Результати розрахунку ентропії досліджуваного зображення

Подальші розрахунки ініціюються кнопкою NSEGMIN залежно від обраного критерію, що визначається вікном праворуч від кнопки NSEGMIN:

ED (використовується максимум критерію *J*: у розрахунках використовуються розряди від молодшого до того, що відповідає максимуму критерію);

E (використовується максимум ентропії: у розрахунках використовуються розряди від молодшого до того, що відповідає її максимуму);

NOP (межі обираються вручну за допомогою регуляторів: D_LSB – максимальний використовуваний розряд у частковому зображенні та D_LSB MIN – мінімальний використовуваний розряд, у розрахунках використовуються лише вказаний діапазон розрядів).

Режим NSEGMIN/ED є основним стандартним режимом дослідження,

режим NSEGMIN/NOP – розширеним режимом дослідження, що дозволяє експерту обирати певний шар яскравості зображення та аналізувати характеристики його шумів.

Режим NSEGMIN/E – є довідковим (експериментальним).

Режим NSEGMIN/NOP рекомендується в разі, якщо в експерта є сумніви в прийнятті рішення за результатами застосування режиму NSEGMIN/ED.

Після натискання кнопки NSEGMIN у варіанті розрахунку ED отримуються такі основні результати (див. рис. 5.20):

– шумове зображення за критерієм *J*;

– зображення мапи класів шумів із показником кластеризації шумів;

– поєднане досліджуване зображення та зображення мапи класів шумів із показником кластеризації шумів.

Останнє зображення зберігається автоматично на диску поряд із досліджуваним. Інші зображення (шумове та зображення мапи класів шумів) можуть бути збережені експертом за бажанням через інтерфейс меню File на зображенні.

При використанні розширеного режиму досліджень (NSEGMIN/NOP) експерт має можливість установити межі розрядів D_LSB та D_LSB MIN інтерактивно вручну (див. рис. 5.21).

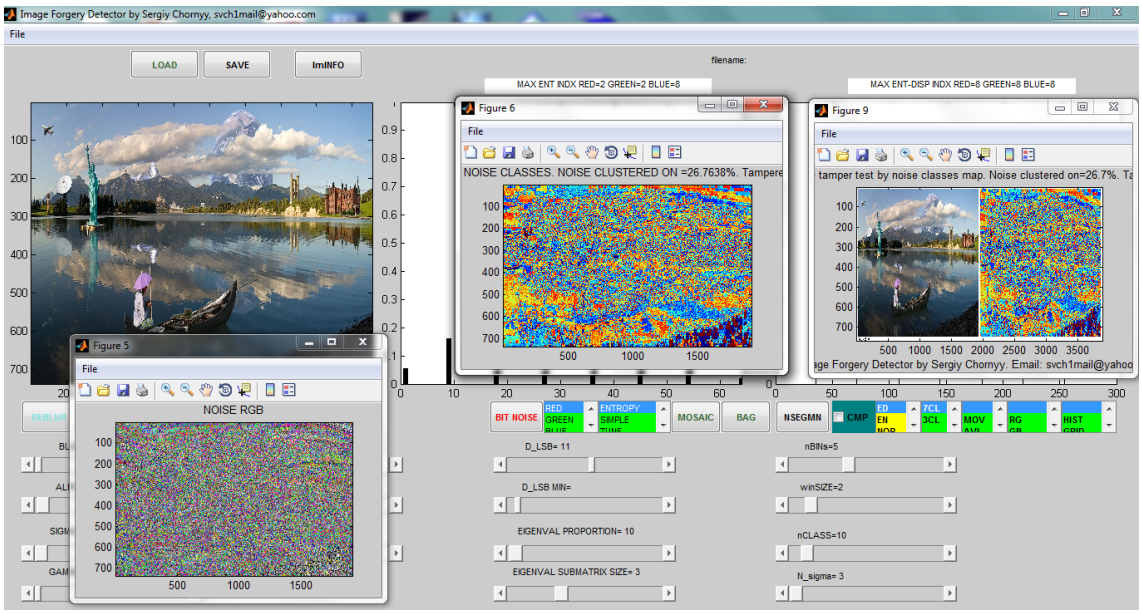



Рисунок 5.20 – Результати обчислень в основному варіанті дослідження

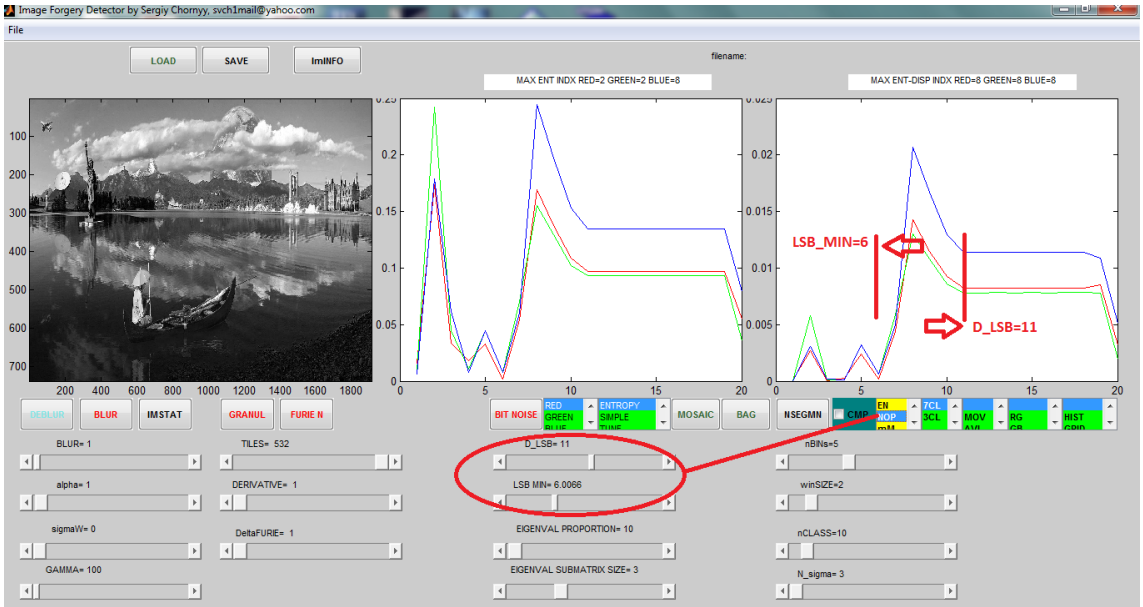



Рисунок 5.21 – Обрання меж D_LSB і D_LSB MIN у розширеному дослідженні

### 5.5.2 Приклад дослідження ретушованого зображення на основі аналізу ентропії шумів

Ретушування зображення набуло значного поширення в практиці оброблення зображення. Ретушування в більшості випадків спотворює шумовий фон зображення, а тому може бути виявлене шляхом аналізу шумів.

Розглянемо типовий приклад дослідження такого зображення на основі аналізу ентропії шумів.

Вихідне досліджуване зображення подане на рис. 5.22. Це зображення є продуктом створеним для реклами засобів ретушування і містить у одному зображенні оригінал (праворуч) та покращене (маніпульоване) ретушоване зображення (праворуч) у напрямі зменшення віку особи. У загальному випадку ретушування такого типу може бути спрямоване в протилежному напрямі – збільшення віку особи. У цьому дослідженні оригінальний фрагмент зображення будемо використовувати як порівняльний.

Обрання ретушованого фрагмента для дослідження показано на рис. 5.23. За можливістю, яскраві однорідні фрагменти зображення, що не містять шумів унаслідок ефекту насичення сенсора фотокамери, доцільно вилучити з розгляду.

Рисунок 5.22 – Вихідне зображення для дослідження впливу ретушування на шумовий фон

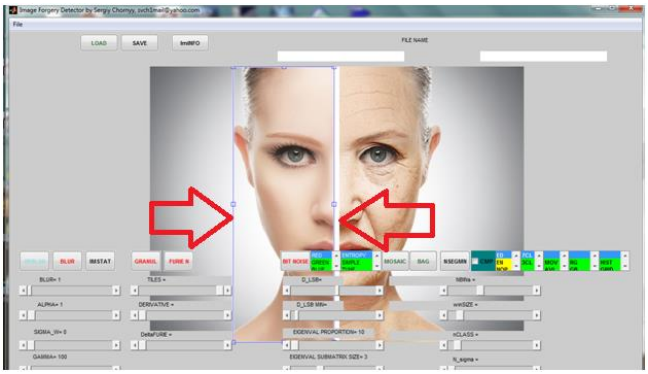



Рисунок 5.23 – Обрання ретушованого фрагмента для дослідження

Результати обчислення ентропії та комплексного критерію *J* після натискання кнопки BIT NOISE наведені на рис. 5.24. Шумовий фон дослідного фрагмента зображення надано на рис. 5.25. Мапа класів шумів дослідного фрагменту зображення надана на рис. 5.26.

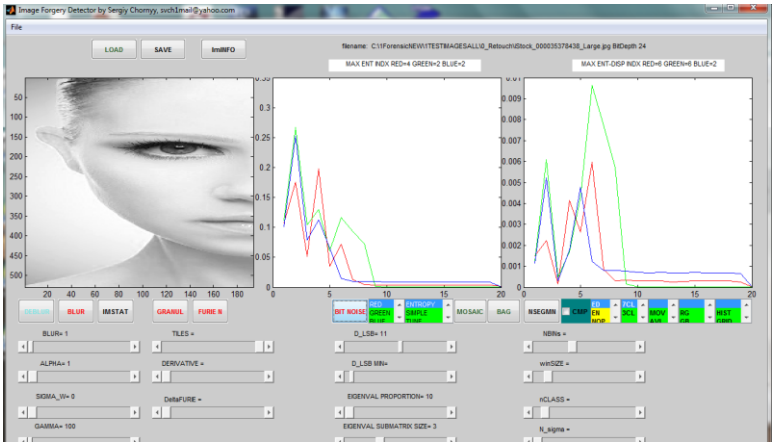
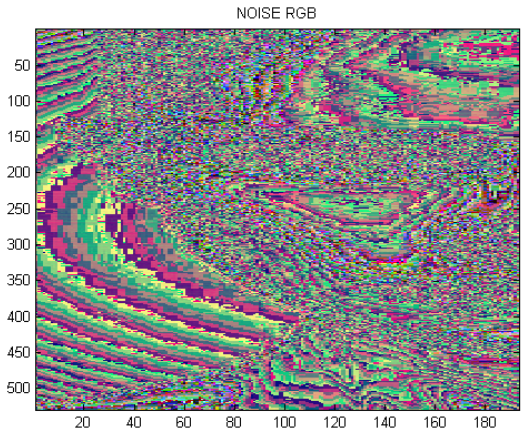
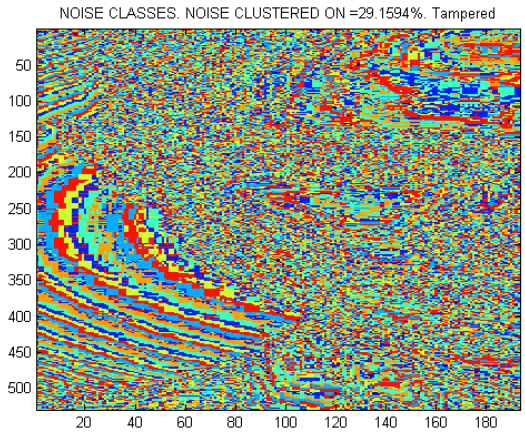



Рисунок 5.24– Результати обчислення ентропії шумів і комплексного критерію *J*




а) б)

Рисунок 5.25 – Результати виділення шумового фону зображення: а) шумовий фон досліджуваного фрагмента зображення; б) мапа класів шумів досліджуваного фрагмента зображення

Кінцевий результат стандартного дослідження фрагмента зображення наданий на рис. 5.26. Як видно на рис. 5.25 мапа класів шумів дослідного

зразка не є рівномірно хаотичною, показник кластеризації 29 %, що свідчить про факт маніпуляції змісту цього фрагмента зображення, тобто про факт його фотомонтажу або ретушування.

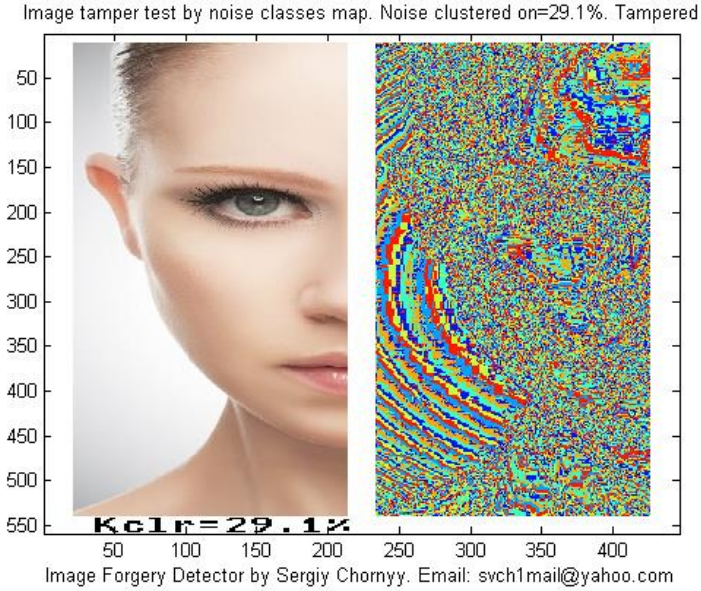



Рисунок 5.26 – Кінцевий результат стандартного дослідження ретушованого фрагмента зображення

Розглянемо іншу частину досліджуваного зображення, яка містить оригінальний фрагмент, що не піддавався ретушуванню (див. рис. 5.27). Подальше оброблення зображення аналогічне описаному для ретушованого фрагмента. Результати розрахунку характеристик шумів оригінального фрагмента наведені на рис. 5.28. Шумова картина подана на рис. 5.29, мапа класів шумів – на рис. 5.30, кінцеві результати – на рис. 5.31. Показник кластеризації мапи класів шумів оригінального фрагмента близько 9 %.

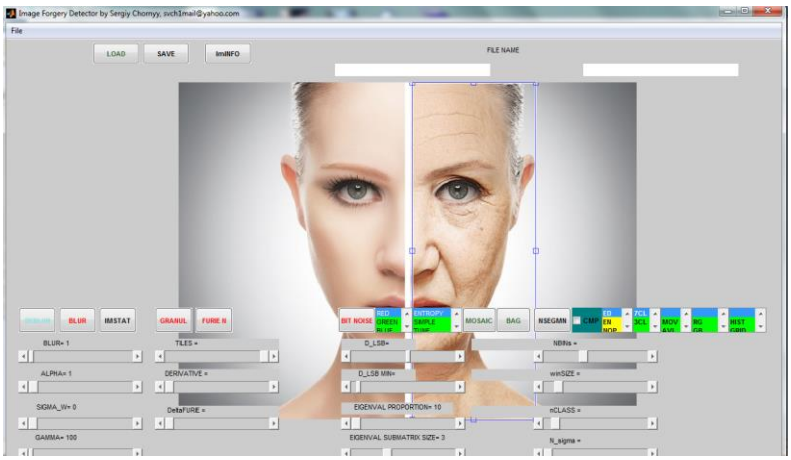



Рисунок 5.27 – Обрання фрагмента, що не піддавався ретушуванню

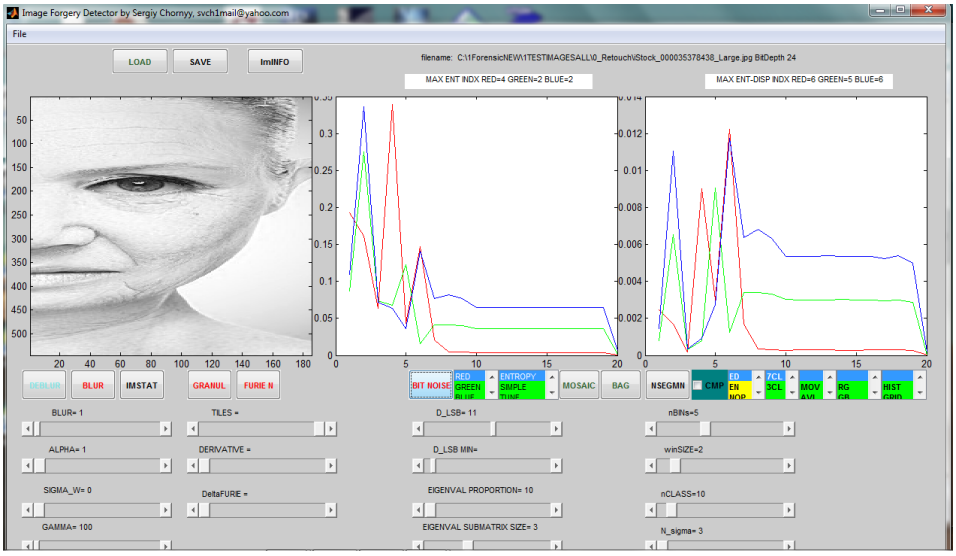



Рисунок 5.28 – Результати розрахунку характеристик шумів оригінального фрагмента

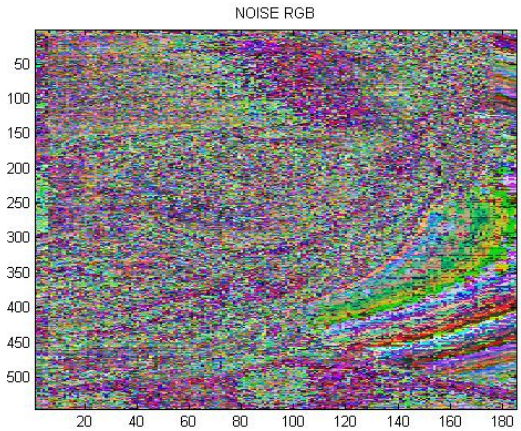



Рисунок 5.29 – Шумова картина оригінального фрагмента

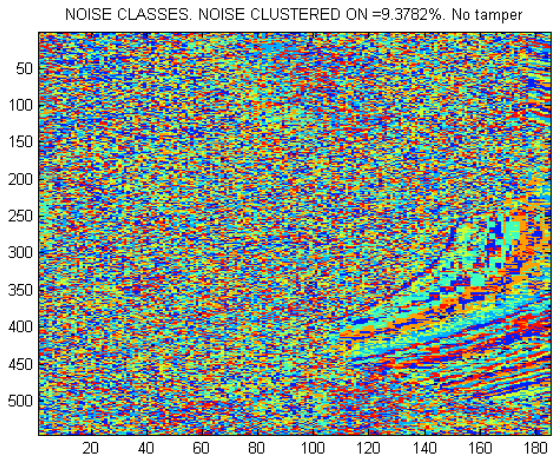



Рисунок 5.30 – Мапа класів шумів оригінального фрагмента

Порівняння результатів оцінювання рівня кластеризації мапи шумів досліджуваного (ретушованого) фрагмента (29 %) із відповідним показником контрольного (оригінального) фрагмента зображення (9 %) підтверджує факт ретушування фрагмента.

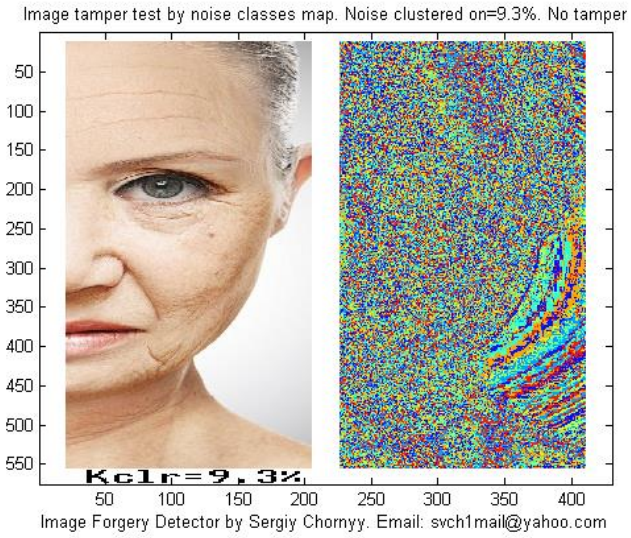



Рисунок 5.31 – Результати дослідження оригінального фрагмента

### 5.5.3 Приклад дослідження фотомонтажу зображення на основі аналізу ентропії шумів

Фотомонтаж, результат як поєднання в одному зображенні фрагментів кількох є добре розвинутою технологією редагування цифрових фотозображень. Розглянемо приклад аналізу зображення, виконаного шляхом фотомонтажу основного та кількох його клонованих фрагментів. Дослідне зображення наведено на рис. 5.32. При обранні фрагмента для дослідження слід за можливості вилучати яскраві зони, що не містять шумів (наприклад, небо на рис. 5.32). Режим обробки – NSEGMIN/ED.

Рисунок 5.32 – Досліджуване зображення – фотомонтаж шляхом клонування

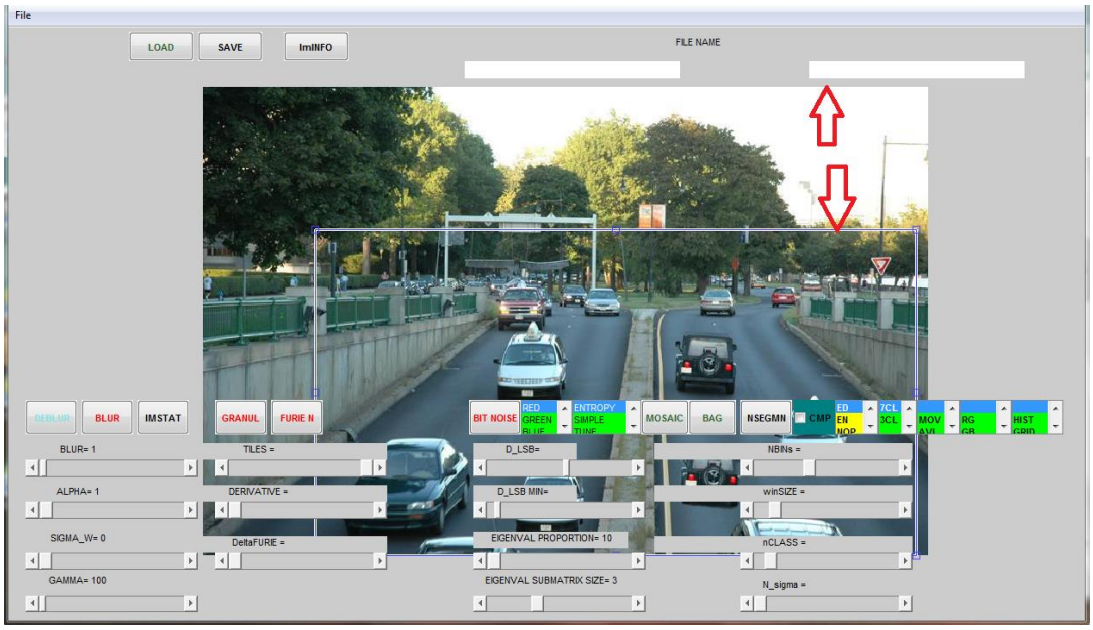



Рисунок 5.33 – Обрання фрагмента для дослідження з вилученням яскравих зон

Результати аналізу ентропії шумів зображення наведені на рис. 5.34, а шумовий фон – на рис. 5.35. Мапа класів шумів і показник кластеризації наведені на рис. 5.36, а кінцевий результат – на рис. 5.37.

