

УДК 004.056:004.94

DOI <https://doi.org/10.32782/IT/2021-2-3>

Валерій КОРНІЄНКО

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, korniienko.v.i@ntmu.one

ORCID: 0000-0002-0800-3359

Scopus Author ID: 56446921900

Олександр КРУЧІНІН

старший викладач кафедри безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, kruchinin.o.v@ntmu.one

ORCID: 0000-0001-5523-948X

Scopus Author ID: 55437732500

Олексій ПЛЕЦ

аспірант кафедри безпеки інформації та телекомунікацій Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, plsc.o.o@ntmu.one

ORCID: 0000-0001-7728-0125 <https://orcid.org/0000-0002-0800-3359>

Олександра ГЕРАСІНА

кандидатка технічних наук, доцентка, доцентка кафедри безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, herasina.o.v@ntmu.one

ORCID: 0000-0002-8196-0657

Scopus Author ID: 55998621600

Дмитро ТИМОФЄЄВ

старший викладач кафедри безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Дніпропетровська обл., Україна, 49005, tymofieiev.d.s@ntmu.one

ORCID: 0000-0002-9718-6678

Scopus Author ID: 55437340600

Бібліографічний опис статті: Корнієнко, В., Кручинін, О., Плєц, О., Герасіна, О., Тимофєєв, Д. (2021) Кіберфізична система моделювання захисту акустичної інформації від витоку оптико-електронним каналом. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2, 19–25, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2021-2-3>

КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА МОДЕЛЮВАННЯ ЗАХИСТУ АКУСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ВІД ВИТОКУ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИМ КАНАЛОМ

У роботі визначена актуальність моделювання методів та засобів технічного захисту акустичної інформації від витоку за допомогою розвинутих апаратно-програмних систем для розробки таких засобів захисту, їх вдосконалення та верифікації. Для цього запропонована кіберфізична система моделювання технічних засобів захисту акустичної інформації від витоку оптико-електронним каналом. В роботі проаналізовані та визначені характеристики і параметри елементів фізичної частини цієї системи, а також структура кібернетичної частини системи, функції та зміст моделей елементів фізичної частини. **Метою роботи** є розробка структури та визначення основних функцій елементів кіберфізичної системи для моделювання технічних засобів захисту акустичної інформації від витоку оптико-електронним каналом. **Методологія** вирішення поставленого завдання полягає у використанні методів системного аналізу та теорії керування для синтезу кіберфізичної системи моделювання технічних засобів захисту акустичної інформації від витоку оптико-електронним каналом, що забезпечує організацію вимірювально-обчислювальних процесів, зберігання та обмін вимірювальною і службовою інформацією, організацію

та здійснення впливів на фізичні процеси. **Наукова новизна.** Вперше запропоновано будувати вимірювально-обчислювальні комплекси для дослідження методів та засобів захисту акустичної інформації від витoku оптико-електронним каналом у вигляді кіберфізичних систем, які поєднують фізичні процеси та кібернетичні компоненти в єдину систему, що дозволяє підвищити ефективність створення та вдосконалення засобів захисту та їх верифікацію. **Висновки.** Створення кіберфізичної системи моделювання методів та засобів технічного захисту акустичної інформації від витoku оптико-електронним каналом автоматизує вимірювально-обчислювальні процеси та підвищує спроможність розробки нових та вдосконалення існуючих засобів захисту, обґрунтування параметрів та характеристик їх елементів, а також верифікації засобів захисту.

Ключові слова: кіберфізична система, моделювання, засоби захисту, акустична інформація, оптико-електронний канал.

Valerii KORNIENKO

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Information Security and Telecommunication Department, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, korniienko.v.i@nmu.one

ORCID: 0000-0002-0800-3359

Scopus Author ID: 56446921900

Oleksandr KRUCHININ

Senior Lecturer of Information Security and Telecommunication Department, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, kruchinin.o.v@nmu.one

ORCID: 0000-0001-5523-948X

Scopus Author ID: 55437732500

Oleksii PLIETS

Graduate Student of Information Security and Telecommunication Department, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, plec.o.o@nmu.one

ORCID: 0000-0001-7728-0125

Oleksandra HERASINA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Information Security and Telecommunication Department, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, herasina.o.v@nmu.one

ORCID: 0000-0002-8196-0657

Scopus Author ID: 55998621600

Dmytro TYMOFIEIEV

Senior Lecturer of Information Security and Telecommunication Department, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, tymofieiev.d.s@nmu.one

ORCID: 0000-0002-9718-6678

Scopus Author ID: 55437340600

To cite this article: Korniienko, V., Kruchinin, O., Plec, O., Herasina, O., Tymofieiev, D. (2021). Kiberfizychna systema modeliuвання zakhystu akustychnoi informatsii vid vytoku optyko-elektronnym kanalom. [Cyberphysical modeling system for protection of acoustic information from leakage by optoelectronic channel]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2, 19–25, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2021-2-3>

CYBERPHYSICAL MODELING SYSTEM FOR PROTECTION OF ACOUSTIC INFORMATION FROM LEAKAGE BY OPTOELECTRONIC CHANNEL

The relevance of modeling methods and means of technical protection of acoustic information against leakage with the help of developed hardware and software systems for the development of protection such means, their improvement and verification is determined. For this purpose, a cyberphysical system for modeling technical means of acoustic information protection from leakage by an optoelectronic channel is proposed. The paper analyzes and defines the characteristics and parameters of the elements of the physical part of this system, as well as the structure of the cybernetic part of the system, functions

and content of the elements models of the physical part. **The aim** of the work is to develop the structure and determine the main functions of the elements of the cyberphysical system for modeling technical means of protection of acoustic information from leakage by optical-electronic channel. **The methodology** for solving this problem is to use methods of systems analysis and control theory for the synthesis of cyberphysical system modeling of technical means of acoustic information protection from leakage by optical-electronic channel, providing organization of measurement and computational processes, storage and exchange of measurement and service information. effects on physical processes. **Scientific novelty.** For the first time it is proposed to build measuring and computing complexes for research of methods and means of acoustic information protection from leakage by optoelectronic channel in the form of cyberphysical systems that combine physical processes and cybernetic components into a single system. **Conclusions.** Creation of a cyberphysical system for modeling methods and means of technical protection of acoustic information from leakage by optoelectronic channel automates measurement and computational processes and increases the ability to develop new and improve existing means of protection, justify the parameters and characteristics of their elements and verify means of protection.

Key words: cyberphysical system, modeling, means of protection, acoustic information, optoelectronic channel.

Актуальність проблеми. Акустична інформація є одним з основних джерел отримання людиною інформації, тому велику увагу приділяють її захисту від витоку акустичним, вібро-акустичним та оптико-електронним каналами. При розробці засобів захисту акустичної (мовної) інформації однією із важливих задач є моделювання та оцінюванні ефективності роботи систем захисту, які при застосуванні активних засобів захисту використовують сигнали зашумлення.

Наразі спостерігається активність в сфері створення кіберфізичних систем, які поєднують фізичні процеси та кібернетичні компоненти, що забезпечують організацію вимірювально-обчислювальних процесів, зберігання та обмін вимірювальною і службовою інформацією, організацію та здійснення впливів на фізичні процеси. Об'єднання цих компонентів у межах єдиної системи дає змогу отримувати якісно нові результати, які можна використовувати для створення широкого спектра принципово нових наукових, технічних та сервісних засобів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Кіберфізичні системи (КФС) – це системи, що складаються з різних фізичних (природних і промислових) об'єктів, штучних підсистем, і керовані з використанням зворотного зв'язку від різних датчиків. В основу функціонування КФС закладений принцип інтеграції обчислювальних і фізичних процесів, тобто фізичні об'єкти стають частиною системи [1].