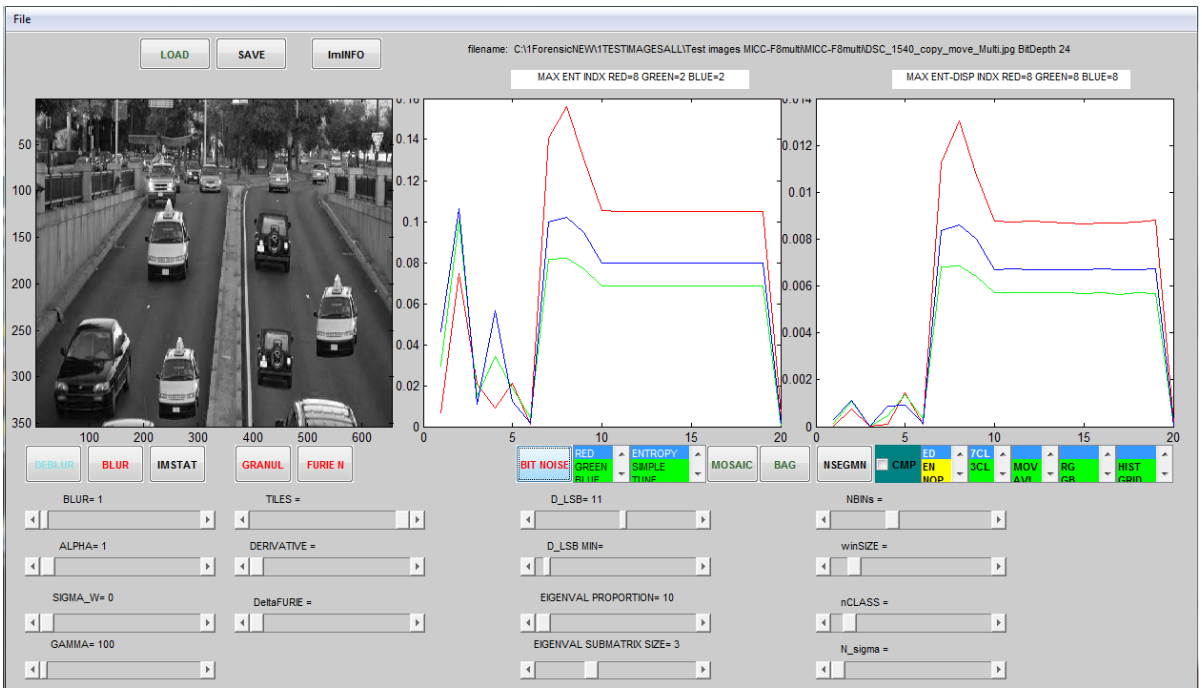



Рисунок 5.34 – Результати аналізу ентропії шумів зображення

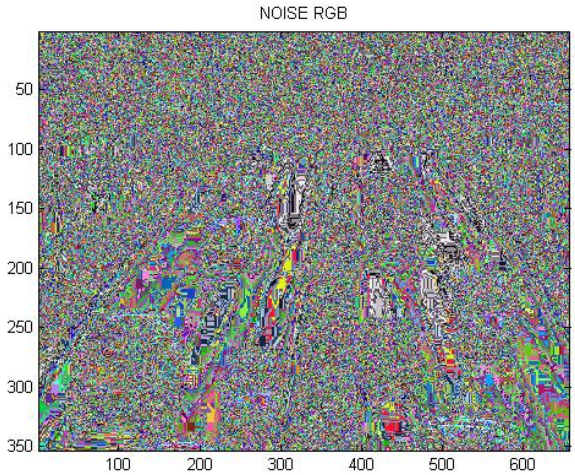



Рисунок 5.35 – Шумовий фон зображення з клонуванням

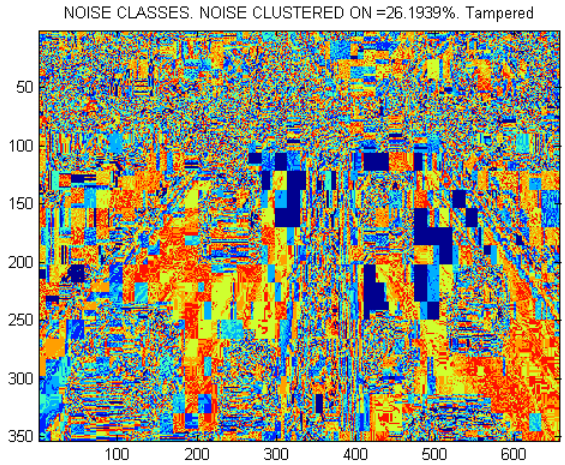



Рисунок 5.36 – Мапа класів шумів змонтованого зображення

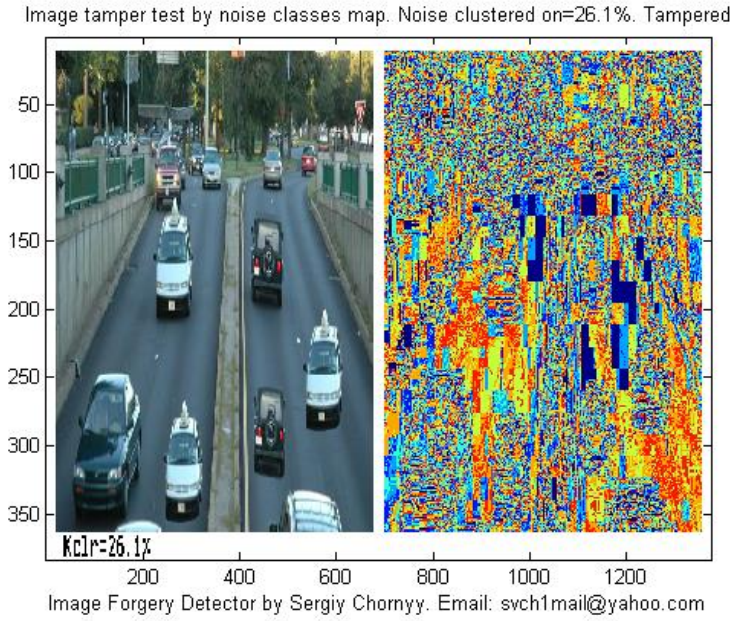



Рисунок 5.37 – Кінцевий результат дослідження змонтованого зображення

Рівень кластеризації шумів зображення свідчить про наявність маніпуляції.

Оцінемо шумовий фон порівняльного зразка. Цей зразок отримаємо з досліджуваного зображення, із частини, яка ймовірно не має втручань. Обрання порівняльної ділянки на досліджуваному зображенні показано на рис. 5.38, а аналіз ентропії шумового фону порівняльного зразка – на рис. 5.39.

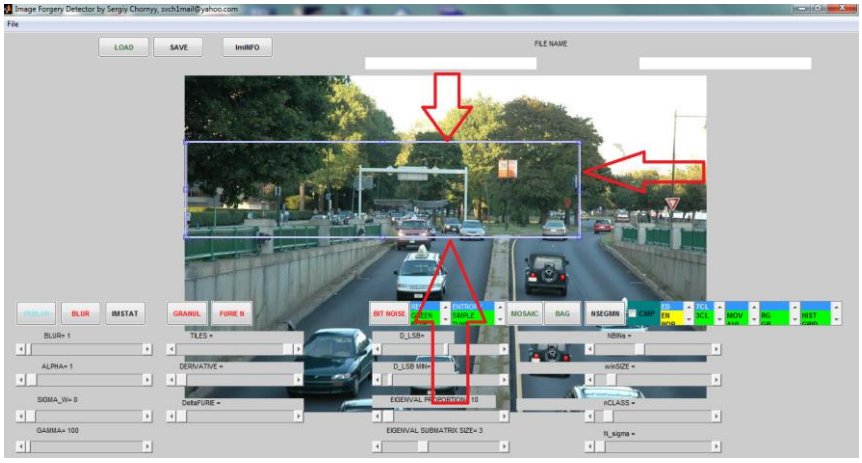



Рисунок 5.38 – Обрання порівняльної ділянки на досліджуваному зображенні

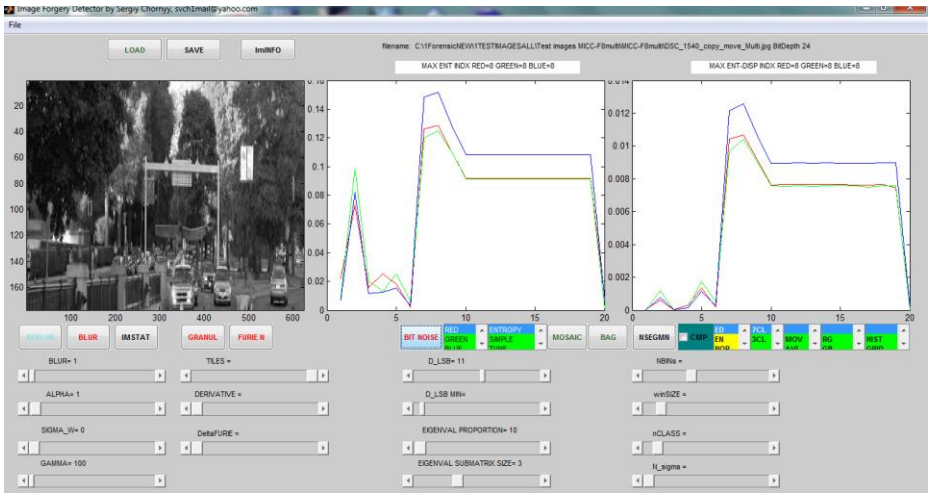



Рисунок 5.39 – Результати аналізу ентропії шумового фону порівняльного зразка

Результати розрахунків мапи класів шумів і коефіцієнта кластеризації наведені на рисунках 5.40 та 5.41.

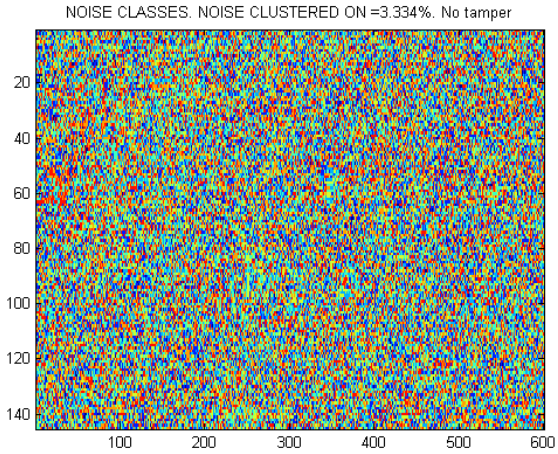



Рисунок 5.40 – Мапа класів шумів порівняльного зразка

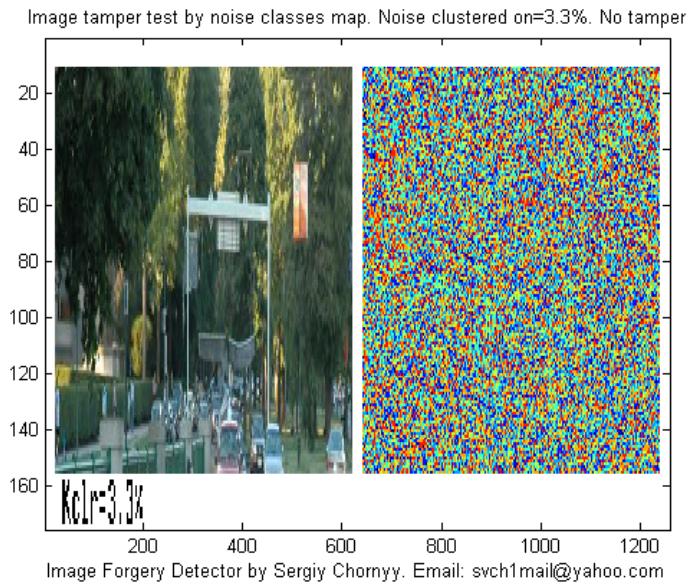



Рисунок 5.41 – Кінцевий результат аналізу шумового фону порівняльного зразка

Зіставлення показника кластеризації шумів досліджуваного (26 %) і порівняльного (3 %) зображень указує на наявність маніпуляцій із досліджуваним зображенням.

**Висновки до розділу 5**

У розділі наведено результати аналізу можливості використання адаптивних перетворень, що на основі введеної функції вартості реалізують довільне розбиття частотна-часовій площині сигналу. Для цього було вирішено ряд приватних завдань в результаті чого отримані такі наукові результати.

1. Були розглянуті адаптивні ортогональні перетворення, побудовані на базі вейвлет-перетворень. Під адаптивністю тут розуміється автоматичний вибір базису для сигналів як в частотній, так і в просторовій областях.

2. Проаналізовані методи, що дозволяють здійснювати адаптацію в частотній області (вейвлет-пакети - алгоритм одиночного дерева), спочатку в часовій, потім - в частотній (алгоритм подвійного дерева), одночасно в обох

областях (алгоритм частотно часового дерева). Недоліком цих методів є обмеження на бінарне розбиття в ,часовій області. Від цього недоліку вільний метод гнучкої сегментації, заснований на динамічному програмуванні.

3. В розділі показано кількість базисів, які перебираються кожним алгоритмом, обчислювальна складність і ефективність застосування для стиснення зображень. Загальна тенденція така, як і слід було очікувати: чим складніше обчислювальні ресурси алгоритмів, які реалізують методи, що запропоновані, тим вища їх ефективність. Таким чином, перспективи застосування того чи іншого методу залежать від їх конкретних додатків.

4. Ймовірно, кращі результати можуть бути досягнуті, якщо відокремити процес сегментації від перетворення за допомогою пакетів вейвлетів. В даний час розроблені ефективні алгоритми сегментації, які можуть бути з успіхом застосовані. Після сегментації кожен сегмент приводиться до прямокутного виду, і над ним виконується перетворення з використанням пакетів вейвлетів.

5. Для одновимірного сигналу довжиною $N$ і дерева максимальною висотою $d$ обчислювальна складність алгоритму одиночного, подвійного і частотно -часового дерева буде $0(Nd)$, $0(Nd^2)$, $0(Nd^4)$ відповідно. Обчислювальна складність алгоритму гнучкою сегментації – $0(NM^2d)$, де M - максимальне число сегментів ($N=ML$).

6. При аналізу використання запропонованих методів для кодування двох тестових зображень встановлено, що застосування адаптивних алгоритмів дозволяє до 10% покращити значення пікового відношення сигналу до шуму при низьких швидкостях кодування.

7. У розділі запропоновано використову’вати вдосконалений комплексний критерій виділення шуму з урахуванням ентропії та дисперсії часткових зображень.

8. Були проведені експериментальні дослідження ретушованого фрагмента зображення та фотомонтажу зображення на основі аналізу

ентропії шумів, що дозволило, встановити факти втручання у первинні зображення.

9. Результати розділу опубліковано [138, 139, 140, 141, 142, 143, 144].

# РОЗДІЛ 6
# ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ СИНТЕЗУ КОМПЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ СУДОВО-ЕКСПЕРТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

## 6.1 Імітаційне моделювання мультисервісної мережі зв'язку в умовах обмежених ресурсів мережі

Існує досить багато програмних продуктів для моделювання мереж зв'язку: COMNETIII виробник CACI Products Company [139]; OPNET від компанії OPNET Technologies [162]; NetCracker XA [152]; OMNET ++ [161]; NS2 [159]; NS3 [160] (The Network Simulator); CPN (Colored Petri Nets) [140] і багато інших. Докладний порівняльний аналіз найбільш відомих продуктів імітаційного моделювання мереж зв'язку наведені в роботах [25, 27, 31, 34] і багатьох інших. При цьому важливими критеріями вибору того або іншого програмного продукту є:

– зручний графічний інтерфейс;
– можливість варіювання параметрів моделювання під час проведення експериментів;
– ціна програмного продукту

і багато інших критеріїв, необхідних для аналізу мережевих процесів телекомунікаційних систем.

### 6.1.1 Імітаційне моделювання в середовище Opnet Modeler v 14.0

Скористаємося спеціалізованим програмним продуктом Opnet Modeler v 14.0 [162]. Даний програмний продукт: призначений для імітаційного моделювання мереж зв'язку; містить велику бібліотеку програмно-апаратних комплексів (маршрутизаторів, комутаторів, комутаторів, що маршрутизують різних рівнів і т.д.), що реалізують відомі на ринку телекомунікацій мережеві технології і протоколи.

Для імітаційного моделювання обрана характерна для мультисервісної мережі «Ніздрювата» структура (рисунок 6.1) [70, 71]. В її складі 5 локальних мереж зв'язку (Lan), 10 маршрутизаторів (Router1 ÷ Router10) і один сервер (Server_1).

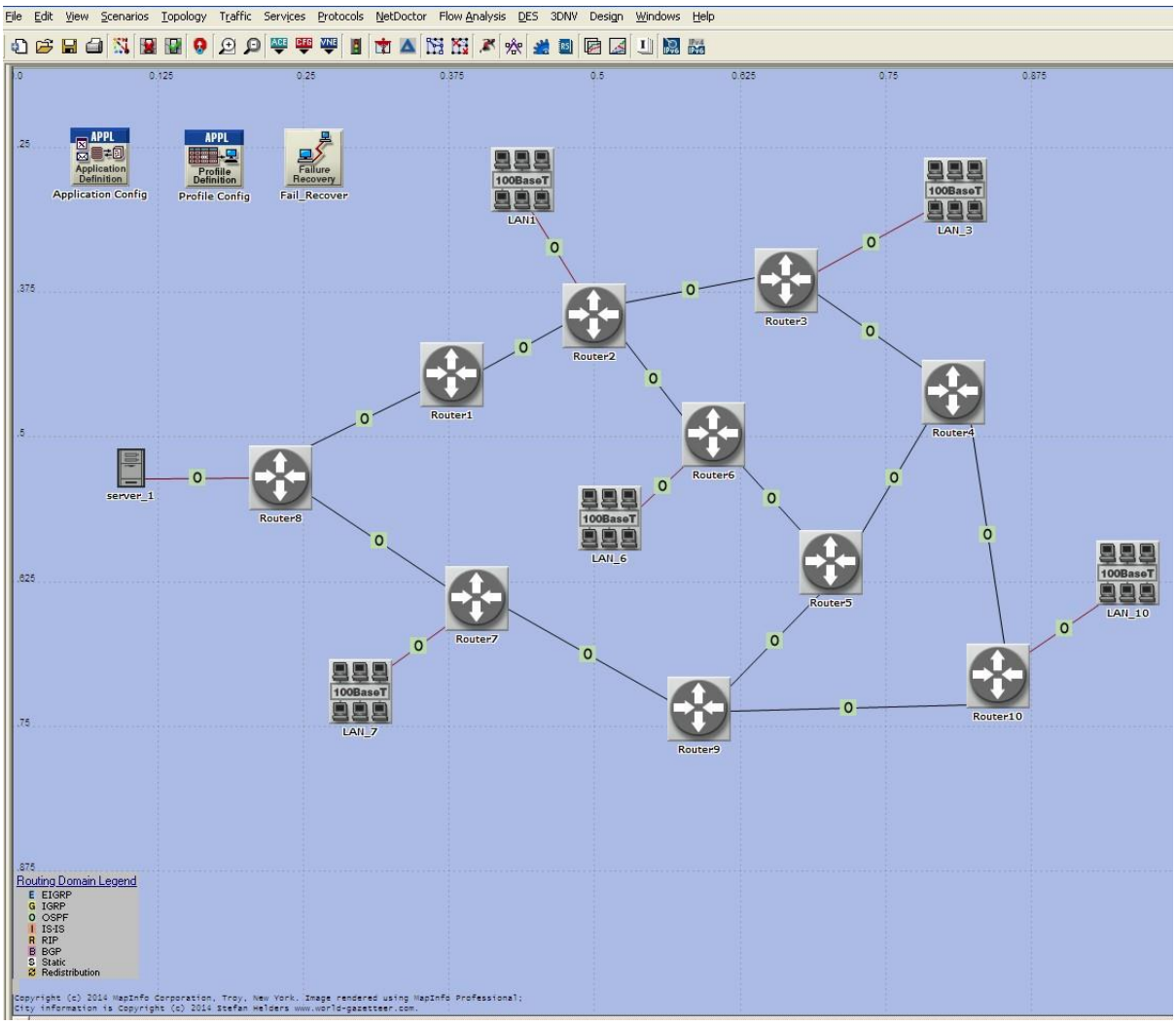



Рисунок 6.1 - Вихідна структура аналізованої мультисервісної мережі зв'язку

Кожна локальна мережа організована на базі технології Fast Ethernet:

– містить 10 комп'ютерів, підключених до комутатора за принципом «Зірка»;

– на транспортному рівні підтримується протоколами TCP і UDP

– генерує трафік відеоконференції (Video Conferencing, VC) зі швидкістю 1350 кбіт / с (розмір кадру 128 * 120 пікселів, частота 10 кадрів / с, роздільна здатність 9 біт на піксель).

Вибір відеоконференції обгрунтований тим, що дане додаток висуває підвищені вимоги до QoS (висока швидкість і мінімальний час затримки при передачі інформації).

З огляду на, що в якості додатку обрана тільки відеоконференція, організована на базі клієнт-серверної архітектури, то характеристики сервера Sun Ultra обрані мінімальними - одноядерний процесор з частотою 333 МГц з підтримкою операційної системи Solaris [238-245].

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.

Покрокове зменшення пропускної спроможності мережевого кабелю від 1000 Мбіт / с до 10 Мбіт / с скорочує загальні мережеві ресурси (6.1).

$$R = 12 \cdot r, \tag{6.1}$$

тим самим імітує процес зовнішнього деструктивного впливу на аналізовану МСМ.

Маршрутизатор аналізованої мережі в кожному імітаційному випробуванні підтримують тільки один метод формування плану розподілу інформації OSPF.

Таким чином, одне випробування полягає в тридцяти хвилинної імітації функціонування аналізованої МСМ. Причому з нульовою до п'ятої хвилини МСМ функціонує в штатному режимі (в умовах відсутності зовнішніх деструктивних впливів) (рисунок 6.2).

На п'ятій хвилині маршрутизатор Router 9 виводиться з ладу. В такому стані МСМ продовжує функціонувати до десятої хвилини. На десятій і п'ятнадцятою хвилинах, відповідно, додатково до Router 9 виводяться з ладу маршрутизатори Router5 і Router 6.

Даний процес (послідовний висновок з ладу маршрутизаторів Router9, Router5 і Router6) додатково до покрокового зменшення загальних мережевих ресурсів (6.1) імітує зовнішнє деструктивний вплив на аналізовану МСМ. В результаті структура аналізованої мережі зв'язку в процесі одного випробування змінюється від «комірчастої» до «Лінійної» (рисунки 6.3, 6.4, 6.5 і 6.6).