Узагальнено структура КФС містить мережу вимірювально-обчислювальних вузлів, об'єднаних комутувальним середовищем та підтриманих високопродуктивними обчислювальними засобами, підключених до центрів збору та опрацювання інформації [2]. Загальна

задача полягає у поєднанні вимірювально-обчислювальних процесів і процесів керування з фізичними процесами різної природи для отримання нових можливостей під час планування та виконання комплексних задач з дослідження та керування фізичними процесами.

Одним з актуальних каналів витоку мовної інформації є оптико-електронний технічний канал. Перехоплення інформації через нього реалізується за допомогою спеціальних засобів розвідки – лазерних систем акустичної розвідки (ЛСАР) [3]. Такі системи дозволяють отримувати акустичну інформацію з приміщення на значних відстанях і без необхідності проникнення всередину приміщення, де циркулює акустична інформація.

Зняття інформації здійснюється шляхом опромінювання лазерним променем певної поверхні чи конструкції приміщення, яка вібрує в акустичному полі, лазерний промінь модулюється за законом вібрації поверхні і відбивається у зворотному напрямку, після чого він перехоплюється приймачем ЛСАР, демодулюється і з нього виділяється мовна інформація [3; 4].

Зазвичай, для усунення витоку інформації по акустичному каналу, застосовують або звукоізоляцію, або генератори корельованих акустичних завад [5; 6].

Таким чином, актуальним є моделювання методів та засобів технічного захисту акустичної інформації від витоку за допомогою розвинутих апаратно-програмних систем для розробки цих засобів захисту, їх вдосконалення та верифікації.

Мета статті: розробка структури та визначення основних функцій елементів кіберфізичної системи для моделювання технічних засо-

бів захисту акустичної інформації від витoku оптико-електронним каналом.

Виклад основного матеріалу.

Структура КФС моделювання (рис. 1) технічних засобів захисту акустичної інформації від витoku оптико-електронним каналом включає фізичну та кібернетичну частини.

В фізичній частині джерело акустичної інформації (сигналу) створює акустичне поле, в якому вібрує відбиваюча поверхня.

Прямий промінь лазерного випромінювача модулюється акустичними вібраціями відбиваючої поверхні і у вигляді зворотного променя потрапляє в лазерний приймач, де сигнал демодулюється і з нього виділяється акустична (мовна) інформація.

Для захисту акустичної інформації від витoku шляхом її зашумлення використовують віброакустичний перетворювач (вібровипромінювач), що розміщений на відбиваючій поверхні і підключений до генератора шуму (ГШ).

Кібернетична частина складається із:

– блоку комутації, що забезпечує обмін інформацією між елементами фізичної і кібернетичної частин;

– блоку керування, який на основі заданої задачі моделювання та інформації від датчиків елементів фізичної системи формує відповідні керуючі впливи на виконання цієї задачі;

– блоку моделювання, що включає моделі елементів фізичної системи та пов'язує їх в єдину структуру. Наприклад, структура блока при моделюванні прямого перетворення акустичного сигналу в сигнал на виході лазерного приймача наведена на рис. 2;

– блоку обробки та реєстрації, що здійснює обробку загальної інформації системи (результатів моделювання), формування та ведення відповідної бази даних.

Елементи фізичної частини. Джерело акустичної інформації відтворює спектр та рівень акустичного мовного сигналу і реалізується шляхом використання генераторів гармонійних коливань із формуючими фільтрами та/або тес-

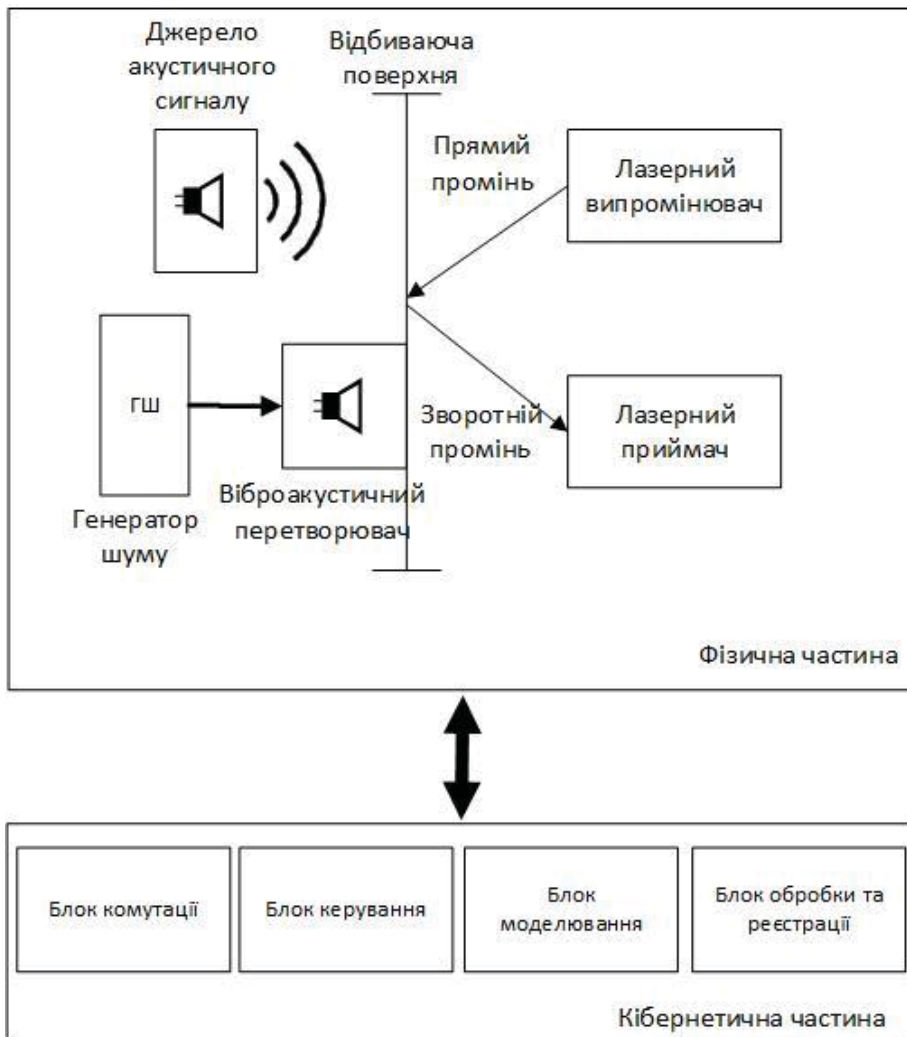


Рис. 1. Структура КФС моделювання

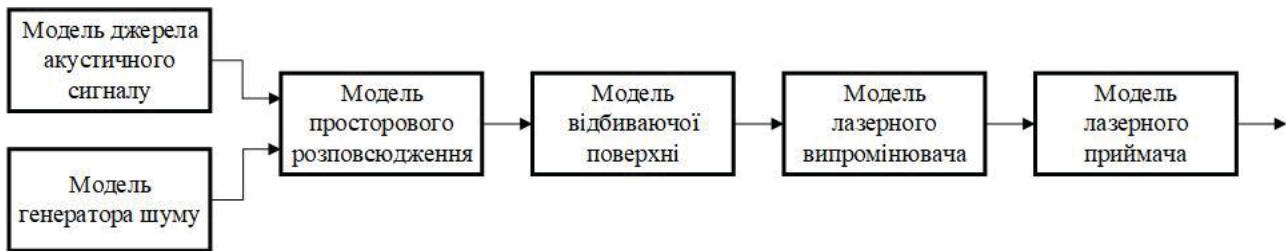


Рис. 2. Структура блока моделювання при моделюванні прямого перетворення акустичного сигналу в сигнал на виході лазерного приймача

тових мовних сигналів на носіях із відповідними відтворюючими пристроями.