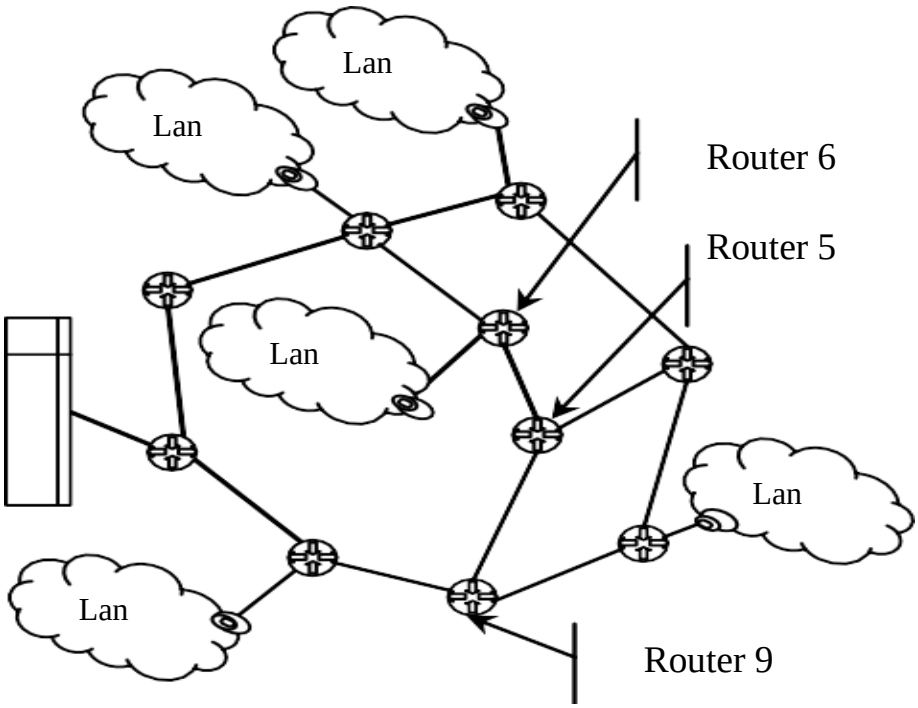



Рисунок 6.3 Структура аналізованої МСМ з 0 по 5 хвилину моделювання

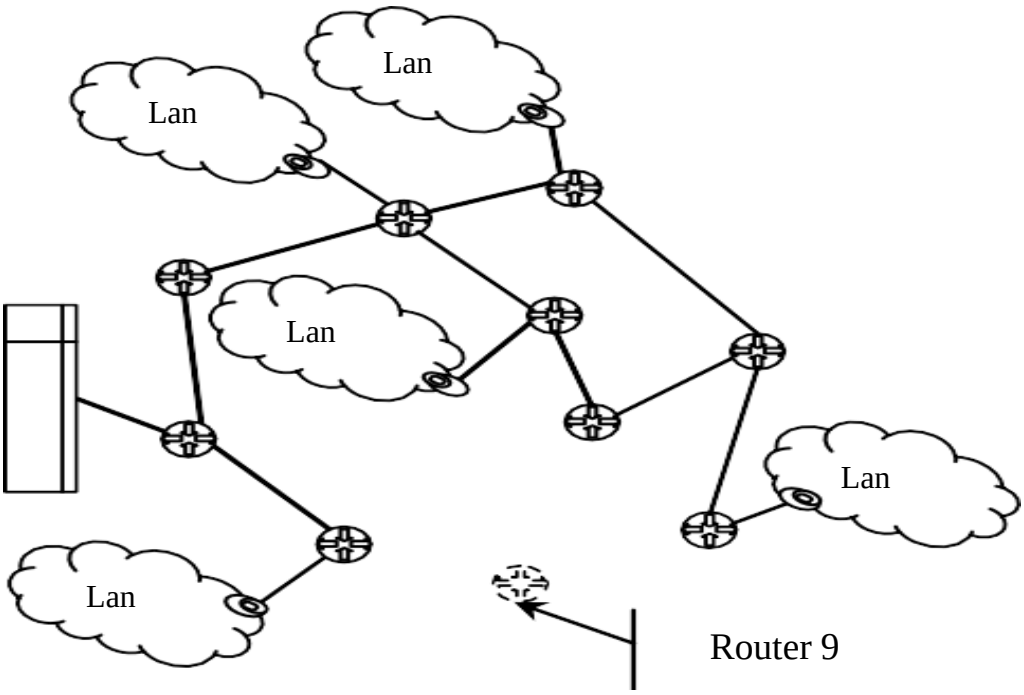



Рисунок 6.4 Структура аналізованої МСМ з 5 по 10 хвилину моделювання

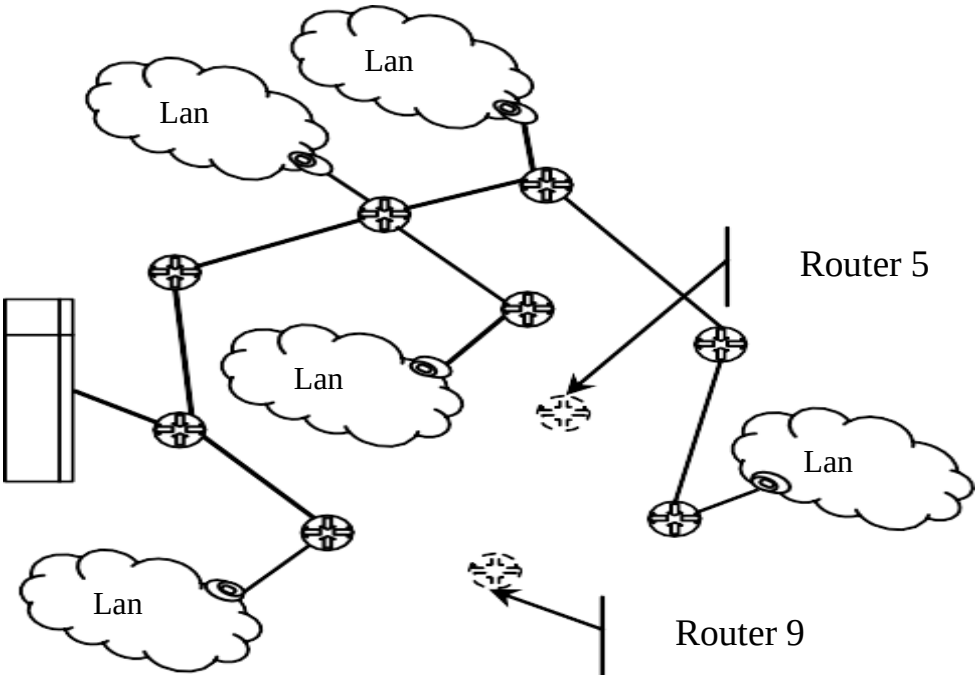



Рисунок 6.5 Структура аналізованої МСМ з 10 по 15 хвилину моделювання

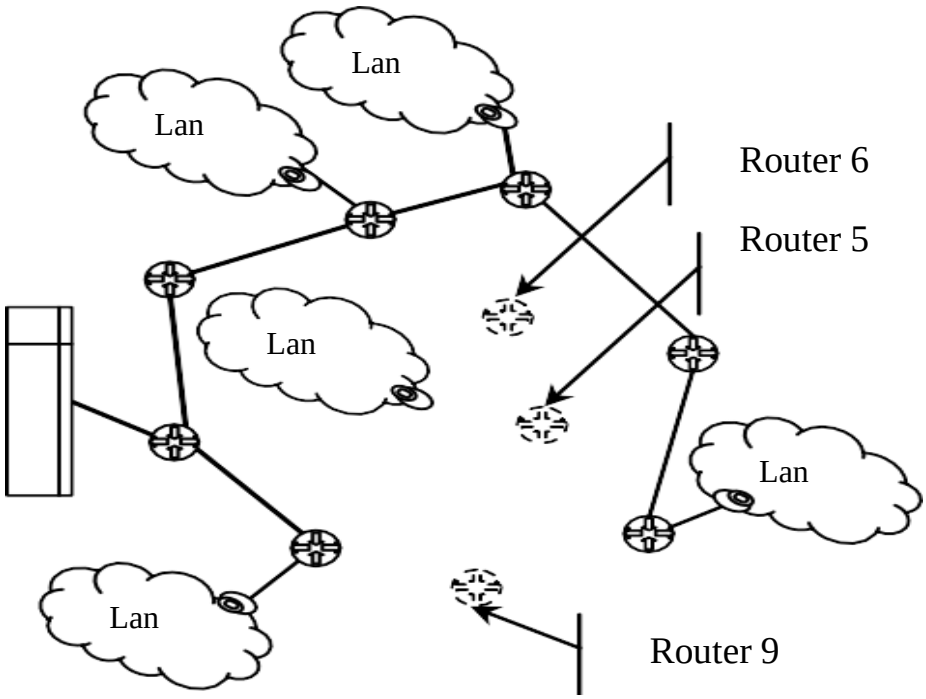



Рисунок 6.6 Структура аналізованої МСМ з 15 по 20 хвилину моделювання

Випишемо основні значення отриманих результатів моделювання

Рисунок 6.7 Пропускна здатність r = 1000 Мбіт / с

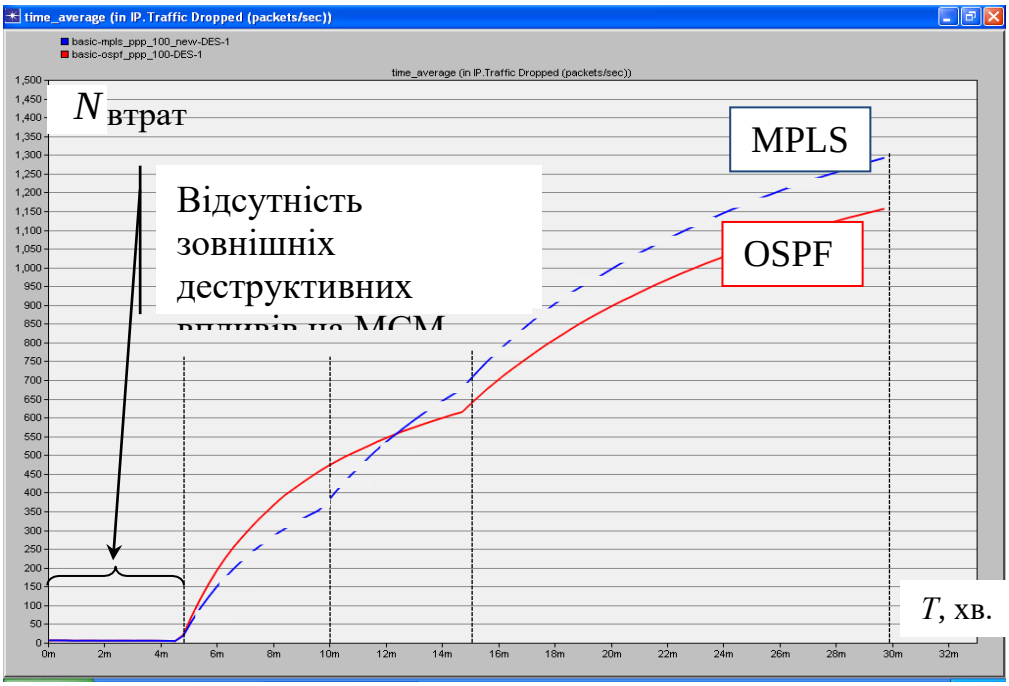



Рисунок 6.8 Пропускна здатність r = 100 Мбіт / с

Введемо наступні позначення

$R^{(i)}$; $i = \overline{1,4}$ загальний мережевий ресурс аналізованої МСМ в одному імітаційному випробуванні на відповідному інтервалі часу, який визначається як:

$R^{(1)} = 12 \cdot r$ інтервал моделювання з 0 до 5 хвилину;

$R^{(2)} = 9 \cdot r$ інтервал моделювання з 5 до 10 хвилину;

$R^{(3)} = 7 \cdot r$ інтервал моделювання з 10 до 15 хвилину;

$R^{(4)} = 6 \cdot r$ інтервал моделювання з 15 до 20 хвилину.

З урахуванням (5.1) розрахуємо значення змінної x, що визначає ступінь недоступності загальних мережевих ресурсів аналізованої мережі, за таким правилом:

$$x = R_0 - R^i \quad i = \overline{1 \dots 4}$$

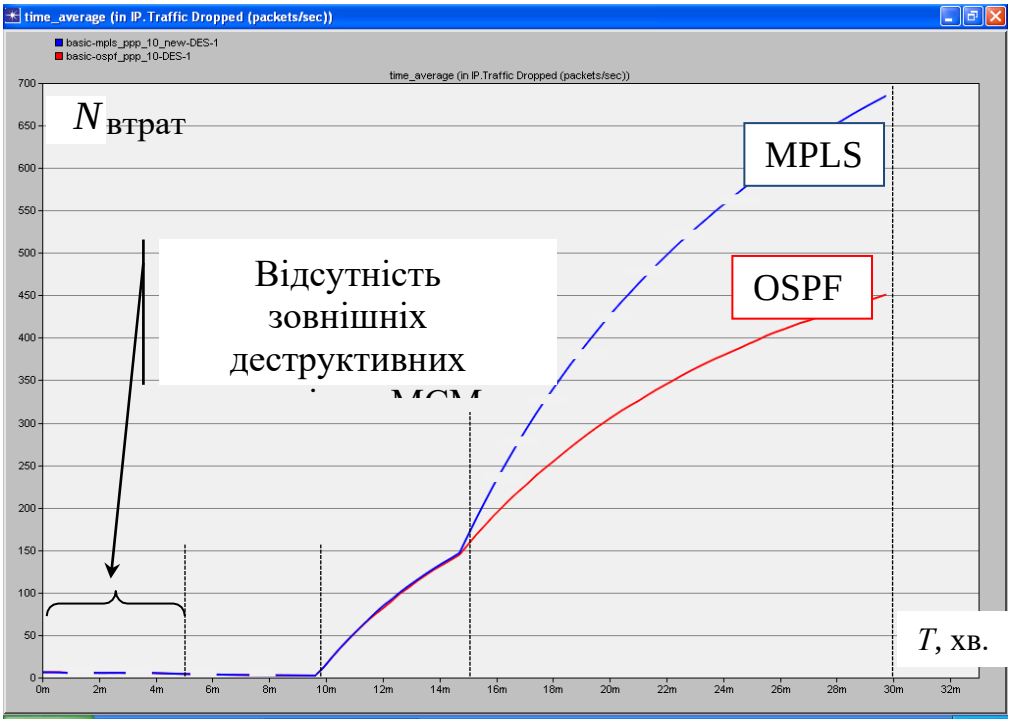



Рисунок 6.9 Пропускна здатність r = 10 Мбіт / с

Отримані результати внесемо в таблицю 6.1. Опустимо індекс і при $x_i$ і проведемо нормування значень таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 Результати імітаційного моделювання

| № імітаційного випробування | $r$ Мбіт/с | $x_i$ | $N$ втрат | |
|---|---|---|---|---|
| | | | MPLS | OSPF |
| 1 | 1000 | $x_1$ =0 | 0 | 0 |
| | | $x_2$ =0,25 | 1400 | 1800 |
| | | $x_3$ =0,42 | 1800 | 2300 |
| | | $x_4$ =0,5 | 3200 | **4300** |
| 2 | 100 | $x_1$ =0 | 0 | 0 |
| | | $x_2$ =0,25 | 350 | 475 |
| | | $x_3$ =0,42 | 675 | 600 |
| | | $x_4$ =0,5 | **1300** | 1150 |
| 3 | 10 | $x_1$ =0 | 0 | 0 |
| | | $x_2$ =0,25 | 0 | 0 |
| | | $x_3$ =0,42 | 150 | 150 |
| | | $x_4$ =0,5 | **700** | 450 |

Отримані результати розрахунків представлені в таблиці 6.2 і на рисунках 6.10, 6.11 і 6.12.

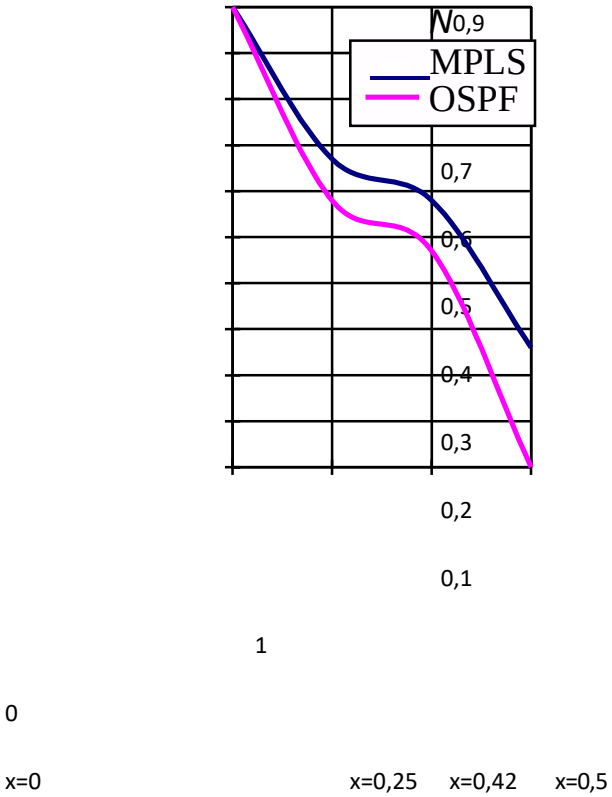



Рисунок 6.10 – Нормированные результаты моделирования при *r* = 1000 Мбит/с

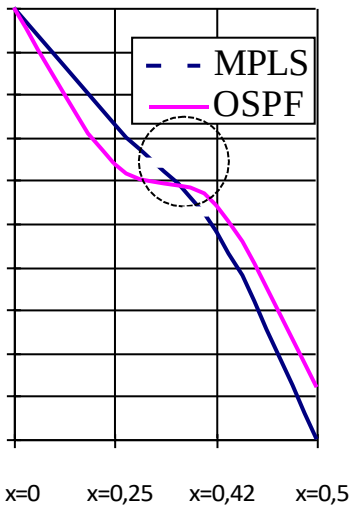



Рисунок 6.11 – Нормированные результаты моделирования при *r* = 100 Мбит/с

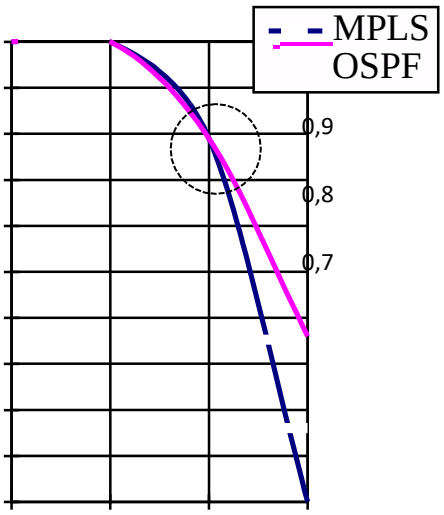



Рисунок 6.11 – Нормированные результаты моделирования при $r$ = 10 Мбит/с

Отримані результати дозволяють стверджувати, що в умовах зовнішнього деструктивного впливу $\Psi_(t)$, при якому приблизно 30% мережевих ресурсів МСМ виходить з ладу, доцільно застосовувати «Лавинні» методи формування плану розподілу інформації.

Таблиця 6.2 Нормовані результати імітаційного моделювання

| $r$ Мбіт/с | $x$ | $\overline{N}$ | |
|---|---|---|---|
| | | MPLS | OSPF |
| 1000 | 0 | 1 | 1 |
| | 0,25 | 0,67 | 0,58 |
| | 0,42 | 0,58 | 0,47 |
| | 0,5 | 0,26 | 0 |
| 100 | 0 | 1 | 1 |
| | 0,25 | 0,73 | 0,64 |
| | 0,42 | 0,48 | 0,54 |
| | 0,5 | 0 | 0,12 |
| 10 | 0 | 1 | 1 |
| 10 | 0,25 | 1 | 1 |
| | 0,42 | 0,79 | 0,79 |
| | 0,5 | 0 | 0,36 |
| | | | |

### 6.1.2. Імітаційне моделювання в середовищі The Network Simulator (NS-2)

Цей підрозділ присвячено побудові імітаційної моделі комп’ютерної мережі комп’ютерній системи СЕД у середовищі The Network Simulator (NS-2).

Це програмний пакет моделювання мережі, заснований на подіях, розроблений Lawrence Berkeley National Laboratory (США), що дозволяє проводити зі значною точністю як моделювання протоколу TCP, так і інших протоколів [246,249].

Математичне моделювання. Може ставитися як до протоколу, так і до мережі в цілому.

Ми будемо проводити дослідження

пропускної здатності мережі, керованої протоколом TCP за допомогою імітаційного моделювання на основі підходу, орієнтованого на вивчення структури мережі. Просторово-часовий вимірювач доступної смуги пропускання (STAB), можна розглядати як новий метод дослідження, на основі електронної системи збору даних, який дозволяє визначати місцезнаходження з'єднань з меншою доступною пропускною здатністю, ніж всі попередні з'єднання на досліджуваному маршруті.

Під доступною пропускною здатністю маршруту передачі даних ми будемо розуміти різницю між максимальною шириною смуги пропускання і середнім навантаженням по потоку повідомлень: 100 Мб / с зв'язок, передає 12Мб / с трафіку має доступну смугу пропускання 88 Мб / с. Доступна смуга пропускання доріжки безперервної мережі - це мінімальна доступна смуга пропускання каналів її складових. Доступна смуга пропускання каналу тісно пов'язана зі швидкістю передачі бітів, якої вона може досягти при використанні маршруту, керованого протоколом TCP. Однак, ці поняття не ідентичні, тому що існують і інші чинники, включаючи затримку повного циклу передачі, числа конкуруючих протоколів TCP, які впливають на пропускну здатність маршруту.

Визначаючи місцезнаходження вузьких ділянок за допомогою STAB можна полегшити мережеві операції і пошук несправностей, забезпечити розуміння того, що призвело до перевантаження мережі, і підтримувати мережеві додатки. При цьому використовуються спеціальні зондувальні послідовності, які моделюють процес передачі пакетів даних мультисервісної мережі. Перевага запропонованого методу полягає в тому, що використовується невелика кількість пакетів і при цьому дається точна оцінка доступної смуги пропускання [235, 236].

Визначення місцезнаходження ділянок мережі з обмеженою пропускною здатністю (вузьких місць) дає нам можливість зрозуміти, що стало причиною мережевих перевантажень і пропонує способи обходу даних сполук. Нарешті, інформація, в реальному масштабі часу, про місцезнаходження вузьких місць лінії зв'язку надасть допомогу мережевим адміністраторам у вирішенні різних операційних завдань, наприклад, для пошуку несправностей або настройки транспортних маршрутів трафіку [225-230].

Наш метод за рахунок використання безперервного зондування пакетами, для визначення місцезнаходження вузьких місць, допомагає оцінювати доступну смугу пропускання сегментів на наскрізних маршрутах мережі, що в свою чергу допомагає відшукати її вузькі місця. При передачі інформаційних пакетів одного за іншим використовується кілька пар близько розташованих пакетів; перший пакет в кожній парі є тривалим, але володіє заголовком з невеликим часом життя (TTL), в той час як наступний пакет є коротким, але має велику область TTL. Оскільки кожен маршрутизатор на маршруті зменшує тривалість TTL пакета на одиницю і відкидає пакет, якщо значення TTL дорівнює нулю, перший пакет в кожній парі, приймає значення нуль після зв'язку; другий пакет доходить до одержувача.

Хоча ми не можемо отримати часові позначки знаходження пакету в довільному з'єднання m, ми можемо досить точно апроксимувати їх з тимчасовими позначками одержувача пакетів, які передаються один за

іншим. Зондувальні пакети становлять збільшуються. Оскільки великі пакети зникають після з'єднання m, а зменшення швидкості передачі інформації стає істотно більшим після m-го з'єднання, отже, маленькі пакети приходять одержувачу, а їх проміжний інтервал на з'єднанні m залишається більш-менш постійним.

Результати імітаційного моделювання. Як об'єкт дослідження запропонована модель ділянки телекомунікаційної мережі (ТКМ) інформаційної системи судово-експертної діяльності, з наявністю декількох (рис. 6.12) ділянок з обмеженою пропускною спроможністю (вузьких місць).

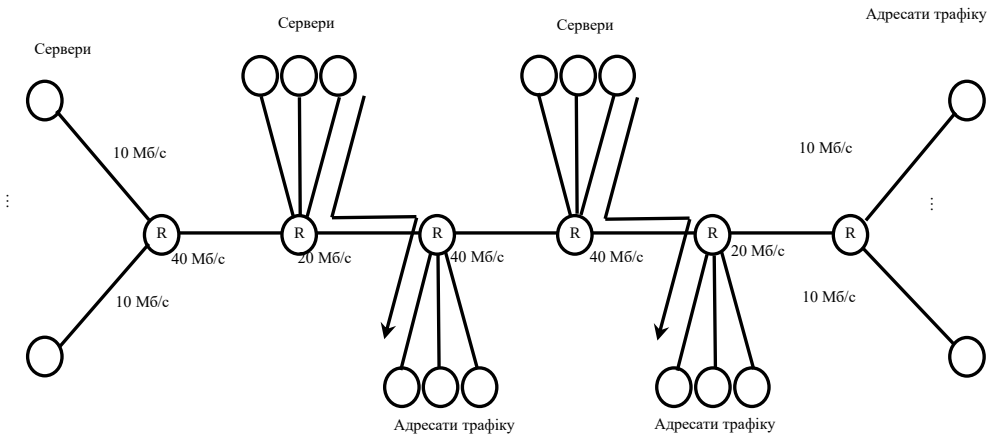



Рисунок 6.12. Модель ділянки телекомунікаційної мережі.