Для перетворення електричного сигналу в акустичний використовують широкопasmові акустичні системи з рівномірною амплітудно-частотною характеристикою (АЧХ) в досліджуваному діапазоні частот та потужністю, що створює акустичний тиск при нормальній розмові людей (55-65 дБ).

В оптико-електронному каналі джерелом витоку інформації є відбиваюча поверхня, наприклад, віконне скло або інша скляна поверхня, дзеркало тощо. Під дією мовного сигналу віконне скло (відбиваюча поверхня) здійснює низькочастотні коливання, якими може бути промодульоване високочастотне лазерне випромінювання. Відбите випромінювання потім приймається лазерним приймачем, котрий відновлює мовну інформацію із приміщення.

Таким чином, при дослідженні методів та засобів захисту акустичної інформації від витоку оптико-електронним каналом необхідно враховувати матеріал відбиваючої поверхні, її лінійні розміри та товщину.

У якості лазерних випромінювачів та приймачів може використовуватись як промислове обладнання так і лабораторні макети. Промислові лазерні системи акустичної розвідки (ЛСАР) мають складні схеми конструкцій, які ґрунтуються на розвинених схемах фільтрації як оптичного сигналу, так і перетвореного електричного сигналу.

За параметрами ЛСАР, зазвичай, мають фокусні відстані об'єктива передавача 135 мм, а об'єктива приймача – 500мм, потужність випромінювання складає одиниці або десятки міліват. При цьому ЛСАР камуфлюються під звичайну дзеркальну камеру.

В лабораторному макеті приймальний блок містить фотоприймач (наприклад, фототранзистор, який не потребує попереднього підсилення сигналу, а також має частотну пропускну здатність до 30 кГц), блок фільтрації прийнятого сигналу (для придушення теплових шумів та шумів за рахунок власних коливань відбива-

ючої поверхні та нестабільності випромінюючого лазера), а також блок підсилення сигналу для погодження з реєструючим пристроєм або акустичною системою.

Принцип роботи засобів активного захисту полягає у формуванні сигналу шуму з такими характеристиками, щоб виділення інформативного сигналу було неможливим (дуже складним).

Для унеможливлення виділення інформативного сигналу, для захисту від витоку мовної інформації оптико-електронним каналом, на відбиваючу поверхню встановлюється засіб активного захисту – вібровипромінювач, який створює шумовий сигнал в мовному спектрі частот.

Однак такий спосіб має свої вади, головна з яких – збільшення «паразитного» шуму у приміщенні, при чому не тільки за рахунок акустичного фонового шуму, а за рахунок акустичного шуму, що виникає при роботі самих вібровипромінювачів. Тому визначення місць розміщення випромінювачів, ретельне налаштування їх АЧХ є важливими завданнями при проектуванні системи захисту.

На якість захисту інформації впливають багато факторів: фізико-механічні характеристики віконного скла, спосіб монтажу вібровипромінювачів, характеристики мовного сигналу, характеристики шумового сигналу. Актуальним питанням є визначення кількості та місця розташування вібровипромінювачів.

Наразі генератори шуму, що випускаються промисловістю, генерують псевдобілий шум в діапазоні 0,1-15 кГц.

Моделі елементів фізичної частини. КФС моделювання використовується для:

- розробки нових та вдосконалення існуючих методів та засобів технічного захисту акустичної інформації від витоку оптико-електронним каналом;
- обґрунтування параметрів та характеристик елементів засобів технічного захисту;
- верифікації методів та засобів технічного захисту.

Модель джерела акустичної інформації (див. рис. 2) забезпечує варіацію методів та характеристик генерування мовної інформації.

Модель генератора шуму (див. рис. 2) поряд з АЧХ генераторів, що випускаються промисловістю, включає також моделі інших завод, наприклад, «одночасна розмова кількох людей», хаотичні (фрактальні) послідовності імпульсів тощо. Крім того, передбачається варіація методів зашумлення, наприклад, корельованим шумом, шумом, синтезованим за допомогою вейвнет тощо.