Кожна мережева ділянка складається з 420 клієнтів, що завантажують дані від 40 серверів по каналах з обмеженою пропускною спроможністю 20 Мб / с; всі інші канали в ТКС характеризуються смугою пропускання 40 Мб / с. Визначаючи випадок кожного використання вузького місця ТКС, ми проводимо моделювання відповідного числа мережевих сеансів; наприклад, для 200 мережевих сеансів, ми встановлюємо використання вузького місця в 5 Мб / с, а для 400 мережевих сеансів, ми встановлюємо використання вузького місця в 10 Мб / с, і так далі. Всі джерела, включаючи джерела STAB, використовують кілобайтовий пакети, які є порівнянними за розміром з типовими інтернет-пакетами. Фактична доступна смуга пропускання

ділянки ТКС до m-го з'єднання при різній кількості з'єднань m представлена на рис. 6.13.

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.

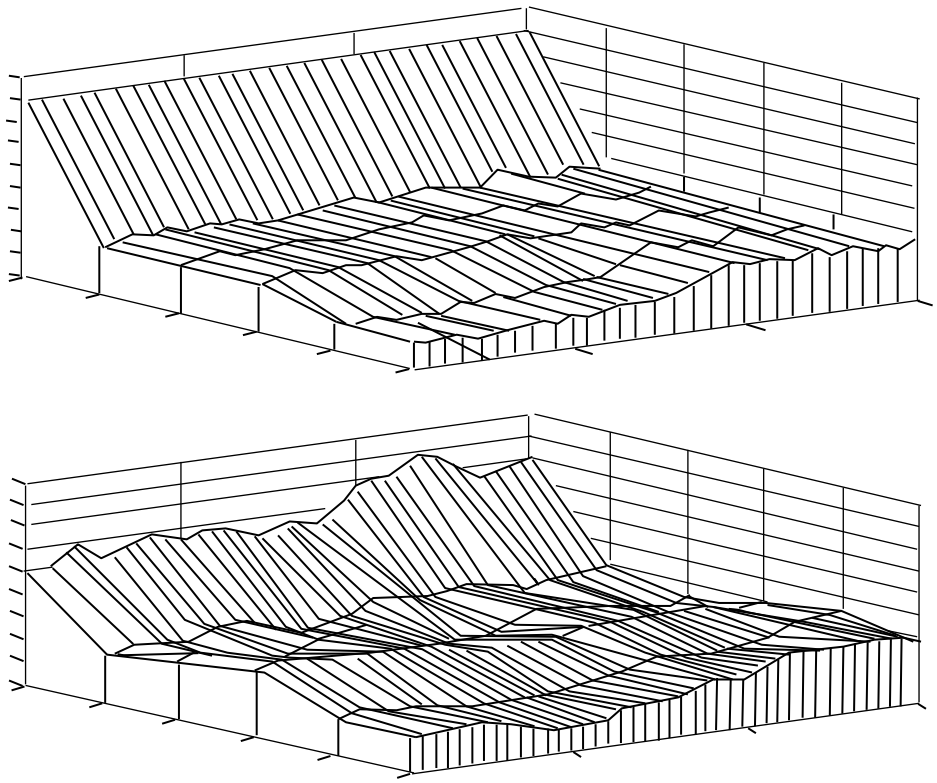


Рис. 6.13. Фактична доступна смуга пропускання телекомунікаційної мережі.

Аналізуючи рис. 6.13, б 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.

6.13, а і рис. 6.13. 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. 6.13 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.

В підрозділі було наведено основні види моделей процесу передачі інформації у комп'ютерної мережі інформаційної системи судово-експертної діяльності. Розглянуто основні переваги та недоліки цих моделей.

В результаті проведених теоретичних досліджень і імітаційного моделювання встановлено, що пропонована система оцінки параметрів мережі інформаційної системи судово-експертної діяльності дозволяє визначати місце розташування ділянок телекомунікаційної мережі з обмеженою пропускною спроможністю.

Застосування STAB дозволяє досить точно оцінювати доступну смугу пропускання каналу, за рахунок її обчислень до m-го з'єднання в будь-який момент часу. Таким чином можливим стає побудова альтернативних віртуальних маршрутів, що дозволити істотно знизити число втрачених пакетів і, в підсумку, підвищити якість передачі інформації в комп'ютерній мережі інформаційної системи судової експертизи.

У підсумку можна зазначити, що керуючи розподілом переданих пакетів за маршрутами в мережі, можливо у вісім разів збільшити доступну смугу пропускання в порівнянні з існуючою.

## 6.2.Аналіз систем моделювання мікроконтролерів з додатковими модулями криптографічного захисту інформації

Сучасну мікроелектроніку важко уявити без такої важливої складової, як мікроконтролери (МК). Мікроконтролерні технології дуже ефективні, так як один і те ж пристрій, який раніше збирався на традиційних елементах, будучи зібраний з застосуванням мікроконтролерів, стає простішим. Використання мікроконтролерів не вимагає складних розрахунків апаратної частини, її регулювання і вона менше за розмірами. Крім того, із застосуванням мікроконтролерів з'являються практично безмежні можливості по додаванню нових споживчих функцій, а також забезпечення безпеки їх функціонування. Досить просто поміняти програму або мікропрограму [122, 123].

*Моделювання* в електроніці зводиться до вирішення групи задач синтезу і задач аналізу. При цьому під *синтезом* розуміють створення якогось варіанта схеми, не обов’язково остаточного. До *задач аналізу* входить вивчення властивостей схеми за заданою в результаті синтезу її структури, характеру вхідних компонентів і їх параметрів. В процесі модулювання синтез як задача може виконуватися багато разів, чергуючись з вирішенням задач аналізу.

Одним з найбільш популярних наборів мікроконтролерів, які застосовуються в системах оброблення даних, контролю і управління та кібербезпеки є пристрої, що випускаються фірмою Microchip та відомі під абревіатурою PIC. Наряду з цім, останнім часом корпорація Atmel (США) стала виробляти набір мікросхем на ядрі AVR, яке має більш досконалу архітектуру й забезпечує МК цього набору високу швидкодію та низьке енергоспоживання, що дає їм відчутну перевагу, порівняно з контролерами PIC. До того ж, цінова політика корпорації Atmel є більш привабливою для розробників таких систем. Порівняно з пристроями PIC, МК AVR мають більш розвинену систему команд, що налічує до 133 інструкцій, а flash-

пам'ять програм має можливість внутрішньосхемного програмування. Архітектура ядра AVR оптимізована так, що дозволяє використовувати мову високого рівня C [124-130].

Для задач, у яких вимоги до захисту інформації особливо високі – смарт-карти, електронна комерція, автентифікація користувачів, шифрування даних, фірма Atmel пропонує спеціалізовані мікроконтролери – зокрема, сім’ї SecureAVR, які поєднують звичайне AVR-ядро з додатковими модулями для підтримки криптографічних операцій та підвищення фізичної захищеності мікросхем до різного роду атак. Отже, вивчення мікроконтролерів AVR забезпечує додаткові переваги спеціалістам з інформаційної безпеки.

Сфера застосування захищених криптографічних мікроконтролерів складається з забезпечення функції інформаційної безпеки: автентіфікації суб'єктів і об'єктів інформаційної взаємодії, шифрування інформації, контролю цілісності, управління доступом, управління ключами [191, 196].

Під захищеними криптографічними мікроконтролерами розуміються спеціалізовані напівпровідникові пристрої, що мають на кристалі, крім стандартного процесорного ядра, додаткові апаратні блоки – криптографічні акселератори. Такі апаратні акселератори необхідні для значного прискорення виконання складних криптографічних операцій – генерації випадкових чисел, шифрування і розшифрування, формування і перевірки електронного підпису тощо.

Обираючи інструментальні засоби моделювання, доцільно брати до уваги: підтримку можливо більшої кількості мікроконтролерів; різноманітність вбудованих інтерфейсів (RS-232, IEEE1284/LPT, USB) та додаткових компонентів, що розширюють функціональні можливості; наявність на платі поля для макетування і контактів для безпосереднього підключення до виводів приладу; можливість підключення додаткових модулів; універсальне живлення.

Аналіз багаточисельних праць свідчить, що найбільш потужною системою автоматизованого проектування вважається програмний пакет Proteus VSM, який дозволяє віртуально змоделювати роботу різних мікропроцесорних пристроїв. Програма Proteus VSM є симулятором наскрізного проектування, що має на увазі створення пристрою, починаючи з графічного зображення і закінчуючи виготовленням друкованої плати пристрою.

Proteus VSM складається з двох самостійних програм: ISIS – програма синтезу та моделювання безпосередньо електронних схем і ARES – програма розробки друкованих плат. Крім того, до складу восьмої версії входить інтегроване середовище розробки VSM Studio, що містить у собі текстовий редактор з підсвічуванням синтаксису, компілятор асемблера, симулятор, налагоджувач й інтерфейс із апаратними емуляторами та дозволяє швидко написати програму для мікроконтролера, використовуваного в проекті, і здійснити компіляцію [211-219].

При розробці програмного забезпечення мікроконтролерів необхідно звернути увагу на безкоштовні програмні засоби (AVR Studio, WinAVR) підтримки проектування та налагодження систем на мікроконтролерах AVR, робота з якими економить гроші та забезпечує ліцензовану чистоту кінцевого програмного продукту.

Останнім часом усе популярніше стає використання компіляторів мов високого рівня при написанні програм для МК. Найбільше поширення при цьому одержали компілятори мови С з можливістю оптимізації коду, оскільки в цій мові найбільш просто реалізуються всі необхідні можливості з керування апаратними засобами МК. Крім С при розробці програмного забезпечення для МК застосовуються й інші мови високого рівня. Так, для МК сімейства AVR існують також компілятори мов Basic, Pascal і Forth.

Proteus підтримує наступні етапи розробки: розробка схеми електричної принципової (введення в графічному редакторі); моделювання

схеми з використанням різноманітних віртуальних приладів; розробка друкованої плати, включаючи 3D-візуалізацію її збірки.

В Proteus реалізовані таки можливості налагодження мікропрограмного забезпечення: спільне моделювання роботи мікроконтролера, виконуючого задану програму, і оточуючих його аналогової і цифрової схем; широкі налагоджувальні можливості, в т.ч. доступ до вмісту регістрів і пам'яті, завдання точок зупинки програми, покрокове виконання; налагодження на рівні вихідного коду (C, Бейсік, Асемблер, в залежності від типу використовуваного для налагодження файлу з випробовуваним мікропрограмним забезпеченням); підтримка декількох сімейств мікроконтролерів від різних виробників, в т.ч.: PIC12, PIC16, PIC18 і PIC24 (Microchip); 8051/8052, в т.ч. похідні від них, що випускаються Philips і Atmel; AVR, Tiny AVR і Mega AVR (Atmel); ARM7, в т.ч. LPC2000 (NXP); HC11 (Freescale) і мікроконтролерні модулі BASIC Stamp (Parallax); ведеться робота по додаванню підтримки інших МК.

До переваг використання Proteus відносяться: виконання всіх етапів розробки електронного пристрою на основі мікроконтролера в єдиному середовищі; можливість написання, налагодження і тестування мікропрограмного забезпечення, ще до фізичного виготовлення дослідного зразка системи; генерування діагностичних повідомлень (наприклад, при виконанні непередбачуваної інструкції) як з боку процесорного управління, так і з боку моделей пристроїв введення-виведення, що дозволяє виявити складні в пошуку помилки програмування; прискорення процесу розробки електронного пристрою; підтримка спільної роботи з апаратними пристроями, що підключені через порт комп'ютера.

Є демонстраційна версія яку можна використовувати для навчальних закладів з обмеженням (рис.6.14): неможливість збереження проекту та його друку; неможливість створення своїх власних схем на основі МК, проте після

відкриття існуючих схем є можливість змінити програму, виконувану мікроконтролером, і поспостерігати результат її виконання.

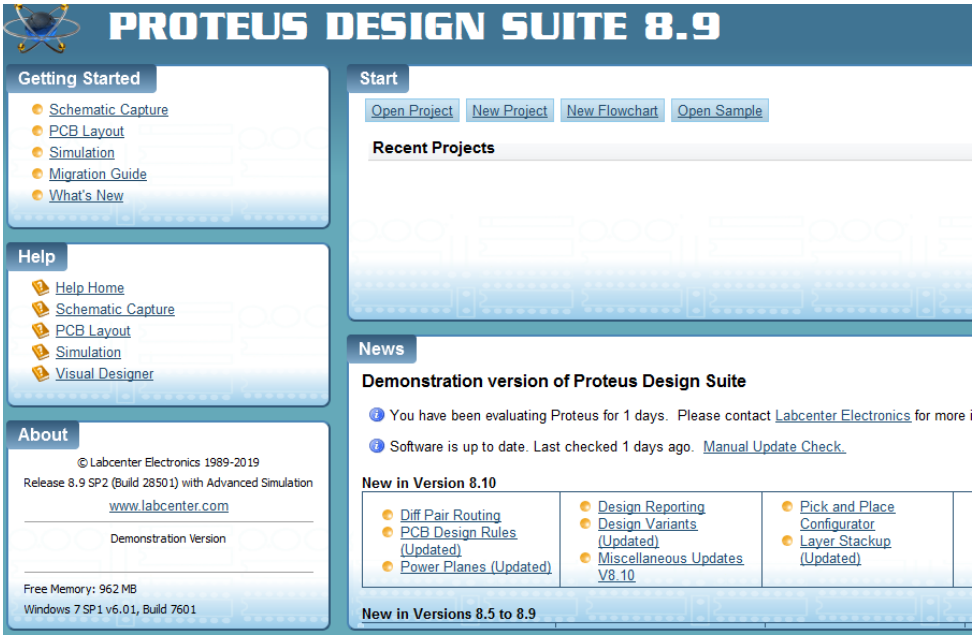



Рисунок 6.14. Стартова сторінка демоверсії Proteus

Таким чином, використовуючи інтегровану середу AVR Studio і демонстраційну версію програми Proteus, з'являється можливість досить легко, з найменшими матеріальними і тимчасовими витратами, спроектувати мікропроцесорну систему, що включає будь-якій мікроконтролер, провести її налагодження і розводку плати і тільки потім створювати реальний пристрій [5, 6].

**Програма NI Multisim**. Традиційно в лабораторних практикумах вузів застосовують програми Electronics Workbench і Multisim компанії National Instruments (NI). Програма NI Multisim має простий наочний інтерфейс, потужні засоби графічного аналізу результатів моделювання, наявність віртуальних вимірювальних приладів, які копіюють реальні аналоги.

Крім того, NI Multisim дозволяє перетворити будь-яку електричну схему в простий процес, з можливістю додати будь-який елемент в схему. Версія NI Multisim Student Edition призначена для навчальних закладів і

включає в себе навчальні курси, підготовлені апаратні рішення і робочі підручники (рис. 5.15). Однак ця версія також вимагає придбання ліцензійного програмного забезпечення.

Програмне середовище NI Multisim 14 містить програмний модуль MCU, що дозволяє моделювати програмовані цифрові пристрої на основі восьмирозрядних мікроконтролерів MCS-51 і PIC-16 фірми Microchip, а також компілятори з мови С і Ассемблер зазначених мікроконтролерів. Ці мікроконтролери мають традиційну архітектуру, загальну систему команд і розширені периферійні функції, що дозволяє широко застосовувати їх в світовому мікропроцесорному ринку завдяки оптимального поєднання ціни і можливостей.

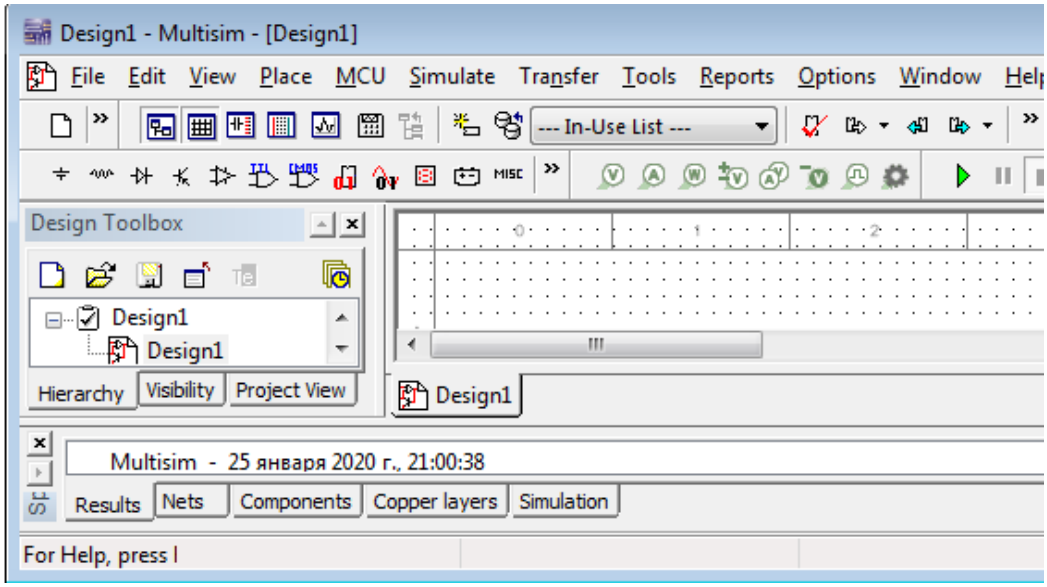



Рисунок 6.15 Стартова сторінка Multisim Student Edition

Використання Multisim в навчальному процесі дає можливість [8]:

–переглядати і змінювати стан вмісту регістрів, пам'яті програм і даних, осередків стека і біта конфігурації, що сприяє розумінню і кращому засвоєнню принципів роботи і архітектури мікроконтролерів;

–візуалізувати результат виконання окремої команди або програми в цілому, підвищуючи наочність викладеного матеріалу;

–наводити приклади практичного застосування, активізуючи інтерес до дисципліни;

–демонструвати практику спільного застосування мов С і Асемблер в одному проекті з метою оптимізації програми;

–вивчати основи роботи і особливості функціонування периферійних пристроїв, використовуючи їх моделі з бази даних Multisim;

–коригувати зміст навчального матеріалу з урахуванням особливостей аудиторії.

Бібліотека Multisim містить групу електромеханічних моделей, що дає можливість вводити в лабораторний практикум міжпредметних компонент і створювати комплексні лабораторні роботи і приклади демонстраційних схем при наскрізному інформаційному навчанні з суміжних дисциплін одночасно, що істотно підвищує ефективність засвоєння матеріалу, що викладається.

З огляду простоти і зручності використання Multisim є найбільш прийнятним засобом для освоєння основних прийомів проектування мікропроцесорних систем. Застосування Multisim в процесі навчання сприяє підвищенню якості освіти та виробленню необхідних професійно-схемотехнічних компетентностій, а також дає можливість рекомендувати його для розробки курсу інтерактивного навчання.

Проте обмежений набір мікроконтролерів в програмі NI Multisim накладає суттєві обмеження на можливість її використання при розробці реальних проектів. З вищевикладеного можна зробити висновок про те, що використовувати програму NI Multisim доцільно на етапі навчання програмування мікроконтролерів на мові С або Асемблер. Всі необхідні для налагодження засоби встановлюються автоматично при інсталяції NI Multisim або є їх дистрибутиви, що знаходяться в папці з встановленою програмою і у користувача немає необхідності пошуку і встановлення додаткового програмного забезпечення. А на сьогоднішній день, мабуть, найкращою програмою для моделювання мікроконтролерів при вивченні їх можливостей і розробки пристроїв з їх застосуванням є Proteus. [174-178].

**Програмне середовище TINA.** В останні роки з'явилася нова ефективна програма комп'ютерного моделювання TINA, яка містить інтегровану частину для проектування друкованих плат, має значно простіший інтерфейс у порівнянні з Proteus VSM, який легко освоюється студентами. Крім того, вся інформація про створений проект укладена в одному файлі, який можна переслати і відкрити на іншому комп'ютері для продовження моделювання або перевірки роботи студентів. Наряду з цім, програма має русифікований інтерфейс, що значно підвішує ефективність засвоєння навчального матеріалу (рис. 6.16).

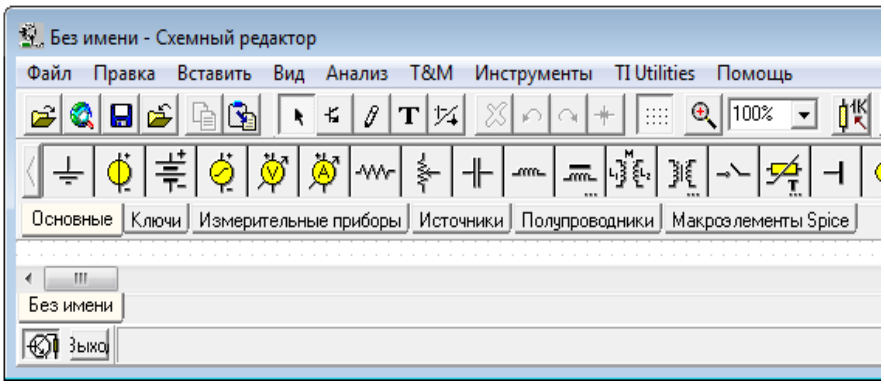



Рисунок. 6.16. Стартова сторінка програми TINA

Програма розробляється спільними зусиллями співробітників компаній Texas Instruments і DesignSoft. TINA є потужним інструментом для моделювання електронних схем та мікроконтролерів, дозволяє проводити дослідження схем при зміні параметрів, оптимізації, виконувати частотний і спектральний аналіз, досліджувати перехідні характеристики тощо. У порівнянні з Multisim бібліотека TINA містить значно більше моделей мікроконтролерів – більше 1000, які можна програмувати на Асемблері і на мові С, моделювати, налагоджувати в змішаних схемах. Вбудований програматор дозволяє модифікувати програми та спостерігати результати.

Можливість використання безкоштовної і досить ефективної версії TINA-TI робить цю програму дуже корисною для освіти. Наряду з цим, для мобільного навчання компанія DesignSoft пропонує новий програмний

продукт TINACloud [12], який використовує хмарні інтернет-технології і може запускатися через браузер на вашому пристрої. Це багатомовна онлайн-версія популярного програмного забезпечення TINA, на яку можна підписатися за частку ціни TINA (студентська ліцензія на рік 12 євро). Цей сервіс пропонує безліч освітніх ресурсів і можливість виконання віртуального дослідження і лабораторного практикуму по мікропроцесорної техніки.

Аналіз результатів робіт професора Алехина В. А. показує високу ефективність використання програм TINA та TINACloud в начальному процесі. Ефективність цієї програми підтверджує створений автором навчальний комплекс з електротехніки, електроніки та мікроконтролерів [181, 183].

При застосуванні програми TINA в налагодженні завдань програмування та інтерактивного моделювання пристроїв на мікроконтролерах доцільно вибрати популярні мікроконтролери PIC16F84A і PIC16F877A компанії Microchip Technology Incorporated, так як Microchip надає безкоштовну інтегровану програмну середу розробки мікроконтролерів MPLAB IDE, яка дозволяє писати, налагоджувати, оптимізувати текст програми, включає в себе редактор тексту, симулятор і менеджер проектів, підтримує роботу емуляторів, програматорів і інших налагоджувальних засобів. Щоб полегшити програмування на С поєднання мікроконтролерів з зовнішніми периферійними пристроями, доцільно використовувати середу mikroC PRO for PIC v.6.5.0 компанії MikroElektronika, яка також є безкоштовної при умовах HEX-файлу проекту менш 2кбайт, що є достатнім в навчальних завданнях.

Програма комп'ютерного моделювання TINA має значно простіший русифікований інтерфейс у порівнянні з Proteus VSM з можливістю укладення всієї інформації про створений проект в одному файлі. У порівнянні з Multisim бібліотека TINA містить значно більше моделей

мікроконтролерів, а будований програматор дозволяє модифікувати програми та спостерігати результати.

Можливість використання безкоштовної версії TINA-TI та наявність онлайн-версії TINACloud з використанням хмарних технологій робить цю програму дуже корисною для освіти. Веб-сервіс пропонує безліч освітніх ресурсів і можливість виконання віртуального дослідження і лабораторного практикуму по мікропроцесорної техніки.

Предметом подальших досліджень є модулювання процесів використання криптографічних акселераторів у мікроконтролерах загального призначення.

## 6.3 Програмування режиму ненавантаженого резервування у комп'ютерних системах критичного застосування

Рівень надійності комп'ютерних систем критичного застосування (КСКЗ) за-лежить від інтенсивності відмов і збоїв їх елементів, досконалості засобів контролю, діагностування і рівня використаної надмірності. Забезпечення надійності КСКЗ, що не обслуговуються, в умовах обмежень на кількість резервованих каналів здійснюється шляхом використання спеціальних процедур ідентифікації збоїв при ненавантаженому резерву-ванні [186, 187]. Ненавантажений резерв складається з одного чи декількох резервних елементів, які перебувають у ненавантаженому стані до початку виконання ними функцій основного елемента [188-190]. Такі резервні елементи перебувають у вимкненому стані і до моменту їх включення не є не справними. Основними причинами виникнення помилок контролю є недостовірна ідентифікація дієздатного стану. Особливого значення на сьогодні в роботі з підвищення ефективності використання каналів КСКЗ набуває якісний контроль переміжних відмов, частка яких в усьому потоці відмов становить приблизно 80–90%, а також правильна ідентифікація стану цих каналів на основі аналізу сигналів помилок за мінімальний час їх відімкнення від

рішення «корисних» задач. Програмування режиму ненавантаженого резервування забезпечується застосуванням відповідних методів та алгоритмів, що сприяють підвищенню ефективності використання каналів комп'ютерних систем критичного застосування.

Дослідженню комп'ютерних систем критичного застосування присвячено роботи ряду авторів. Так, у роботі [20] авторами досліджується синтез архітектури сучасної комп'ютерної системи для управління складним роз-поділеним об'єктом, основні етапи синтезу архітектури. Автори вказують на необхідність попереднього розкладання, структурування та формалізації системи, а також наведено основні етапи ієрархічної послідовності процесу розкладання. Автори роботи [24] пропонують комплекс, що включає кілька моделей та метод; він використовує зразки трафіку з декількох сеансів як вихідні дані для виконання короткочасного прогнозування трафіку. В роботах [25-27] автори акцентують свою увагу на методах розрахунку параметрів надійності та функціональної безпеки технічних систем, що характеризуються можливістю отримання строгих формульних виразів стаціонарних параметрів безпосередньо з графіка стану системи. В [20-27] відображаються результати досліджень моделей інформаційної структури системи підтримки, що враховує потужність транзакцій системи. Це оптимізує пропускну здатність вузлів і, як результат, підтримка ефективності системи електронного навчання зростає. В роботі [26] розглядається саме структура мережі гіперконвергентної базової мережі підтримки електронного навчання як основний фактор, що впливає на якість запитів системи. В роботі [35] розглянуто метод синтезу обернених операцій для відомих прямих операцій. Цей метод забезпечує побудову оберненої операції шляхом перетворення другого операнда дворозрядної двооперандної операції строгого стійкого криптографічного кодування. Створенню методологічного забезпечення синтезу та аналізу наборів двооперандних двобітових криптографічних операцій з точною перестановкою присвячено роботу [36]. Автори провели дослідження, що

ґрунтуються на результатах обчислювального експерименту, який полягає у синтезі двооперандних двобітових криптооперацій, які базуються на одноoперандних, з подальшим пошуком пар операцій прямого та коректного зворотного криптоперетворення на основі повного пошуку. В процесі обчислювального експерименту автори отримали пари двооперандних операцій, що представлені кортежами чотирьох одноoперандних операцій. Таким чином, аналіз літератури [25-35] показав необхідність розробки універсального методу для КСКЗ у різних галузях, що дає можливість обрати один із режимів ненавантаженого резервування у комп'ютерних системах критичного застосування.

### 6.3.1. Аналіз мажоритарної структури з ненавантаженим резервуванням

Для аналізу алгоритмів і математичної моделі в роботі розглянуто дубльовану систему (ДС) з додатковим каналом, який знаходиться у ненавантаженому резерві (DCH), вмикається після відмови одного з каналів і починає втрачати надійність в момент виходу з ладу одного з працездатних каналів. Особливість цієї структури полягає в тому, що вона має три інформаційні блоки, схему порівняння і комутатор. Команду на перекомутацію каналів видає блок керування після аналізу сигналів зі схем порівняння, які контролюють всі три канали.

При появі сигналу помилки в одному з каналів КСКЗ з ненавантаженим резервуванням ненавантажений канал вмикається, а відповідні технічні засоби здійснюють підрахунок сигналів помилок за інтервал спостереження ТС (заданий відрізок часу, підрахунок якого починається з появою першого сигналу помилки) і, якщо їхня кількість K більша заданої $K_Z$, то контрольований канал ідентифікується як недієздатний і він вимикається від подальшого функціонування. Інтервалом безпеки $T_B$ будемо називати заданий відрізок часу, підрахунок якого починається з появою кожного сигналу помилки. Якщо $K < K_Z$ і $T_C > T_B$,

контрольований канал КСКЗ вважається дієздатним і вмикається в роботу «за призначенням» з одночасним вимкненням одного з каналів у ненавантажений резерв після моменту кінця спостереження $T_C$. Якщо $T_C < T_B$, час спостереження збільшується на $T = T_B - T_C$. Якщо за цей час не надійде сигнал помилки, канал вважається дієздатним. При появі сигналу помилки інтервал спостереження продовжується на величину $T_B$. Якщо за час $T_B$ не надійде сигнал помилки, то канал вважається дієздатним. При появі L підряд сигналів помилок за час $T_C$ контрольований канал ідентифікується як недієздатний і вимикається. Конкретні величини $T_C$, $T_B$, $K_Z$, L повинні задаватися, виходячи з аналізу причин і викликаних ними послідовностей збоїв.

### 6.3.2. Аналітична модель надійності DCH

Розглянемо схему заміщення для системи, що працює при резервуванні заміщенням. З моменту вмикання системи в роботу спільно працюють два канали, у час τ виходу з ладу одного з них відбувається вмикання в роботу каналу С і комутація його на вихід системи. З часу τ починає витрачатися надійність каналу С. Оскільки у випадку збою одного з каналів системи за час $T_C$ він ідентифікується і система вертається в попередній стан, то при достатньо тривалій експлуатації системи можна вважати, що до відмови система K разів вмикалася протягом часу $T_C$.

Нехай $\lambda_Z$ – інтенсивність роботи одного каналу на збій, $\lambda_B$ – на сталу відмову, $\lambda = \lambda_Z + \lambda_B$ –інтенсивність роботи одного каналу на збій і відмову. Приймаємо: $\lambda_B$=0,1λ; $\lambda_Z$ = 0,9λ. Тоді $T_Z$ – середній час напрацювання на збій двох каналів обчислюється за виразом

$$T_Z = 1/2\ \lambda_Z. \tag{6.2}$$

Середня кількість збоїв двох каналів

$$K = 1/T_Z = 2\lambda_Z t\, T_c. \qquad (6.3)$$

Згідно з алгоритмом вмикання каналів після відмови двох із них відбувається перекомутація на резервний канал С, надійність якого почала витрачатися пізніше вхідних каналів:

$$P_{ss}(t) = P_{AB}(t) + P_C(t, t + 2\lambda_C T_C) = e^{-0,2\lambda t} + \int_0^t T_C\big(t - (\tau - 2\lambda_C T_C t)\big) f_{AB}(\tau) d\tau = e^{-0,2\lambda t} + e^{-\lambda(t-\tau+1,8tT_C\lambda)}$$

(6.4)

Частота відмов обчислюється за виразом (5.5). Отримані вирази підставляємо в (6.6).З урахуванням безвідмовності комутатора і схеми порівняння маємо вираз (6.7).

$$f_{FD}(\tau) = \frac{dQ_{AB}(\tau)}{d\tau} = Q_{AB}'(\tau) = (1 - e^{-0,2\lambda\tau})' = 0,2\lambda e^{-0,2\lambda\tau}\,. \qquad (6.5)$$

$$P_C = (t, \tau) = \int_0^t e^{-\lambda(t-\tau+1,8tT_C\lambda)} \cdot \lambda e^{-0,2\lambda\tau} d\tau = \frac{e^{1,8\lambda^2 C^t (e^{-0,2\lambda t} - e^{-\lambda t})}}{4} \qquad (6.6)$$

$$P_{DCH_{CK}}(t) = \left[e^{-0,2\lambda t} + \frac{1}{4} e^{1,8\lambda^2 T_C t}\left(e^{-0,2\lambda t} - e^{-\lambda t}\right)\right] P_{cp}(t) P_K(t). \qquad (6.7)$$

### 6.3.3. Марківська модель надійності DCH

Знаючи інтенсивності відмов і відновлення окремих елементів системи, можна по-будувати граф переходів, у якому вершинами будуть стани системи, ребрами – переходи з інтенсивностями відмов і відновлень. При побудові графа переходів (рисунок 6.18) приймаємо такі допущення:

1. В кожному зі станів Si водночас не може відбутися більше однієї відмови каналів.

2. Час спостереження ТН настільки малий, що під час його не може відбутися збій інших каналів.

Події $S_1$ відповідає вхідний стан системи (два працездатні канали і один канал, який знаходиться в «холодному» резерві). Зі стану $S_1$ система може перейти в стан $S_2$ (збою одного з працездатних каналів) або в стан $S_4$ (відмови одного з працездатних каналів). Зі стану $S_4$ система може перейти в стан $S_3$ (збою одного з працездатних каналів), водночас система залишиться в працездатному стані (оскільки алгоритм переключення каналів припускає перекомутацію на канал С, який раніше знаходився в «холодному» резерві, уразі незбігу двох каналів, що залишалися), в стан $S_5$ (збою каналу С), водночас система знаходиться в стані часткової відмови, $S_6$ (відмови одного з працездатних каналів), водночас система залишається працездатною (канал С дієздатний) і $S_8$ (відмови каналу С, що при-зводить до відмови системи). Аналогічно зі стану $S_6$ система переходить в стан $S_7$ (збою каналу С, частковий збій системи, область α) або стан $S_8$ (відмови системи). Інтенсивності відновлення каналів після збою

$$\mu = {}^{1}/_{T_C} \tag{6.8}$$

На підставі побудованого графа переходів записуємо систему диференційних рівнянь Колмогорова:

$$\begin{cases} \frac{dP_{S_1}}{dt} = -(2\lambda_C + 2\lambda_Y)P_{S_1} + \mu P_{S_2}, \\ \frac{dP_{S_2}}{dt} = -\mu P_{S_2} + 2\lambda_C P_{S_1}, \\ \frac{dP_{S_3}}{dt} = -\mu P_{S_3} + \lambda_C P_{S_4}, \\ \frac{dP_{S_4}}{dt} = -(2\lambda_C + 2\lambda_Y)P_{S_4} + \mu P_{S_3} + \mu P_{S_5} + 2\lambda_C P_{S_1}, \\ \frac{dP_{S_5}}{dt} = -\mu P_{S_5} + \lambda_C P_{S_4}, \\ \frac{dP_{S_6}}{dt} = -(\lambda_C + \lambda_Y)P_{S_6} + \mu P_{S_7} + \mu P_{S_5} + 2\lambda_Y P_{S_4}, \\ \frac{dP_{S_7}}{dt} = -\mu P_{S_7} + \lambda_C P_{S_6}, \\ \frac{dP_{S_8}}{dt} = \lambda_Y P_{S_6} + \lambda_Y P_{S_4}, \end{cases} \quad (6.9)$$

Для врахування безвідмовності засобів порівняння і комутації введемо додаткові переходи зі станів $S_1$, $S_4$, $S_6$ в стан $S_8$, з інтенсивностями відмови комутатора і схем порівняння системи, що дорівнюють $\lambda_{СП,К}=0{,}05\cdot\lambda_{В}$.

Вирішуємо систему чисельним методом і одержуємо всі ймовірності станів $\{P_{1\text{-}8}(t)\}$. Знаходимо функцію готовності системи (ФГ) як суми ймовірності станів, в яких система зберігає працездатність:

$$P_{SS}(t) = P_{S1}(t) + P_{S2}(t) + P_{S3}(t) + P_{S4}(t) + P_{S6}(t). \quad (6.10)$$

### 6.3.4.Порівняльний аналіз моделей структури

Для аналізу використаємо аналітичну модель DCH без урахування збоїв каналів, аналітичну модель DCH з урахуванням збоїв–$DCH_{СК}$ і чисельну модель, отриману на основі марківських графів переходів. Аналітична модель DCH без урахування збоїв має вигляд

$$P_{2DCH}(t) = e^{-2\lambda t} + 2e^{-\lambda t}\left(1 - e^{-\lambda t}\right) = P(t)\left(2 - P(t)\right) = \left[P(t)\left(2 - P(t)\right)\right]P_{cc}P_K(t)$$

(6.11)

Для аналізу отриманих аналітичних ви-разів DCH зафіксуємо змінні t, $\lambda$, $\lambda_Z$, $\lambda_В$, $\lambda_{СП}$, $\lambda_К$. Час t будемо змінювати з 0 до 3 років з кроком $\Delta t$=2160 годин. Інтенсивність відмов $\lambda$ каналів змінюється в межах

$\lambda=(10^{-5} - 10^{-7})$ 1/год. Для $\lambda_З$, $\lambda_В$, $\lambda_{СП}$, $\lambda_К$ вводимо залежність від $\lambda$,

де $\lambda_{СП} = m\lambda_В$, $\lambda_К=l\cdot\lambda_В$; приймаємо $m=2*10^{-2}$, $l=3*10^{-2}$. Підставляючи ці значення в отримані аналітичні вирази, аналізуємо аналітичні моделі $DCH_1$ з урахуванням збоїв, $DCH_2$ без урахування збоїв і марківські моделі $DCH_1$ з урахуванням збоїв. Результати аналізу показали, що для $\lambda = 10^{-5}$1/г моделі $DCH_1$ з урахуванням збоїв більш надійні, ніж $DCH_2$ без урахування збоїв. Це зумовлено тим, що збій в одному з каналів DCH2 призведе до «втрати» каналу і, як наслідок цього, до деградації системи. Результати, отримані при аналітичному і чисельному дослідженні моделей DCH1, незначно різнилися між собою, що підтверджує можливість використання цих моделей для оцінювання ненавантажених систем з різноманітними режимами вмикання каналів.

Висновки і перспективи подальшого розвитку. В результаті аналізу різних моделей DCH визначено області доцільного застосування залежно від різноманітних умов.

При використанні каналів малої надійності $\lambda = 10^{-5}$ 1/год. при короткому часі функціонування системи спостерігається перевага $DCH_1$з урахуванням збоїв, порівняно з $DCH_2$ без урахування збоїв каналів системи. Для більш надійних каналів $\lambda = 10^{-7}$ 1/год. доцільно використати $DCH_2$ без урахування збоїв каналів. Аналітичні вирази для структур з «холодним» резервним каналом розглянуто більш глибоко в зв’язку з тим, що це найбільш прийнятний засіб підвищення надійності КСКЗ без обслуговування при тривалому періоді експлуатації. Отримані аналітичні вирази дають можливість робити вибір ненавантажених резервованих структур КСКЗ. Таким чином, запропоновано моделі та алгоритми, що забезпечують аналіз послідовностей помилок, які є наслідком збоїв каналів комп’ютерних систем критичного застосування з мажоритарним

резервуванням. Крім того, наводяться приклади моделей систем надійності, що дасть змогу мінімізувати ймовірність недостовірної ідентифікації їхнього технічного стану. Запропоновані моделі й алгоритми є основою відповідних програмних засобів.

### 6.4 Вдосконалення технології перерозподілу обчислювальних ресурсів КС СЕД

Для забезпечення досягнення необхідних параметрів якості функціонування комп’ютерної мережі комп’ютерної системи судово експертної діяльності важливо провести дослідження можливих технологій перерозподілу обчислювальних ресурсів КМ КС СЕД з використанням сучасних мережевих технологій. Одною з таких технологій є технологія, яка базується на багатоканальній системі обробки та передачі інформації в різних діапазонах випромінювання.

Засоби бездротового зв'язку вельми широко використовуються в офісних і домашніх мережах передачі інформації, в інтерфейсах "ноутбук настільний комп'ютер" і мультимедійних рішеннях. Все більш актуальною стає подальше підвищення швидкості передачі даних в таких додатках. Великі надії у вирішенні цього завдання пов'язані з використанням так званих MIMO-технологій (Multiple Input - Multiple Output, множинний вхід - множинний вихід). І хоча існуючі втілення MIMO-ідеї поки що не завжди помітно прискорюють трафік на невеликих відстанях від точки доступу, вже доведено, що на великих відстанях вони досить ефективні. MIMO-принцип дозволяє зменшити число помилок при радіообміну даними (BER) без зниження швидкості передачі в умовах множинних перевідбиттів сигналів. При цьому багатоелементні антенні пристрої забезпечують:

– розширення зони покриття радіосигналами і згладжування в ній мертвих зон;

– використання декількох шляхів поширення сигналу, що підвищує ймовірність роботи по трасах, на яких менше проблем з завмираннями, перевідбиваннями і тощо

– збільшення пропускної здатності ліній зв'язку за рахунок формування фізично різних каналів (розділених просторово, за допомогою ортогональних кодів, частот, поляризаційних мод).

Історія систем MIMO як специфічного об'єкта бездротового зв'язку поки вельми не тривала. Перший патент на використання MIMO-принципу в радіозв'язку був зареєстрований в 1984 році співробітником Bell Laboratories Джеком Вінтерс (Jack Winters) [1].

Базуючись на його дослідженнях, Джек Селз (Jack Salz) з тієї ж Bell Laboratories опублікував в 1985 році першу статтю по MIMO-рішень. Розвиток даного напрямку тривало фахівцями Bell Laboratories і іншими дослідниками аж до 1995 року. У 1996 році Грег Ралей (Greg Raleigh) і Джеральд Дж. Фошина (Gerald J. Foschini) запропонували новий підхід до реалізації MIMO-системи, що збільшив її ефективність. Згодом Грег Ралей, якому приписують авторство у використанні OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - мультиплексування за допомогою ортогональних несучих) для MIMO, заснував компанію Airgo Networks, що розробила перший MIMO-чіпсет True MIMO.

Однак, незважаючи на настільки короткий вік, MIMO-напрямок розвивається досить багатопланово і включає в себе різнорідне сімейство методів, які можна умовно класифікувати відповідно до принципу поділу сигналів в приймальному пристрої. При цьому в MIMO-системах використовуються як підходи до поділу сигналів що вже зарекомендували себе, так і нові. До них відносяться, зокрема, просторово тимчасове, просторово частотне, просторово поляризаційне кодування, а також над розділ у напрямку приходу сигналу в приймач. Саме велика кількість підходів до поділу сигналів зумовило таке довге розробку стандартів на використання систем MIMO в засобах зв'язку.

Найпростіша антена MIMO - це система з двох несиметричних вібраторів (монополів), орієнтованих, наприклад, під кутом ± 45 ° щодо вертикальної осі (рис. 6.19).

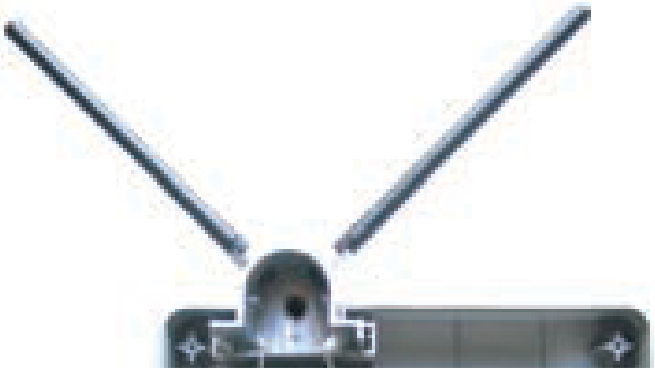


Рисунок.6.19. Система MIMO з ортогональної поляризацією антен

Такий кут поляризації ставить обидва канали в рівні умови, оскільки при горизонтально вертикальної орієнтації випромінювачів одна з поляризаційних складових неминуче отримала б більше загасання при поширенні уздовж земної поверхні. Сигнали, які випромінює незалежно кожним монополії, поляризовані взаємно ортогональне з досить високою взаємною розв'язкою по кросс-полярізаціоної складовій (не менше 20 дБ). Аналогічна антена використовується і на приймальній стороні. Такий підхід дозволяє одночасно передавати сигнали з однаковими несучими, модульовані по-різному. Принцип поляризаційного поділу забезпечує подвоєння пропускної здатності лінії радіозв'язку в порівнянні з випадком одиночного монополя (в ідеальних умовах прямої видимості при ідентичною орієнтації приймальних і передавальних антен). Таким чином, по суті будь-яку систему з подвійною поляризацією можна вважати системою MIMO.

Для реалізації принципу MIMO - використання ортогонального кодування (як правило, по фазі) сигналів, незалежно випромінюваних різними антенними елементами. Характерний приклад - застосування MIMO в пристроях стандарту IEEE 802.11. Про це заявили багато виробників обладнання, зокрема, американська компанія Vivato, тайванська фірма D-

Link (наприклад, адаптер D-Link DWL-G650M Wireless MIMO Cardbus), компанія Lynksys, яка увійшла до складу корпорації Cisco Systems, та ін. А фірма Airgo Networks вже приступила до серійного виробництва чіпсета AGN300 для підтримки MIMO-опції в стандартах IEEE 802.11 a / b / g.

Один з можливих підходів до реалізації ортогонального кодування полягає в розширенні спектра сигналу, що передається методом прямої послідовності (DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum). Суть DSSS полягає в заміні кожного біта (або груп бітів) вихідного потоку даних якоїсь псевдовипадковій (шумоподібній) кодовою послідовністю. Основна вимога до кодів, що використовуються при DSSS, - автокореляція кодової послідовності при зсуві повинна бути мінімальною, в ідеалі дорівнює 0. Тоді при багатопроменевому поширенні (наприклад, через перевідбиттів в умовах міської забудови) сигнал, який потрапив на приймач із затримкою, буде сприйматися корелятором як шум і не зіпсує основний (прямо поширюється) сигнал. На приймальній стороні вхідний сигнал потрапляє на корелятор, в якому відбувається когерентне накопичення (в найпростішому випадку це твір вхідного сигналу на еталонну кодову послідовність), в результаті шуми фільтруються, і залишається лише корисний сигнал. Наприклад, в стандарті IEEE 802.11 кожен біт, що дорівнює 1, замінюється 11-позиційним кодом Баркера (10110111000), а рівний 0 - його інверсією. Один елемент такої кодової послідовності називають чіпом, а саму розширює послідовність базою сигналу.

При використанні техніки MIMO в обладнанні стандарту IEEE 802.11 антенні випромінювачі передають сигнали або з частотним поділом, або із зсувом за часом один щодо одного, наприклад на один чіп. В останньому випадку бази сигналів в кожному антенному каналі виявляються взаємно ортогональними (або близькими до цього).

Подальшим розвитком принципу DSSS в сімействі стандартів IEEE 802.11 стало використання в протоколі 802.11b методу фазової модуляції за допомогою багатофазної (поліфазний) комплементарної кодової

послідовності (метод CCK - Complementary Code Keying). Першим виклав ідею бінарних комплементарних кодів Марсель Голей (M.J.E. Golay), понад півстоліття тому описавши їх принцип і методи генерації [2]. Суть комплементарного кодування полягає в використанні двох послідовностей a й b, кожна з k елементів, з автокореляційної функції.

$$A(i) = \sum_{j=1}^{k-i} a_j\, a_{j+1} \text{ и } B(i) = \sum_{j=1}^{k-i} b_j\, b_{j+i}, \text{где } i = 0, \dots, k-1 \text{ — Можливий}$$

зсув, для яких A($i$) + $B(i)$ = 0 при будь-якому$i$ ≠0, і $A$(0) + $B(0)$ = 2k.

Фізична інтерпретація зсуву в даних формулах - прийом прямо поширюється сигналу і сигналу з фазовою затримкою на і елементів (чіпів). Іншими словами, якщо система зв'язку, яка використовує комплементарне кодування, працює в умовах багатоколійні поширення сигналів, то в ідеалі міжсимвольні інтерференція, викликана накладенням сигналів із затримками поширення, повинна бути відсутнім, так як сума їх автокореляційних функцій дорівнює нулю.