Модель просторового розповсюдження враховує кількість вібровипромінювачів та місця їх встановлення на відбиваючій поверхні. Кількість вібровипромінювачів для конкретного об'єкта визначається відстанню від джерела мовного сигналу, його гучністю та інтенсивністю, затуханням мовного сигналу. Також впливають показники звукопоглинання, звуковідбиття, звукопроникності (звукоізоляції) матеріалів та поверхонь у приміщенні, рівень шумового фону.

При використанні двох і більше вібровипромінювачів для захисту мовної інформації від витоку оптико-електронним каналом на відбиваючій поверхні виникає складна картина інтерференції хвиль. Якщо сигнали шуму, що подаються на вібровипромінювачі є когерентними, то в результаті інтерференції утворюється шумовий сигнал, який містить максимуми та мінімуми коливань на відбиваючій поверхні (рис. 3).

У такому випадку утворюються «мертві» зони, де значення рівня сигналу шуму дорівнює нулю. На рис. 3 світлим кольором позначено максимуми, темним – мінімуми, а «розмиті» області сірого кольору – це і є ділянки з нульовим рівнем шуму.

Отже, на практиці такі явища як інтерференція, розщеплення, затухання, поглинання вносять вплив на ефективність засобів активного захисту, що використовуються на об'єктах інформаційної діяльності. Створення моделі, яка враховує всі ці фактори є складною задачею.

В моделі відбиваючої поверхні процес її коливання описується відомими рівняннями [7]:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 f}{\partial t^2} - \frac{Z(x,y,z,t)}{T}, v^2 = \frac{T}{\rho}; \quad (1)$$

$$\Delta f = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 f}{\partial t^2} - \frac{Z(x,y,z,t)}{T}, \quad (2)$$

де $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа; $f=f(x,y,z,t)$ – функція коливального процесу; $Z(x,y,z,t)$ – тиск зовнішньої сили на пластину (відбиваючу поверхню), яку чинять вібровипромінювачі під час своєї роботи; T – сила протидії відхиленню пластини від положення рівноваги, v – фазова швидкість, ρ – густина пластини.

Звуковий тиск P та відхилення пластини від положення рівноваги u зв'язані наступним співвідношенням [7]:

$$u = \frac{P_{\text{зовн}}}{2\pi f r v} \quad (3)$$

де $P_{\text{зовн}}$ – звуковий тиск на зовнішній стороні скла, f – частота звукового коливання, r – густина атмосфери, v – швидкість розповсюдження звукової хвилі для нормальних атмосферних умов.

Моделі лазерних випромінювача та приймача використовуються для оцінки ефективності засобів захисту (їх верифікації).

Лазерний приймач демодулює отриманий зворотній промінь та виділяє з нього низько-