Оскільки в стандарті IEEE 802.11 прийнята диференціальна квадратурная фазова модуляція (DQPSK), всього може бути чотири значення фази, зрушені один щодо одного на 90 °. Суть застосування CCK полягає в тому, що потік трансльованих даних розбивається на групи по 8 біт кожна. Група замінюється сигналом C з 8 чіпів C = ($c_1$, ..., $c_8$). Кожен чіп - це сигнал, фаза якого визначається квартетом $\emptyset_1$, $\emptyset_2$, $\emptyset_3$ , $\emptyset_4$ так що C = [ $c_1,\dots,c_8$]=

= [$e^{i(\emptyset_1+\emptyset_2+\emptyset_3+\emptyset_4)}$, $e^{i(\emptyset_1+\emptyset_3+\emptyset_4)}$, $e^{i(\emptyset_1+\emptyset_2+\emptyset_4)}$ -$e^{i(\emptyset_1+\emptyset_4)}$, $e^{i(\emptyset_1+\emptyset_2+\emptyset_3)}$, $e^{i(\emptyset_1+\emptyset_3)}$, -$e^{i(\emptyset_1+\emptyset_2)}$, $e^{i(\emptyset_1)}$]. (Тут використана запис Ейлера: $e^{i\emptyset}$= cos $\emptyset$+ j sin $\emptyset$, $\boldsymbol{j}$ = $\sqrt{-1}$. Що стосується квадратури модуляції дійсна і уявна складові відносяться до синфазному і квадратурного каналах, відповідно.).

У групі всі 8 біт розбиваються на пари (дібіт), кожному дібіт ставиться у відповідність певний елемент фазового квартету $\emptyset_i$, ($d_0d_1 \rightarrow \emptyset_1$, $d_2d_3 \rightarrow \emptyset_2$, $d_4d_5 \rightarrow \emptyset_3$, $d_6d_7 \rightarrow \emptyset_4$). Залежно від значень дібіт, $\emptyset$, виявляється рівним 0 °, 90 °, 180 ° або 270 °. Причому $\emptyset_1$визначається фазою попереднього символу і парністю поточного символу С в потоці, тому модуляція і називається диференціальної. Можна показати, що при будь-яких значеннях дібіт послідовності С виявляються комплементарними.

На приймальній стороні, за умови синхронного прийому, декодер відновлює значення $\emptyset_1$, $\emptyset_2$, $\emptyset_3$, $\emptyset_4$, а по ним - і значення інформаційних біт. У найпростішому випадку обробка зводиться до наступних обчислень:

$\emptyset_2 = \arg\{r_1 r_2^* + r_3 r_4^* + r_5 r_6^* + r_7 r_8^*\}$,

$\emptyset_3 = \arg\{r_1 r_3^* + r_2 r_4^* + r_5 r_7^* + r_6 r_8^*\}$,

$\emptyset_4 = \arg\{r_1 r_5^* + r_2 r_6^* + r_3 r_7^* + r_4 r_8^*\}$,

$\emptyset_1 = \arg\{r_4 e^{-j\emptyset_4} + r_6 e^{-j\emptyset_3} + r_7 e^{-j\emptyset_2} + r_8\}$,

де $r = [r_{1,\ldots,}r_8]$ - прийнята 8-бітова послідовність. Знак * означає комплексне сполучення: якщо $r_i$, = a + jb, то $r_i^*$ = a - jb.

Функція arg ($r$) = arctg [Im ($r$) / Re ($r$)] = arctg (b / a Фактично в процесі такої обробки відношення сигнал-шум покращується в середньому вдвічі.

Оскільки ССК-послідовності комплементарні, при застосуванні техніки MIMO можлива їх одночасна трансляція. Наприклад, парні чіпи (або символи) передаються по одному антенного каналу, непарні - по іншому, при цьому вони виявляються практично ортогональними.

Розвитком принципу DSSS стала технологія мультиплексування з кодовим поділом каналів CDMA (Code Division Multiple Access). При цьому на одній частоті випромінюються сигнали з різними взаємно ортогональними базами (псевдовипадковими кодовими послідовностями). Причому для корелятора, налаштованого на певну базову послідовність, всі інші сигнали виглядають як білий шум. Очевидно, що в цьому випадку при використанні технології MIMO кожному антенного каналу ставиться у відповідність певний CDMA-код, і сигнали в них виявляються ортогональними.

Крім кодового поділу каналів, все більшого розвитку отримують системи з поділом на основі ортогональних частот (OFDM). Ідея методу - замість високошвидкісний модуляції однієї несучої застосовувати модуляцію набору піднесуть з набагато меншою швидкістю. Весь діапазон розбивається на кілька ортогональних частот виду $s_n(t) = A \cdot \sin \cdot (2\pi[f_0 + n\Delta f])$, де $n = 0, ..., N$; $\Delta f$ інтервал між поднесущими. Вхідний потік даних ділиться на групи (символи), які використовуються для одночасної модуляції кожної піднесущій. До символів додають захисні інтервали (паузи) як ефективний засіб боротьби з межсимвольної інтерференцією. Щоб метод був ефективний, число тих, що піднесуть має бути досить великим від десятків до тисяч. Так, в стандарті IEEE 802.11 a і g використовують 52 поднесущі, в стандарті IEEE 802.16 - від 200 до 2048, в специфікації наземного цифрового телевізійного мовлення DVB-T - 6817 піднесуть частот. Кожна з них модулюється за допомогою багаторівневої квадратурної модуляції. Вихідний багаточастотний сигнал синтезують за допомогою зворотного швидкого перетворення Фур'є (ЗШПФ).

Пропонувалося передавати кожен біт вихідного повідомлення на декількох ортогональних піднесучих. На кожній з частот біт повинен замінятися CDMA-кодом довжини N (рис.6.20). В результаті на всіх тих, що піднесуть сигнал виявляється захищеним від межсимвольной і міжканального інтерференції двічі частотним і кодовим поділом.

З плином часу, в першу чергу в зв'язку з воістину 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.

В "класичних" системах зв'язку OFDM-CDMA використовується один трансивер. У разі застосування систем MIMO вихідний потік даних розбивається на субпотоків за кількістю випромінювачів MIMO-передавачів.

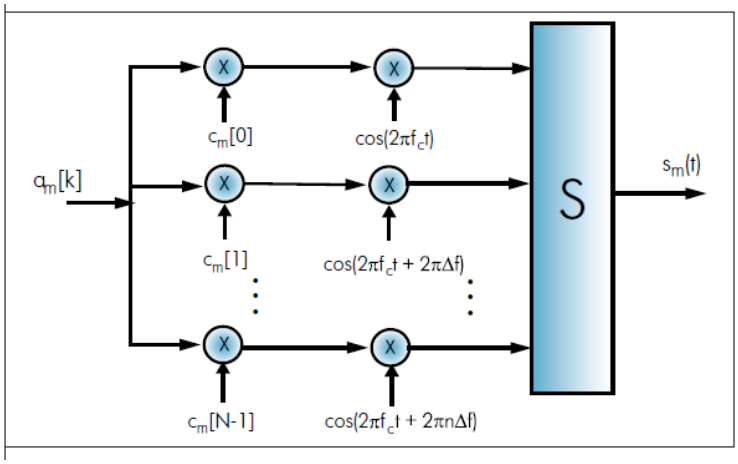



Рисунок 6.20. Система MC-CDMA по Ліннарецу

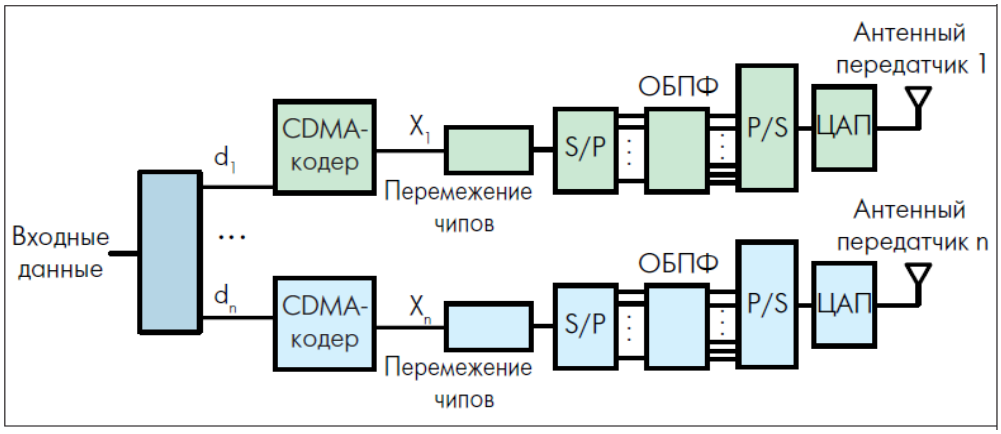



Рисунок 6.21 Система OFDM-CDMA

У кожному субпотоків застосовується свій CDMA код, і далі кодированная послідовність бітів використовується для формування OFDM-символів, паралельно транслюються кожним передавачем (рис.6.21). Такий підхід дозволяє при одних і тих же номіналах частот розділяти канали передачі MIMO-системи за рахунок додаткової ортогональної кодової модуляції. На приймальній стороні з OFDM-сигналу спочатку відновлюються ортогональні несучі (за допомогою ШПФ), а потім на кожній з них сигнал декодується шляхом кореляційної обробки.

Для MIMO-систем можливий і інший варіант реалізації MC-CDMA, коли спочатку за допомогою ОБПФ синтезується потік OFDM-символів, а потім він піддається додатковому CDMA- кодування. Причому вихідний потік OFDM-символів розподіляється на субпотоків для кожного випромінювача. Для кожного субпотоку використовується свій CDMA-код, кодери розташовуються перед входом ЦАП антенних випромінювачів.

При цьому сигнали різних антен мають одні і ті ж частоти, а поділ при прийомі відбувається за допомогою CDMA-коду: в приймальнику на першому етапі проводиться кореляційний обробка з відновленням пакетів гармонійних сигналів з безперервною фазою (свій синусоїдальний пакет для кожного випромінювача MIMO), а потім відновлюються сигнали на кожній ортогональної піднесущій OFDM за допомогою ШПФ. Обидва розглянутих варіанти MC-CDMA за якістю передачі інформації, в принципі, рівноцінні.

**Висновки з розділу 6**

У розділі було наведено результати дослідження моделей та методів синтезу спеціалізованої комп’ютерної системи судово-експертної діяльності.

1. В результаті імітаційного моделювання в середовище Opnet Modeler v 14.0 встановлено, що в умовах зовнішнього деструктивного впливу $\Psi_(t)$, при якому приблизно 30% мережевих ресурсів МСМ виходить з ладу, доцільно застосовувати «Лавинні» методи формування плану розподілу інформації.

2. В результаті імітаційного моделювання в середовищі The Network Simulator (NS-2) встановлено, що що пропонована система оцінки параметрів мережі інформаційної системи судово-експертної діяльності дозволяє визначати місце розташування ділянок телекомунікаційної мережі з обмеженою пропускною спроможністю. Застосування STAB дозволяє досить точно оцінювати доступну смугу пропускання каналу, за рахунок її обчислень до m-го з'єднання в будь-який момент часу. Таким чином можливим стає побудова альтернативних віртуальних маршрутів, що

дозволити істотно знизити число втрачених пакетів і, в підсумку, підвищити якість передачі інформації в комп'ютерній мережі інформаційної системи судової експертизи.

3. В результаті досліджень режиму ненавантаженого резервування у комп’ютерних системах критичного застосування встановлено, що

– для різних моделей DCH визначено області доцільного застосування залежно від різноманітних умов;

– при використанні каналів малої надійності $\lambda = 10^{-5}$ 1/год. при короткому часі функціонування системи спостерігається перевага $DCH_1$з урахуванням збоїв, порівняно з $DCH_2$ без урахування збоїв каналів системи;

– для більш надійних каналів $\lambda = 10^{-7}$ 1/год. доцільно використати $DCH_2$ без урахування збоїв каналів.

4. Було проведено дослідження можливих технологій перерозподілу обчислювальних ресурсів КМ КС СЕД з використанням сучасних мережевих технологій. Встановлено, що використання різних систем, які використовують багатоканальні системи обробки та передачі інформації в різних діапазонах випромінювання дозволяють:

– розширення зони покриття радіосигналами і згладжування в ній мертвих зон;

– використання декількох шляхів поширення сигналу, що підвищує ймовірність роботи по трасах, на яких менше проблем з завмираннями, перевідбиваннями і тощо

– збільшення пропускної здатності ліній зв'язку за рахунок формування фізично різних каналів (розділених просторово, за допомогою ортогональних кодів, частот, поляризаційних мод).

5. Основні результати розділу опубліковано в [35, 36, 42, 104, 105, 106, 138, 139, 140, 141, 142, 143].

# 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 (акт впровадження від 18.02.2021 р.); 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 (акт впровадження від 14.07.2020 р.); ТОВ «ХарківПромпостач» (м. Харків) при виконанні науково-дослідної роботи (акт впровадження від 30.10.2020 р.); у навчальному процесі Черкаського державного технологічного університету.

# СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. України Закон. «Про судову експертизу» від 25.02. 1994 № 4038-XII [Електронний ресурс] //Режим доступу до сторінкиhttps://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4038-12#Text.

2. Билык А.С. Перспективные направления развития экспертной деятельности в сфере информационных технологий. // Теорія та практика судової експертизи і криміналістики. – 2013—Вип. 13 – С. 385 – 391.

3. С.М. Бобрицький. Методичні аспекти дослідження телекомунікаційних систем (обладнання) та засобів. // Теорія та практика судової експертизи і криміналістики. – 2008—Вип. 8 – С. 445 – 449.

4. Балашов, В.Ю. Проблеми уніфікації термінології у сфері боротьби з кіберзлочинністю / В.Ю. Балашов // ТЗЗ Теорія і практика юридичної відповідальності за правопорушення в інформаційній сфері: Матеріали науково-практичної конференції / 08 червня 2016 р., м. Київ.

5. Кучук, Г. А. "Інформаційні технології управління інтегральними потоками даних в інформаційно-телекомунікаційних мережах систем критичного призначення." Х.: ХУ ПС, 2013.–264 с.

6. Кучук, Г. А. "Концептуальний підхід до синтезу структури нформаційно-телекомунікаційної мережі." Системи обробки інформації: збірник наукових праць.–Харків.: ХУ ПС, 2013. Вип. 7 (114): 106-112.

7. Семенов С. Г., Беленков А. Г., Можаев А. А. Разработка распределенного метода многопутевой маршрутизации, основанного на потоковой модели с предвычислением путей (маршрутов) //Моделювання та інформаційні технології.–Київ.: ІПМЕ ім. ГЄ Пухова. 2005. №. 32. С. 189-192

8. 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

9. 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.

10. Можаев М.А. , Буслов П.В. Метод повышение показателей качества распределенной информационной системы судебной экспертизы Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries, No.4(14), P.57–65. DOI:https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.057. Современное состояние научных исследований и технологий в промышленности, 2020 №2 (14).

11. Merlac V. Resourses Distribution Method of University e-learning on the Hypercovergent platform / V. Merlac, S. Smatkov, N. Kuchuk, A. Nechausov // Conf. Proc. of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Service and Technologies. DESSERT'2018. Ukraine, Kyiv, May 24-27, 2018. – P. 136-140. – URL :http://dx.doi.org/ 10.1109/DESSERT.2018.8409114

12. Kuchuk, N., Artiukh, R. and Nechausov, A. (2017), "Method of building the semantic network of distributed search in e-learning", Innovative technologies and scientific solutions for industries, No 2 (2), pp. 62-69. doi:https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.2.062

13. Whitt W. The Queuing Network Analyzes / W. Whitt // Bell System Tech. I. – 1983. – Vol. 62, № 9. – P. 2779 – 2815.

14. Кучук Г.А. Управління трафіком мультисервісної розподіленої телекомунікаційної мережі / Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НіУ, 2007. – Вип. 2. – С. 18-27.

15. Свиридов А. С., Коваленко А. А., Кучук Г. А. Метод перерозподілу пропускної здатності критичної ділянки мережі на основі удосконалення ON/OFF-моделі трафіку. Сучасні інформаційні системи. 2018. Т. 2, № 2. С. 139–144. DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24

16. Кучук Г.А. Метод мінімізації середньої затримки пакетів у віртуальних з'єднаннях мережі підтримки хмарного сервісу / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, Н.В. Лукова-Чуйко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава . ПНТУ, 2017. – Вип. 2(42). – С. 117-120.

17. Кучук Г. А. Концептуальний підхід до синтезу структури інформаційно-телекомунікаційної мережі / Г. А. Кучук, І. В. Рубан, О. П. Давікоза // Системи обробки інформації : збірник наукових праць. – Х.: ХУ ПС, 2013. – Вип. 7 (114). – С. 106 – 112.

18. Lemeshko, O., Yevdokymenko, M. і Yeremenko, O. (2019) Модель швидкої qos-перемаршрутизації трафіку даних в інфокомунікаційних мережах, Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості, (3 (9), pp 127-134. doi: 10.30837/2522-9818.2019.9.127.

19. Kosenko V. Mathematical model of optimal distribution of applied problems of safety-critical systems over the nodes of the information and telecommunication network. Сучасні інформаційні системи (Advanced Information Systems). 2017. Т. 1, № 2. С. 4-9. doi:https://doi.org/10. 20998/2522-9052.2017.2.01.

20. Коваленко А. А., Кучук Г. А. Методи синтезу інформаційної та технічної структур системи управління об'єктом критичного застосування. Сучасні інформаційні системи. 2018. Т. 2, № 1. С. 22–27. DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04

21. Зиков І. С., Кучук Н. Г., Шматков С. І. Синтез архітектури комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning. Сучасні інформаційні системи. 2018. Т. 2, № 3. С. 60–66. DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10

22. Gelenbe E. Analysis and synthesis of computer systems (2nd Edition) / E. Gelenbe, G. Pujolle // Advances in Computer Science and Engineering : Texts – Vol.4 – 2010. – 309 p.

23. Кучук Г.А. Метод мінімізації середньої затримки пакетів у віртуальних з’єднаннях мережі підтримки хмарного сервісу / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, Н.В. Лукова-Чуйко // Системи управління, навігації та зв’язку. – Полтава . ПНТУ, 2017. – Вип. 2(42). – С. 117-120.

24. Kuchuk G., Kharchenko V., Kovalenko A., Ruchkov E. Approaches to selection of combinatorial algorithm for optimization in network traffic control of safety-critical systems. East-West Design & Test Symposium (EWDTS). 2016. Pp. 1-6. doi:https://doi.org/10.1109/EWDTS.2016.7807655.

25. Mozhaev M. Multiservise network security metric / O. Mozhaev, H. Kuchuk, N. Kuchuk, M. Mozhaev, M. Lohvynenco // IEEE Advanced information and communication technologies-2017. Proc. of the 2th Int. Conf. – Lviv, 2017. – P. 133-136.

26. Kosenko V. V. (2017), “Principles and structure of the methodology of risk-adaptive management of parameters of information and telecommunication networks of critical application systems”, Innovative technologies and scientific solutions for industries, No 1 (1), pp. 75-81. doi:https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.046

27. Kuchuk G.A. An Approach To Development Of Complex Metric For Multiservice Network Security Assessment / G.A. Kuchuk, A.A. Kovalenko, A.A. Mozhaev // Statistical Methods Of Signal and Data Processing (SMSDP – 2010): Proc. Int. Conf., October 13-14, 2010.– Kiev: NAU, RED, IEEE Ukraine section joint SP, 2010. – P. 158 – 160.

28. Kliuiev, O., Mozhaiev, M., Uhrovetskyi, O., Mozhaiev, O., Simakova-Yefremian, E. 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 2019 – Proceedings.

29. Gavrylenko, S. (2019) Синтез ідентифікаційних вимірів в комп'ютерній системі критичного призначення, Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості, (2 (8), pp 36-43. doi: 10.30837/2522-9818.2019.8.036.

30. Filimonchuk, T., Volk, M., Risukhin, M., Olshanska, T. і Kazmina, D. (2019) Модифікована інформаційна технологія розподілення завдань на ресурси для систем хмарних обчислень, Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості, (1 (7), pp 121-129. doi: 10.30837/2522-9818.2019.7.121.

31. Davydovskyi, Y., Reva, O., Artiukh, O. і Kosenko, V. (2019) Моделювання параметрів навантаження комп'ютерної мережі протягом заданого періоду часу, Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості, (3 (9), pp 72-80. doi: 10.30837/2522-9818.2019.9.072.

32. Оптическая обработка радиосигналов в реальном времени / Под ред. С.В. Кулакова. – М.: Радио и связь, 1989. – 136 с.

33. Акаев А.А., Майоров С.А. Оптические методы обработки информации. – М.: Высш. шк., 1988. – 237 с.

34. Kuchuk G., Kovalenko A., Komari I.E., Svyrydov A., Kharchenko V. Improving big data centers energy efficiency: Traffic based model and method. Studies in Systems, Decision and Control, vol 171. Kharchenko, V., Kondratenko, Y., Kacprzyk, J. (Eds.). Springer Nature Switzerland AG, 2019. Pp. 161-183. DOI: http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4_8

35. M. Mozhaiev, N. Kuchuk, M. Usatenko. The method of jitter determining in the telecommunication network of a computer system on a

special software platform. Innovate technologies and scientific solutions for industries. Kharkiv, 2019 - P. 134-140, DOI: doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.134

36. 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

37. American National Standard for Telecommunications, “Synchronization Interface Standards for Digital Networks,” ANSI T1.101-1994/

38. ITU-T Recommendation G.811, “Timing requirements at the output of primary reference clocks suitable for plesiochronous operation of international digital links.”

39. ITU-T Recommendation G.824, “The control of jitter and wanderwithin digital networks which are based on the 1544 kbit/s hierarchies.

40. Стрелков А.И., Стадник А.М., Коротков В.В. Особенности работы некогерентного акустооптического спектроанализатора при конечном времени регистрации // Радиотехника (Харьков). – 2001. – Вып. 122. – С. 162 - 168.

41. Пространственное разрешение оптических сигналов акустооптического преобразователя при анализе спектров радиосигналов на близких частотах / А. И. Стрелков, Т. А. Стрелкова, Е. И. Жилин, В. В. Марченко // Системи оброб. інформації. - 2005. - Вип. 5. - С. 144-151. - Библиогр.: 10 назв. – рус

42. V. Rudnytsky, M. Mozhaiev, N. Kuchuk. Method for the diagnostics of synchronization disturbances in the telecommunications network of a critical used computer system. Современное состояние научных исследований и

технологий в промышленности, 2020 №1 (11), сс. 172-180. doi: 10.30837/2522-9818.2020.11.172..

43. Ключиков И. А. Измерение средней частоты сигналов в акустооптических спектроанализаторах с пространственно- инвариантной аппаратной функцией//Приборостроение.2012.№12.URL: http://openbooks.ifmo.ru/ru/article/5956/izmerenie_sredney_chastoty_signalov_v_akustoopticheskih_spektroanalizatorah_s_prostranstvenno-neinvariantnoy_apparatnoy_funkciey.html

44. Стрелков А. И. Оптимизация процесса измерения частоты радиосигнала с учетом вида аппаратной функции акустооптического анализатора спектра / А. И. Стрелков, Е. И. Жилин, В. В. Марченко, А. П. Лытюга // Системи обробки інформації. - 2006. - Вип. 6. - С. 175-183. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2006_6_28

45. Рябкин Ю. В. Квазиоптимальная обработка коротких радиоимпульсов в акустооптическом спектроанализаторе / Ю. В. Рябкин, В. В. Карнаух // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. - 2006. - № 2. - С. 113-116. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/aaeks_2006_2_18.

46. Аронов Л.А., Ушаков В.Н. Метод формирования квадратурных компонент спектра в гомодинном акустооптическом спектроанализаторе // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2019. №2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/metod-formirovaniya-kvadraturnyh-komponent-spektra-v-gomodinnom-akustoopticheskom-spektroanalizatore (дата обращения: 07.06.2020).

47. Акустооптический анализатор спектра / В.В. Данилов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2000. — № 5-6. — С. 25-28. — Бібліогр.: 11 назв. — рос

48. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Кн. 2. – М.: Сов. радио. – 392 с.

49. Парыгин В.Н., Балаковский В.И. Оптическая обработка информации. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – 142 с.

50. Lamport L. Distributin. URL: http://research.microsoft.com/enus/um/people/lamport/ pubs/distributed-system.txt (reference date: 06.11.2016).

51. Tanenbaum E., Van-Steen M. Distributed Systems. The principles and paradigms. SPb.: Peter, 2003. 877 p.

52. Radchenko G.I. Distributed Computing. Chelyabinsk: Photographer, 2012. 184 p.

53. Mozhaiev, M., Melashchenko, O., Roh, V. Usatenko M. (2020), " Means of improving the quality of service of the computer network of the forensic information system", Innovate Technologies and Scientific Solutions for Industries, No. 2 (12), P. 57-65. DOI: https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.057

54. 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

55. 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.

56. 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.

57. Кучук Г. А. Рубан І. В., Давікоза О. П. Концептуальний підхід до синтезу структури інформаційно-телекомунікаційної мережі. Системи обробки інформації : збірник наукових праць. Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 7 (114). – С. 106 – 112.

58. Feynman, R. P. Quantum mechanics and path integrals / R. P. Feynman, A. R. Hibbs. – McGraw-Hill, New York, 1965. – 377 p

59. Roepstor G. Path Integral Approach to Quantum Physics, Springer, Heidelberg, 1996. – 220 p.

60. Chaichian M., Demichev A. Path Integrals in Physics. Vol. 1. – IOP Publishing, London, 2001. – 352 p.

61. Kleinert H. Path Integrals in Quantum Mechanics, Statistics, Polymer Physics, and Financial Markets, – World Scientific Publishing Co., Singapore, 2004. – 1300 p.

62. LaChapelle J. Path integral solution of linear second order partial differential equations I: the general construction // Ann. Phys. – 2004. – 314. – P. 362 – 395.

63. LaChapelle J. Path integral solution of linear second order partial differential equations II: elliptic, parabolic, and hyperbolic cases // Ann. Phys. – 2004. – 314. – P. 396 – 424.

64. Егоров, А. Д. Введение в теорию и приложения функционального интегрирования / А. Д. Егоров, Е. П. Жидков, Ю. Ю. Лобанов. – М.: Физматлит, 2006. – 400 с.

65. Horacio, S. Wio. Application of path integration to stochastic process: an introduction / S. Wio. Horacio. – World Scientific Publishing Company, 2013. – 176 p.

66. Constantinou J. Path-integral analysis of tapered, graded-index waveguides // J. Opt. Soc. Amer. A. – Aug. 1991. – V. 8. – P. 1240 – 1244.

67. Nevels R.D. Miller J.A. Miller R.E. A path integral time-domain method for electromag-netic scattering // IEEE Trans. Antennas Propagat. – Apr. 2000. – V. 48. – P. 565 – 573.

68. Yeh K.C., Lin K.H., Wang Y. Effect of irregular terrain on waves – a stochastic approach // IEEE Trans. Antennas Propagat. – Feb. 2001. – V. 49. – P. 250 – 259.

69. Levy M. Parabolic equation methods for electromagnetic wave propagation. - London: IEE, 2000. – 348 p.

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

71. Можаєв М.О. Удосконалення математичної моделі оптичних каналів передачі інформації Системи управління, навігації та зв’язку: збірник наукових праць.-Полтава: Полтавський НТУ ім. Юрія Кондратюка, 2021.- Вип 1(63).-158 с.-С.153-157.

72. Mozhaiev M. Modeling nonlinear elements of critical computer network / M. Mozhaiev // Сучасні інформаційні системи - Advanced Information Systems. – 2020. – Т. 4, № 4. – С. 27-32.

73. Можаєв М.О., Рудницький В.М. Моделювання нелінійних елементів комп'ютерної мережі інформаційної системи судової експертизи. Харків, ННЦ «Інститут судових експертиз ім. Засл. проф. М.С. Бокаріуса», 2020 102 с.

74. Kuchuk, G., Kovalenko, A., Lukov-Chuiko, N. (2017), "A method for minimizing the average packet delay in virtual cloud support network connections" ["Metod minimizatsiyi seredn′oyi zatrymky paketiv u virtual′nykh z″yednannyakh merezhi pidtrymky khmarnoho servisu"], Control, navigation and communication systems, No. 2 (42), P. 117–120

75. M. Iasechko. Plasma technologies for the protection of radio electronic means from exposure to high-power electromagnetic radiations with ultrashort pulse duration, Proceedings of the 1-st Annual Conference, Tallinn, Estonia, 2017, pp. 18–21. doi: /10.21303/2585-6847.2017.00480.

76. E. M. Bazelyan and U. P. Raizer. Lightning attraction mechanism and the problem of laser lightning control, Physics–Uspekhi, 43:7, Moscow, 2000, pp. 701–716.

77. V. L. Ginzburg and A. V. Gurevich. Nonlinear phenomena in a plasma located in an alternating electromagnetic field, SOV PHYS USPEKHI, 3(1), Moscow, 1960, pp.115–146. doi:10.1070/PU1960v003n01ABEH003261.

78. O. G. Sytenko. Electromagnetic plasma fluctuations, KhGPU, Ukraine, Kharkiv, 1965, pp. 1-183.

79. S.A.Gutsev, A.A. Kudryavtsev, R.Yu. Zamchiy, V.I. Demidov, and V.I. Kolobov. Diagnostics and modeling of ashort (without positive column) glow discharge in helium with nonlocal plasma, Proc. 40th European Physical Society Conference on Plasma Physics, Finland, 2013, N 06.502.

80. M.M. Iasechko, and O.M. Sotnikov. Advanced technologies of radio electronic equipment (means) protection from powerful electromagnetic radiations with ultra short duration of pulses exposure, Published by Izdevnieciba Baltija Publishing, Collective monograph, Riga, 2018, pp.356-385.

81. I. Mac-Daniel. Collision processes in ionized gases, World, Moscow, 1967.

82. O.Skoblikov and V. Knyazyev. Properties of Conductive Shells Exposed to Electromagnetic Impulse of Lightning, International Conference on Lightning Protection (ICLP'2012), Vienna, Austrian, 2012, pp. 1-8.

83. A. Tajirov, I. Cwhanovskaya, and Z. Barsova, N. Iluoykha. Chemistry and technology of magnetite and barium-containing composite materials on its basis, European Science and Technology: materials of the II

international research and practice conference, Wiesbaden Germany, 2012, pp. 80-87.

84. V.A. Chernikov, S.A. Dvinin, A.P. Ershov, I.B.Timofeev, and V.M. Shibkov. Experimental and Theoretical research of DC transversal gas discharge in a supersonic gas flow, The 3rd workshop on Magneto-Plasma-Aerodynamics in Aerospace Applications, Moscow, 2001, pp. 129-134.

85. B. M. Smyrnov. Low Ionized Gas Physics, The science, Moscow, 1985.

86. S.A. Dvinin, and A.A. Kuzovnikov. Plane ionization waves caused by diffusion in high frequency fields, XVII International Conference on Phenomena in Ionized Gases, Belgrade, 1989, pp. 818-819.

87. O. Sotnikov, M. Iasechko, V. Larin, O. Ochkurenko, and D.Maksiuta. The model of a medium for creation of electric hermetic screens of the radio electronic means, IJATCSE. 8(2), 2019, pp. 300-304. doi:10.30534/IJATCSE/2019/32822019.

88. M. Iasechko, O. Tymochko, Y. Shapran, I. Trofymenko, D. Maksiuta, and Y. Sytnyk. Loss definition of charged particles in the discharge gap of the opening of the box-screens during the formation of a highly conductive channel, IJATCSE. 8(1.3), 2019, pp. 1-9. doi: 10.30534/ijatcse/2019/0181.32019.

89. M. Iasechko, V. Larin, O. Ochkurenko, S. Salkutsan, L. Mikhailova, and O. Kozak. Formalized Model Descriptions Of Modified Solid-State Plasma-Like Materials To Protect Radio-Electronic Means From The Effects Of Electromagnetic Radiation, IJATCSE. 8(3), 2019, pp. 393-398. doi: 10.30534/ijatcse/2019/09832019.

90. M. Iasechko, V. Larin, O. Ochkurenko, A. Trystan, T.Voichenko, A. Trofymenko, and O. Sharabaiko. Determining the function of splitting the charged particles of the strongly ionized air environment in the openings of the

case-screens of radioelectronic means, IJATCSE. 8(1.3), 2019, pp. 19-23. doi: 10.30534/ijatcse/2019/0481.32019.

91. M.M. Iasechko, and O.M. Sotnikov. Protecting of radio electronic facilities is from influence of powerful electromagnetic radiation, Published by Izdevnieciba Baltija Publishing, Collective monograph, Riga, 2019, pp.283-299.

92. A. Syrotenko, O. Sotnikov M. Iasechko, V. Larin, S.Iasechko O. Ochkurenko, and A. Volkov. Model of Combined Solid Plasma Material for the Protection of Radio-Electronic Means of Optical and Radio Radiation, IJATCSE, 8(4), 2019, pp. 1241 — 1247. doi:10.30534/ijatcse/2019/33842019.

93. V. Gurevich. Electromagnetic Terrorism: New Hazards. – Electrical Engineering and Electromechanics, N 4, 2005.

94. Yu. P. Reiser. Breakdown and heating of gases under the action of laser beam, The successes of the physical sciences, 1965.

95. A.V. Bobylev, and V.A. Chuyanov. On the numerical solution of the Landau kinetic equation, Journal of Computational Mathematics and Mathematical Physics, T. 16. № 2, 1977, pp. 407 – 416.

96. O. Turinskyi, M. Burdin, M. Iasechko, V. Larin, Y. Gnusov, D. Ikaev, V. Borysenko, and V. Manoylo. Protection of board radioelectronic equipment from the destructive powerful electromagnetic radiation with the use of natural technologies, IJETER, 7(11), 2019, pp. 542 — 548. doi: 10.30534/ijeter/2019/2371120 19.

97. M. Iasechko, V. Larin, D. Maksiuta, O. Ochkurenko, I. Krasnoshapka, Y.Samsonov, H. Lyashenko, A.Zinchenko, and R.Vozniak. Model description of the modified solid state plasma material for electromagnetic radiation protection, IJETER, 7(10), 2019, pp. 376 - 382. doi: 10.30534/ijeter/2019/027102019.

98. O. Turinskyi, M. Iasechko, V. Larin, D. Dulenko, V. Kravchenko, O. Golubenko, D.Sorokin, and O. Zolotukhin. Model and development of plasma

technology for the protection ofradio-electronic means of laser emission, IJATCSE. 8(5), 2019, pp. 2429-2433. doi:10.30534/IJATCSE/2019/85852019.

99. M.Iasechko, Y. Gnusov, I. Manzhai, O. Uhrovetskyi, V.Manoylo, A. Iesipov,O. Zaitsev, M. Volk, and O. Vovk. Determination of requirements for the protection of radio-electronicequipment from the terroristic influence by electromagnetic radiation, IJETER, 7(12), 2019, pp. 772 - 777. doi: 10.30534/ijeter/2019/077122019.

100. H. Khudov, A. Zvonko, S. Kovalevskyi, V. Lishchenko, and F. Zots. Method for the detection of smallsized air objects by observational radars, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, № 2/9 (92), 2018, pp. 61–68. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.126509.

101. .Ruban, H. Khudov, O.Makoveichuk, M. Chomik, V.Khudov, I. Khizhnyak, V.Podlipaiev, Y.Sheviakov, O.Baranik, and A.Irkha. Construction of methods for contours of objects on tonal aerospace images based on the ant aigoritms, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, № 5/9(101), 2019, pp.25-34. doi: 10.15587/1729-4061.2019.177817.

102. M.Iasechko, M. Mozhaiev, I. Manzhai, M. Volk, V. Manoylo, O. Ochkurenko, D. Maksiuta, V. Larin, A. Markov, and O. Kostyria. Conditions for reliable transmission of information over long distancesusing a powerful electromagnetic radiation, IJETER, 8(1), 2020, pp. 138 - 144. doi: 10.30534/ijeter/2020/18812020. 29 M. Iasechko, V. Larin, D. Maksiuta, O. Ochkurenko, I. Krasnoshapka, Y.Samsonov, H. Lyashenko, A.Zinchenko, and R.Vozniak. Model description of the modified solid state plasma material for electromagnetic radiation protection, APRN Journal of Engineering and Applied Sciences, 14(20), 2019, pp. 3566 - 3571.

103. Maksym Iasechko, Mykhailo Mozhaiev OleksandrTymochko , Oleksandr Kolodiazhnyi , Volodymyr Larin, Oleksandr Rybkin , Valerii Patalakha, Volodymyr Mazharov, Nataliya Benyk , Anastasiia Heilyk, Mykhailo Mozhaiev Estimation of the influence of the Nonequilibrium 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. Volume 8, No.2 February 2020. pp. 568-573. (Scopus 3 квартиль

104. Mozhaiev M. O. Temporary and energy criteria for protection of radioelectronic means (automated systems and telecommunication systems) from the destructive influence of electromagnetic radiation (/ Iasechko M. M., Mozhaiev M. O// Scientific and technical progress in European countries and the contribution of higher education institutions: Collective monograph. Riga : Izdevnieciba “Baltija Publishing”, 2020. 308 p(P 288-301) ISBN 978-9934-588-65-5)

105. Denys Frolov, Wojciech Radziewich, Volodymyr Saienko, Nina Kuchuk, Mykhailo Mozhaiev, Yurii Gnusov, Yurii Onishenko. Theoretical And Technological Aspects Of Intelligent Systems: Problems Of Artifical Intelligence/ International journal of computer science and network security. Vol/ 21. #5 P 40-43 May. 2021 Web of Science

106. Strembitska O.,Tymoshenko R., Mozhaiev M., Buslov P., Kashyna G., Baranenko RV.,Makievsskyi O. Technology of appliocation Of Multtifreqency signals to Create Electromagnetic Field /International journal of computer science and network security. Vol/ 21. #2 P 40-43 Feb. 2021 Web of Science

107. Waatt K. E. F. Systems Analysis in Ecologi. New York, 1966.

108. Grant W. Pressure Groups, Polities and Democracy in Britain. Homel Hempstead, Harvester Wheatsheaf, 2011, 230 p.

109. Gosling W. The Design of Engineering Sistems. London, 1962.

110. Nilsson, Nils (1998), Artificial Intelligence: A New Synthesis, Morgan Kaufmann Publishers, ISBN 978-1-55860-467-4.

111. Russell, Stuart J. & Norvig, Peter (2003), Artificial Intelligence: A Modern Approach (2nd ed.), Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, ISBN 0-13-790395-2.

112. Luger, George & Stubblefield, William (2004), Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving (5th ed.), The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., c. 720, ISBN 0-8053-4780-1.

113. Turing, Alan (October 1950), Computing Machinery and Intelligence, Mind T. LIX (236): 433–460, ISSN 0026-4423, doi:10.1093/mind/LIX.23 6.433.

114. McMillan R. Man Builds Twitter Bot That Humans Actually Like. Wired. URL: wired.com/2012/06/twitter_arm/

115. Ktepi B. Deception in political social media // ed. K. Harvey. Encyclopedia of social media and politic. Vol. 4. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications. P. 357-359.

116. Kotler P., Lee N. Corporate social responsibility: Doing the most good for your company and your cause. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2005.

117. Rampton S., Stauber . J . Trust us! We're experts: How industry manipulates science and gambles with your future . Tarcher. 2002.

118. Dordick H.S., Wang G. The Information Society: A Retrospective View. Newbury Park — L., — 1993.

119. Knowledge management e e-learning in ambito sanitario / M. Masoni, M. R. Guelfi, A. Conti, G. F. Gensini, - Milan: Springer, 2011. - pp 65-72.

120. Poole, David; Mackworth, Alan & Goebel, Randy (1998), Computational Intelligence: A Logical Approach, New York: Oxford University Press.

121. M.Kuwaiti, N.Kyriakopoulos, and S.Hussein, "Network dependability, fault-tolerance, reliability, security, survivability: A framework for comparative analysis", in 2006 Int. Conf. on Computer Engineering and Systems, IEEEXplore,Cairo, Egypt, Febr.26,2007, INSPEC:9232341.DOI:10.1109/ICCES.2006.320462

122. Alain Villemeur, Reliability, Availability, Maintainability and Assessment (Vol.1. Methods and Techniques). John Wiley&Sons,1992.

123. Azianti Ismail,Won Jung,"Research trends in automotive functional safety", in 2013 Int.Conf. on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering (QR2MSE), Chengdu, China,2013, INSPEC:13828750.DOI:10.1109/QR2MSE.2013.6625523

124. V.Mukhin, N.Kuchuk, N.Kosenko, H.Kuchuk, and V. Kosenko,"Decomposition method for synthesizing the computer system architecture", Advances in Intelligent Systems and Computing(AISC), vol.938, pp.289-300, 2020.DOI:10.1007/978-3-030-16621-2_27

125. V.Merlac, S.Smatkov, N.Kuchuk, and A.Nechausov,"Recourses distribution method of university e-learning on the hypercovergent platform", Conf. Proc. of 2018 IEEE 9th Int. Conf. on Dependable Systems, Service and Technologies. DESSERT’2018, Kyiv, May 24-27, 2018, pp.136-140.DOI: 10.1109/DESSERT.2018.8409114

126. P. Br´emaud. Mathematical Principles of Signal Processing: Fourier and Wavelet Analysis. Springer, 2002.

127. D. L. Donoho and X. Huo. Beamlets and multiscale image analysis. Preprint, 2001.

128. A. Gersho and R. M. Gray. Vector Quantization and Signal Compression. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, 1992.

129. V. K. Goyal, J. Zhuang, and M. Vetterli. Transform coding with backward adaptive updates. IEEE Trans. Inf. Theory, 46(4):1623–1633, July 2000.

130. J. Kovaˇcevi´c, V. K. Goyal, and M. Vetterli. Fourier and Wavelet Signal Processing. Cambridge Univ. Press, 2014. http://www.fourierandwavelets.org/.

131. G. Strang and G. Fix. An Analysis of the Finite Element Method. Wellesley-Cambridge Press, 2nd edition, 2008.

132. M. Unser. Splines: A perfect fit for signal and image processing. IEEE Signal Process. Mag., 16(6):22–38, November 1999.

133. Wilkie, "Pictorial representation of Ken-dall’s rank correlation coeff1c1ent", Teachmg Statistics, vol.2, pp.76-78, 1980.

134. Розробка методики досліджень цифрових фотозображень та технічних засобів їх виготовлення / Є. В. Тимко та ін. Звіт про НДР : КНДІСЕ, 2013. 121 с.

135. [Електронний ресурс]. — Режим доступу : https://29a.ch/photo-forensics/#error-level-analysis.

136. Бобрицкий С. М. Методические аспекты комплексного исследования с целью выявления признаков монтажа в цифровой фотографии / С. М. Бобрицкий, С. В. Черный // Теорія та практика судової експертизи і криміналістики. — 2010. — Вип. 10. — С. 633–639.

137. Методика досліджень цифрових фотозображень та технічних засобів їх виготовлення. Реєстраційний код 6.1.05 // Реєстр методик проведення судових експертиз [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://rmpse.minjust.gov.ua/page/38.

138. Можаєв М.О. Застосування вейвлет перетворень для підвищення ефективності інформаційної системи судової експертизи

Телекомунікаційні та інформаційні технології. – Київ: ДУТ, 2020. – № 4. – С. 95 – 99

139. Можаєв М.О. Математичні методи обробки цифрових зображень у системі судової експертизи. Харків, ННЦ «Інститут судових експертиз ім. Засл. проф. М.С. Бокаріуса», 2020 108 с.

140. 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.

141. 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.

142. 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.

143. 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 (є сертифікат учасника).

144. 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.

145. Васильев В. Е. Компьютерная графика: учебно-методический комплекс / В. Е. Васильев, Д. М. Семенов. — СПб. : Изд-во СЗТУ, 2010.

146. Единая наука о единой природе / Е. А. Князева и др. // Новый свет. — 2000. — № 33/ — С. 161–179.

147. [Електронний ресурс]. — Режим доступу:https://uk.wikipedia.org/wikiРетушування_зображень.

148. [Електронний ресурс]. — Режим доступу : https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/.

149. [Електронний ресурс]. — Режим доступу : https://github.com/prajaktashinde7/Image-Forgery-Analysis-and-Detection-For-Forensic-Sciences.

150. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://github.com/bomb2peng/CASIA_3Dlighting.

151. [Електронний ресурс]. — Режим доступу : https://github.com/Pramjeetk/VIDEO-FORGERY-DETECTION.

152. [Електронний ресурс]. — Режим доступу : https://github.com/MKLab-ITI/image-forensics/tree/master/matlab_toolbox.

153. [Електронний ресурс]. — Режим доступу : https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/27314-focus-measure.

154. [Електронний ресурс]. — Режим доступу : https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/60147-normality-test-package.

155. [Електронний ресурс]. — Режим доступу : https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/.

156. [Електронний ресурс]. — Режим доступу : https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/47132-fast-svd-and-pca.

157. [Електронний ресурс]. — Режим доступу : https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/.

158. [Електронний ресурс]. — Режим доступу : https://29a.ch/photo-forensics/#forensic-magnifier.

159. [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://fotoforensics.com/.

160. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.izitru.com/.

161. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.imageforensic.org/.

162. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://www.impulseadventure.com/photo/jpeg-snoop.html.

163. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://ampedsoftware.com/authenticate.

164. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://play.google.com/store/apps/details?id=fake_image_detector.coder.genuine.com.fakeimagedetector.

165. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.hogdex.photofraudfree.

166. Savita Walia et al. // International Journal of Computer Science and Information Technologies (IJCSIT). — 2014. — Vol. 5(6). — P. 7618–7622.

167. Gou H., Swaminathan A., Wu M. Noise Features for Image Tampering Detection and Steganalysis // Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing. — 2007. — P. 2893–2896.

168. Popescu A. C. Statistical Tools for Digital Image Forensics // Proceedings of the 6th International Workshop on Infomation Hiding & LNCS. — 2004. — P. 128–147.

169. Pan X., Zhang X., Lyu S. Exposing Image Forgery with Blind Noise Estimation // Proceedings of the Thirteenth ACM Multimedia Workshop on Multimedia and Security. — 2011. — P. 15–20.

170. Fan J., Cao H., Kot A. C. Estimating EXIF Parameters Based on Noise Features for Image Manipulation Detection // IEEE Transactions on Information Forensics and Security. — 2013. — Vol. 8. — Issue 4. — P. 608–618.

171. Emir D. A., Memon N. Image Tamper Detection Based on Demosaicing Artifacts // Proceedings of the 16th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). — 2009. — P. 1497–1500.

172. Brice C., Fennema C. Scene analysis using regions // Computer Methods in Images Analysis. — 1970. —Vol. 1. — Issue 3–4. — P. 205–226.

173. Ke1 Y., Zhang Q., Min W., Zhang S. Detecting Image Forgery Based on Noise Estimation // International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering. — 2014. — Vol. 9. — Issue 1. — P. 325–336.

174. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://dde.binghamton.edu/download/structural_lsb_detectors/.

175. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.graphic-design-institute.com/imagel-retouching-institute-page1.html%23photoshop-image-retouching.

176. Shannon Claude E. A Mathematical Theory of Communication // Bell System Technical Journal. — 1948, 27 (3). — P. 379–423 doi:10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x.

177. Pertuz S. Focus Measure [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/27314-focus-measure.

178. Pertuz S. et al. Analysis of focus measure operators for shape-from-focus // Pattern Recognition. — 2013, 46(5). — P. 1415–1432 doi:10.1016/j.patcog.2012.11.011.

179. Santos A., de Solorzano C. O., Vaquero J. J., Peña J. M., Mapica N. & Pozo F. D. Evaluation of autofocus functions in moleclar cytogenetic analysis. — 1997.

180. Nanda H. & Cutler R. Practical calibrations for a real-time digital omnidirectional camera. — 2001.

181. Helmli F. & Scherer S. Adaptive shape from focus with an error estimation in light microscopy. — 2001.

182. Shen C. & Chen H. Robust focus measure for low-contrast images. — 2006.

183. Lee Sang-Yong, Yoo Jae-Tack, K. Y. S. K. Reduced Energy-Ratio Measure for Robust Autofocusing in Digital Camera. — 2009.

184. Geusebroek J., Cornelissen F., Smeilders A. & Geerts H. Robust autofocusing in microscopy. — 2000.

185. Krotkov E. Range from focus. — 1986.

186. Pech J., Cristobal G., Chamorro J. & Fernandez J. Diatom autofocusing in brightfield microscopy: a comparative study. — 2000.

187. Subbarao M., Choi T. & Nizkad A. // Tech. report: Focusing techniques. — 1992.

188. Eskicioglu A. M. & Fisher P. S. Image quality measures and their performance. — 1995.

189. Firestone L., Cook K., Culp K., Talsania N. & Jr., K. P. Comparison of autofocus methods for automated microscopy. — 1991.

190. Nayar S. K. // Tech. report: Shape from focus. — 1989.

191. Thelen A., Frey S., Hirsch S. & Hering P. Interpolation Improvements in Shape-From-Focus for Holographic Reconstructions With Regard to Focus Operators, Neighborhood-Size, and Height Value. — 2009.

192. Minhas R., Mohammed A. A., Wu Q. M. & Sid-Ahmed M. A. 3D Shape from Focus and Depth Map Computation Using Steerable Filter. — 2009.

193. Yang G. & Nelson B. Wavelet-based autofocusing and unsupervised segmentation of microscopic images. — 2003.

194. Xie H.; Rong W. & Sun L. Wavelet-Based Focus Measure and 3-D Surface Reconstruction Method for Microscopy Images. — 2006.

195. Öner M., Deveci Kocakoc I. A Compilation of Some Popular Goodness of Fit Tests for Normal Distribution: Their Algorithms and MATLAB Codes // Journal of Modern Applied Statistical Methods. — Copyright (c) (2016).

196. Wei Li, MBA 2003, wayneli@fastmail.fm & Siegal (1956), Nonparametric Statistics.

197. Cardillo G. (2008) Rndt-test: An alternative to Student t-test assessing difference in means [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/20928.

198. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://dsp.stackexchange.com/questions/7678/determining-the-whiteness-of-noise for details. Copyright (c) 2013, H. Shteingart.

199. Walpole R. E., Mayers R. H., Mayers S. L., Ye K., Yee K. Probability and Statistics for Engineers and Scientists. — 7-th edition. — Upper Saddle River, N.J., Prentice Hall, 2002. — Copyright (c) 2003, G. Levin.

200. Bendat J. S. and Piersol A. G. Random Data-Analysis and Measurement Procedures. (1989). — P. 354–355.

201. Siegel, Sidney and Castellan N. J. Non-para-metric statistics for the behavioral sciences. — 1988.

202. Zampoglou M., Papadopoulos S., Kompatsiaris Y. A Large-Scale Evaluation of Splicing Localization Algorithms for Web Images // Multimedia Tools and Applications doi = 10.1007/s11042-016-3795-2.

203. Lin Zhouchen, Junfeng He, Xiaoou Tang and Chi-Keung Tang. Fast, automatic and fine-grained tampered JPEG image detection via DCT coefficient analysis // Pattern Recognition. — 42, no. 11 (2009). — P. 2492–2501.

204. Fontani M., Bianchi T., De Rosa A., Piva A. and Barni M. A framework for decision fusion in image forensics based on Dempsterâ Shafer theory of evidence // Information Forensics and Security, IEEE Transactions on 8, no. 4 (2013). — P. 593–607.

205. Ferrara P., Bianchi T., De Rosa A. and Piva A. Image Forgery Localization via Fine-Grained Analysis of CFA Artifacts // IEEE Transactions on Information Forensics & Security. — Vol. 7, no. 5, Oct. 2012. — P. 1566–1577.

206. Dirik A. E. and Memon N. D. Image tamper detection based on demosaicing artifacts // ICIP, 2009. — P. 1497–1500.

207. Dr. Ahmet Emir Dirik [Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://edirik.home.uludag.edu.tr/.

208. Ye Shuiming, Qibin Sun and Ee-Chien Chang. Detecting digital image forgeries by measuring inconsistencies of blocking artifact // Multimedia and Expo, 2007 IEEE International Conference. — P. 12–15.

209. Farid Hany. Exposing digital forgeries from JPEG ghosts // Information Forensics and Security, IEEE Transactions on 4, no. 1(2009) — P. 154–160.

210. Mahdian Babak and Stanislav Saic. Using noise inconsistencies for blind image forensics // Image and Vision Computing 27, no. 10 (2009) — P. 1497–1503.

211. Lyu Siwei, Xunyu Pan and Xing Zhang. Exposing region splicing forgeries with blind local noise estimation // International Journal of Computer Vision 110, no. 2 (2014). — P. 202–221.

212. Seba Susan and Madasu Hanmandlu. A non-extensive entropy feature and its application to texture classification // Neurocomputing 120 (2013). — P. 214–225.

213. Richman, Moorman. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy (PMID: 10843903).

214. Bandt, Pompe. Permutation entropy: a natural complexity measure for time series has been followed [Електронний ресурс]. — Режим доступу: : http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.88.174102.

215. Fillatre L. Adaptive Steganalysis of Least Significant Bit Replacement in Grayscale Natural Images.[Електронний ресурс]. — Режим доступу : http://5.189.182.106

216. Совин Я. Р., Наконечний Ю. М., Опірський І. Р., Стахів М. Ю. Аналіз апаратної підтримки криптографії у пристроях інтернету речей. Ukrainian Scientific Journal of Information Security, 2018, vol. 24, issue 1, p. 36-48.

217. Алехин В. А. Развитие учебного комплекса по электротехнике, электронике и микроконтроллерам с моделированием в программной среде TINA. Открытое образование. 2017. №6. С. 57–69.

218. Алехин В. А. Электротехника и электроника. Учебные ресурсы для студентов и преподавателей. URL: http://www.toe-mirea.ru/ (дата звернення 02.02.2020).

219. Березняков С. В., Греков А. В. Моделирование микроконтроллера 80C51 в системе схемотехнического моделирования Proteus VSM. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2016. № 17. С. 104-120.

220. Матвеенко И. П. Компьютерное моделирование электронных схем на базе микроконтроллеров AVR. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. 2014. Вип. 194(2). С. 39-46.

221. Филатов М. Работа с микроконтроллерами AVR в программной среде Proteus 8.1. Компоненты и технологии. 2015. №12(173). С. 103–112.

222. Макаренко В., Бабко А. Моделирование работы микроконтроллеров в программе NI Multisim. Электронные компоненты и системы. 2012. №4. С. 38-43.

223. Найденко Е. В. Применение программной среды Ni Multisim при изучении дисциплины «Микропроцессорная техника». Електротехнічні та комп’ютерні системи. 2017. № 25. С. 465– 469.

224. Колесникова Т. Программирование микроконтроллеров в программной среде NI Circuit Design Suite Multisim 12.0. Компоненты и технологи. 2014. № 6 (155). С. 144-148.

225. Ляшенко О, Журіло О. Моделювання можливих загроз інформаційної безпеки в системах з використанням мікроконтролерів AVR. Global Cyber Security Forum : матеріали першого міжнародного науково-практичного форуму, 14–16 листопада 2019 р. Харків: ХНУРЭ, 2019. С. 68–69.

226. Квашнін, В. О., Бабаш А. В., Квашнін В. В. Програмування та застосування мікроконтролерів STM32F4Discovery: монографія. Краматорськ: ЦТРІ «Друкарський дім», 2017. 143 с.

227. 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 №1(3) 2020 С. 79-84

228. 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. (фахове видання)

229. 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 «ХНІ»; 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

230. M.Kuwaiti, N.Kyriakopoulos, and S.Hussein, "Network dependability, fault-tolerance, reliability, security, survivability: Aframework for comparative analysis",in 2006 Int. Conf. on Computer Engineering and Systems, IEEEXplore,Cairo, Egypt, Febr.26,2007, INSPEC:9232341.DOI:10.1109/ICCES.2006.320462

231. Alain Villemeur, Reliability, Availability, Maintainability and Assessment (Vol.1. Methods and Techniques). John Wiley&Sons,1992.

232. Azianti Ismail,Won Jung,"Research trends in automotive functional safety", in 2013 Int.Conf. on Quality, Reliability, Risk, Mainte-nance, and Safety Engineering (QR2MSE), Chengdu, China,2013, INSPEC:13828750.DOI:10.1109/QR2MSE.2013.6625523

233. V.Mukhin, N.Kuchuk, N.Kosenko, H.Kuchuk, and V. Kosenko,"Decomposition method for synthesizing the computer system architecture", Advances in Intelligent Systems and Computing(AISC), vol.938, pp.289-300, 2020.DOI:10.1007/978-3-030-16621-2_27

234. G.Kuchuk, A.Kovalenko, I.E.Komari, A.Svyrydov, and V.Kharchenko, "Improving big data centers energy efficiency: traffic based model and method", in Green IT En-gineering: Social, Business and Industrial Applications. Studies in Systems, Decision and Control, V.Kharchenko, Y.Kondratenko, J.Kacprzyk, Eds., vol.171, Springer, Cham, 2019.DOI:10.1007/978-3-030-00253-4_8

235. Т. О. Прокопенко, М. О. Можаєв., С. В. Рудницький, Ю. В. Рудницька Програмування режиму ненавантаженого резервування у комп’ютерних системах критичного застосування / Вісник Черкаського державного технологічного університету №4() 2020 С. 77-83 DOI: 10.24025/2306-4412.4.2020.221845

236. Mykhailo Mozhaiev, Viacheslav Davydov, Zhang Liqiang Analysis and comparative researches of methods or improving the software Advanced Information Systems, 2020 Vol. 4, No. 3, pp. 8-11, DOI: https://doi.org/doi: 10.20998/2522-9052.2020.3.18

237. M.Mozhaiev, P. Buslov Development of an Information Model for the Personality's Social Portrait Formation Using OSINT Technology PROCEEDINGS OF THE TECHNICAL UNIVERSITY OF SOFIA, ISSN: 1311-0829, VOL. 71, NO. 1, YEAR 2021 DOI: 10.47978/TUS. 20212.71.01.003 p. 11-14 (Болгария)

238. 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.

239. I.B. Shubinsky,and A.M. Zamyshlyaev, "Topological semimarkov method for calcu-lation of stationary parameters of reliability and functional safety of technical systems", Reliability: Theory & Applications, San-Diego, USA, no. 2, 2012.

240. D.Wilkie, "Pictorial representation of Ken-dall's rank correlation coeff1c1ent", Teachmg Statistics, vol.2, pp.76-78, 1980.

241. CENELEC EN 50126: Railway Applica-tions – The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS), 1998.

242. Shivendra Singh, Varshita Gupta, Anuj Grover, and Kedar Janardhan Dhori, "Diag-nostic circuit for latent fault detection in SRAM row decoder", in 21st Int. Sympo-sium on Quality Electronic Design (ISQED),pp.395-400, 2020.DOI:10.1109/ISQED48828.2020.9136968

243. V.Rudnitsky, R.Berdybaev, R.Breus, N.Lada, and M. Pustovit, "Synthesis of re-verse two-bit dual-operated strictly straight cryptographic

coding on the basis of another operation",Advanced Information Systems, vol.3, no4, pp.109-114,2019.DOI:10.20998/2522-9052.2019.4.16

244. A.Svyrydov, H.Kuchuk, andO.Tsiapa, "Improving efficiency of image recognition process: Approach and case study", in Proc.2018 IEEE 9th Int. Conf. on Dependable Systems, Services and Technologies (DES-SERT 2018), pp.593-597.DOI:10.1109/DESSERT.2018.8409201·

245. S.Semenov, O.Sira, S.Gavrylenko, and N.Kuchuk, "Identification of the state of an object under conditions of fuzzy input data", Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, vol.1, no.4 (97), pp.22-30, 2019. DOI:10.15587/1729-4061.2019.157085

246. [19]W.Kuo, and Z.Ming, Optimal Reliability Modeling: Principles and Applications. Hoboken, NJ: John Whiley & Sons, 2003.

247. History of MIMO in radio communications. - http://en.wikipedia.org/wiki/MIMO.

248. Golay, M.J.E. Complementary series. - IRE Transactions, 1961, IT-7, p.82-87

249. N. Yee, J. P. Linnartz and G. Fettweis. Multi-Carrier CDMA in Indoor Wireless Radio Networks. - Proceedings PIMRC'93, Yokohama, Japan, 1993, p. 109-113.

# ДОДАТКИ

# ДОДАТОК А

## Список публікацій здобувача 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. (фахове видання)

2.M. Mozhaiev, N. Kuchuk, M. Usatenko. The method of jitter determining in the telecommunication network of a computer system on a special software platform. Innovate technologies and scientific solutions for industries. Kharkiv, 2019 - P. 134-140, DOI: doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.134.

3.Maksym Iasechko, Mykhailo Mozhaiev, Iryna Manzhai, Maksym Volk, Vladimir Manoylo, Oleksandr Ochkurenko, Dmytro Maksiuta, Volodymyr Larin, Alexander Markov, Oleksandr Kostyria. Conditions for Reliable Transmission Of Information Over Long Distances Using a Powerful Electromagnetic Radiation International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. Volume 8, No.1 January 2020. pp. 138-144. (Scopus 3 квартиль).

4.Maksym Iasechko, Mykhailo Mozhaiev OleksandrTymochko , Oleksandr Kolodiazhnyi , Volodymyr Larin, Oleksandr Rybkin , Valerii Patalakha, Volodymyr Mazharov, Nataliya Benyk , Anastasiia Heilyk, Mykhailo Mozhaiev Estimation of the influence of the Nonequilibrium 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 (Оценка влияния неравновесного состояния электронной подсистемы и дисперсионных свойств твердотельной плазменной среды в условиях распадной неустойчивости на отражение лазерного излучения)International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. Volume 8, No.2 February 2020. pp. 568-573. (Scopus 3 квартиль)

5. Rudnytsky, V., Mozhaiev, M. и Kuchuk, N. (2020) порушень мінхронізаціїМетод диагностики нарушений синхронизации телекоммуникационной сети компьютерной системы критического применения, (Method for the diagnostics of synchronization disturbances in the

telecommunications network of a critical used computer system) Современное состояние научных исследований и технологий в промышленности, 2020 №1 (11), сс. 172-180. doi: 10.30837/2522-9818.2020.11.172.

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 №1(3) 2020 С. 79-84

7. Mozhaiev,M., Melashchenko,O., Roh,V., Usatenko,M.(2020), "Means of improving the quality of service of the computer network of the forensic information system" _, Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries, No.2(12), P.57–65. DOI:https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.057. Современное состояние научных исследований и технологий в промышленности, 2020 №2 (12), .

8.Mozhaiev M. O. Temporary and energy criteria for protection of radioelectronic means (automated systems and telecommunication systems) from the destructive influence of electromagnetic radiation (/ Iasechko M. M., Mozhaiev M. O// Scientific and technical progress in European countries and the contribution of higher education institutions: Collective monograph. Riga : Izdevnieciba “Baltija Publishing”, 2020. 308 p(P 288-301) ISBN 978-9934-588-65-5 (Латвия)

9.Можаєв О.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 / M. Mozhaiev // Сучасні інформаційні системи - Advanced Information Systems. – 2020. – Т. 4, № 4. – С. 27-32.

11. Mykhailo Mozhaiev, Viacheslav Davydov, Zhang Liqiang Analysis and comparative researches of methods or improving the software Advanced Information Systems, 2020 Vol. 4, No. 3, pp. 8-11, DOI: https://doi.org/doi: 10.20998/2522-9052.2020.3.18

12. Можаев М.А. , Буслов П.В. Метод повышение показателей качества распределенной информационной системы судебной экспертизы Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries, No.4(14), P.57–65. DOI:https://doi.org/10.30837/2522-9818.2020.12.057. Современное состояние научных исследований и технологий в промышленности, 2020 №2 (14),

13. Т. О. Прокопенко, М. О. Можаєв., С. В. Рудницький, Ю. В. Рудницька Програмування режиму ненавантаженого резервування у комп'ютерних системах критичного застосування / Вісник Черкаського державного технологічного університету №4() 2020 С. 77-83 DOI: 10.24025/2306-4412.4.2020.221845

14. M.Mozhaiev, P. Buslov Development of an Information Model for the Personality's Social Portrait Formation Using OSINT Technology PROCEEDINGS OF THE TECHNICAL UNIVERSITY OF SOFIA, ISSN: 1311-0829, VOL. 71, NO. 1, YEAR 2021 DOI: 10.47978/TUS. 20212.71.01.003 p. 11-14 (Болгария)

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.

16. Можаєв М.О. Удосконалення математичної моделі оптичних каналів передачі інформації Системи управління, навігації та зв'язку: збірник наукових праць.-Полтава: Полтавський НТУ ім. Юрія Кондратюка, 2021.- Вип 1(63).-158 с.-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 RV.,Makievsskyi O. Technology of appliocation Of Multtifreqency signals to Create Electromagnetic Field /International journal of computer science and network security. Vol/ 21. #2 P 40-43 Feb. 2021 Web of Science

19. Denys Frolov, Wojciech Radziewich, Volodymyr Saienko, Nina Kuchuk, Mykhailo Mozhaiev, Yurii Gnusov, Yurii Onishenko. Theoretical And Technological Aspects Of Intelligent Systems: Problems Of Artifical Intelligence/ International journal of computer science and network security. Vol/ 21. #5 P 40-43 May. 2021 Web of Science

20. Можаєв М.О. Математичні методи обробки цифрових зображень у системі судової експертизи.

21. Можаєв М.О., Рудницький В.М. Моделювання нелінійних елементів комп'ютерної мережі інформаційної системи судової експертизи.

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 IEEE.

## Відомості про апробацію результатів дисертації

1.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.

2.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). / DOI: 10.1109/AIACT.2019.8847760

3.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

4.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

5.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.

6.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.

7.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.

8.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.

9.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 (є сертифікат учасника).

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. 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..

# Додаток Б

Акт впровадження № 1

**ЗАТВЕРДЖУЮ**
Директор ННЦ ІСЕ,
д-р. юрид. наук., проф.,
засл. юрист України

_____ О.М. Клюєв
_____ 2020 р.

**А К Т**
впровадження результатів наукових досліджень дисертаційної роботи у Національному науковому центрі «Інститут судових експертиз ім. Засл. проф. М.С. Бокаріуса» Міністерства юстиції України
Можаєва Михайла Олександровича

Комісія в складі голови – Завідувач лабораторії інженерно-технічних та військових досліджень к.т.н., доцент Сабадаш Володимир Вікторович і членів: провідний судовий експерт Мороховський Юрій Дмитрович, науковий співробітник Гомон Володимир Олексійович склала дійсний акт у тому, що у секторі комп'ютерно-технічних та телекомунікаційних досліджень лабораторії інженерно-технічних та військових досліджень були використані наступні результати наукових досліджень Можаєва Михайла Олександровича:

**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.**

Практичне використання отриманих результатів дозволяє виконати моделювання комп'ютерної системи судово-експертної діяльності та її комп'ютерної мережі та зменшити витрати на експлуатацію комп'ютерної системи судово-експертної діяльності на 3- 7%.

Акт впровадження результатів наукових досліджень дисертаційної роботи не є приводом для матеріальної винагороди.

Голова комісії: _____ Володимир САБАДАШ

Члени комісії: _____ Юрій МОРОХОВСЬКИЙ

_____ Володимир ГОМОН

Акт впровадження № 2

**ЗАТВЕРДЖУЮ**
Завідувач лабораторії
авторського права та
інформаційних технологій
_____ О.К. Собін
_____ 2020 р.

**А К Т**
впровадження результатів наукових досліджень дисертаційної роботи у Науково-дослідному центрі судової експертизи з питань інтелектуальної власності Міністерства юстиції України
Можаєва Михайла Олександровича

Комісія в складі голови – Завідувача сектору інформаційних технологій лабораторії авторського права та інформаційних технологій, кандидата технічних наук, старшого наукового співробітника Кривоножко Галини Євгенівни і членів: завідувача сектору авторського права та суміжних прав_лабораторії авторського права та інформаційних технологій Голікової Олени Валеріївни, судового експерта сектору інформаційних технологій лабораторії авторського права та інформаційних технологій Заікіної Тетяни Василівни
склала дійсний акт у тому, що у секторі інформаційних технологій лабораторії авторського права та інформаційних технологій були використані наступні результати наукових досліджень Можаєва Михайла Олександровича:

***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.***

Практичне використання отриманих результатів дозволяє оптимізувати перерозподіл обчислювальних ресурсів у комп'ютерної системи та зменшити навантаження на спеціалізовану комп'ютерну систему для забезпечення судово-експертної діяльності на 8%.

Акт впровадження результатів наукових досліджень дисертаційної роботи не є приводом для матеріальної винагороди.

Голова комісії: _____ Галина КРИВОНОЖКО

Члени комісії: _____ Олена ГОЛІКОВА

_____ Тетяна ЗАІКІНА

Акт впровадження № 3

ДОВІДКА
про впровадження у робочій процес ТОВ «ХарківПромпостач»
результатів докторської дисертації «Моделі та методи синтезу
спеціалізованої комп'ютерної системи
для забезпечення судово-експертної діяльності»
Можаєва Михайла Олександровича

Комісія у складі: директора – Тарасенко В.А.; та членів комісії: Настиченко Д.О., інженера-програміста, Бикова В.О. спеціаліста з баз даних, склали цю довідку про те, що у робочому процесі ТОВ «ХарківПромпостач» при виконанні науково-дослідної роботи використовуються результати докторської дисертаційної роботи Можаєва М.О.

В робочому процесі підприємства було використано 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.

Впровадження результатів дисертаційного дослідження дозволило вдосконалити комплексний критерій виділення шуму з урахуванням ортогональних адаптивних перетворень дозволяє зменшити ймовірність помилки висновку експертизи фотозображень на 7% та 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.

УКРАЇНА ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «ХАРКІВПРОМПОСТАЧ» №37459371 місто Харків

10.06.2020

Голова комісії Тарасенко В.А.
Члени комісії Настиченко Д.О.
Биков В.О.

# Акт впровадження № 4

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Ректор Черкаського
державного технологічного
університету

_____ О.О. Григор

«12» 06 2019р

**АКТ**
**впровадження результатів дисертаційної роботи**
**Можаєва Михайла Олександровича в навчальний пронес**
**Черкаського державного технологічного університету**

Комісія у складі: завідувача кафедри інформаційної безпеки та комп'ютерної інженерії д.т.н., професора Рудницького В.М., доцента кафедри інформаційної безпеки та комп'ютерної інженерії к.т.н., доцента Хрульова М.В. старшого викладача кафедри інформаційної безпеки та комп'ютерної інженерії к.т.н.. Лади Н.В., проаналізувавши дисертаційне дослідження Можаєва Михайла Олександровича, встановила наступне:

1. При підготовці бакалаврів за напрямом 125 «Кібербезпека» в курсі лекцій з дисциплін «Комплексні системи захисту інформації» та «Програмний захист інформації в інформаційно-комунікаційних системах» використовуються результати дисертаційного дослідження:

– 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.

– 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.

2. При виконанні дипломних та курсових робіт використовуються запропоновані розроблені у роботі моделі та методи для створення та вдосконалення комп'ютерних систем різного призначення.

Завідувач кафедри ІБ та КІ, д.т.н., проф. Рудницького В.М.
Доцент кафедри ІБ та КІ, к.т.н., доц. Хрульов М.В.
Старший викладач кафедри ІБ та КІ, к.т.н. Лада Н.В.