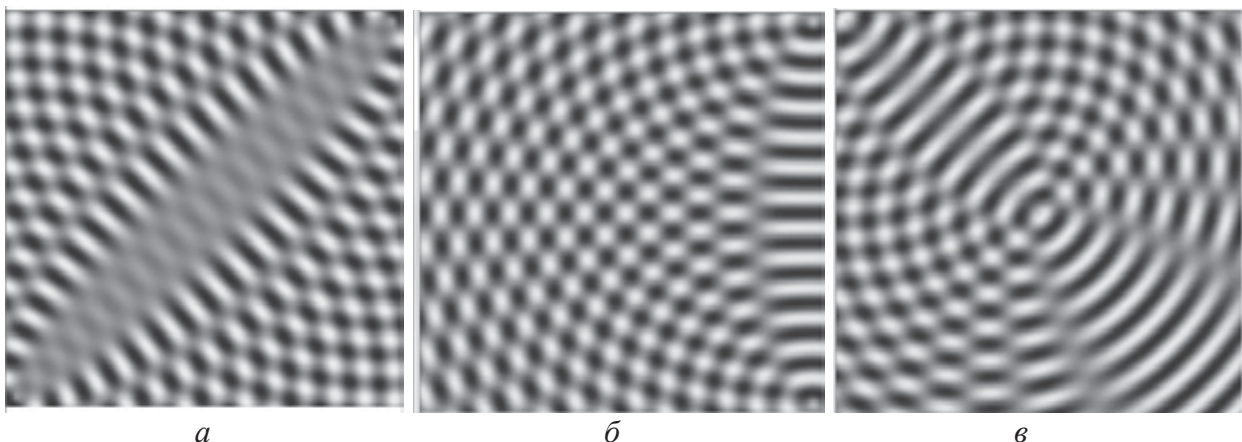


Рис. 3 Інтерференція від двох однакових вібровипромінювачів, розташованих по діагоналі (а), на одній вертикальній лінії (б) та у центрі і у куті (в) на відбиваючій поверхні

частотну складову, яка підлягає подальшому аналізу та обробці. Якщо рівень залишкової мовної розбірливості низькочастотної складової є достатнім – то приймається рішення, що за даним каналом технічно ймовірно зняття (виток) акустичної інформації з приміщення.

Висновки з дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку. Розроблена структура та визначені функції і основні характеристики елементів кіберфізичної системи моделювання. Створення кіберфізичної системи моделювання методів та засобів технічного захисту акустичної інформації від

витоку оптико-електронним каналом автоматизує вимірювально-обчислювальні процеси та підвищує спроможність розробки нових та вдосконалення існуючих засобів захисту, обґрунтування параметрів та характеристик їх елементів, а також верифікації засобів захисту.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку та вдосконалення моделей та програмного забезпечення програмно-апаратної платформи кіберфізичної системи для моделювання захисту акустичної інформації від витоку оптико-електронним каналом.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Lee J., Bagheri B., Kao H. A cyberphysical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*. 2015. Vol. 3. P. 18–23.
2. Мельник А.Ю. Кіберфізичні системи: проблеми створення та напрями розвитку. Lviv Polytechnic National University Institutional Repository. 2014. С. 154–161. URL: <http://ena.lp.edu.ua>.
3. Катаев В., Яремчук Ю. Метод активного захисту інформації від зняття лазерними системами акустичної розвідки. *Захист інформації*. 2019. Том 21. № 1. С. 34–39. DOI: 10.18372/2410-7840.21.13545.
4. Григорьев И.А., Тупота В.И. Разработка модели оптико-электронного канала утечки акустической речевой информации. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-modeli-optiko-elektronnogo-kanala-utechki-akusticheskoy-rechevoy-informatsii>.
5. Данілов В.В., Котенко А.М. Напрями захисту акустичної інформації на об'єкті інформаційної діяльності. *Сучасний захист інформації*. 2020. № 4(44). С. 18–22. DOI: 10.31673/2409-7292.2020.041822.
6. Лізунов С., Філобок Є. Захист мовної інформації з використанням систем активного звукопридушення. *Захист інформації*. 2021. Том 23. № 1. С. 20–25. DOI: 10.18372/2410-7840.23.149596.
7. Заболотный В.И., Ковальчук Ю.А. Оценка амплитуды колебаний оконного стекла под действием акустических волн. *Прикладная радиоэлектроника*. 2009. Том 8. № 2. С. 193–197.

REFERENCES:

1. Lee J., Bagheri B., Kao H. A cyberphysical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*. 2015. Vol. 3. Pp. 18–23.
2. Melnyk A.Yu. Kiberfizychni systemy: problem stvorennia ta napriamy rozvytku. Lviv Polytechnic National University Institutional Repository. 2014 S. 154–161. Access mode: <http://ena.lp.edu.ua>.
3. Kataiev V., Yaremchuk Yu. Metod aktyvnjgj zachystu informacii vid zniattia lazernymy systemamy akustychnoi rozvidky. *Zachyst informacii*. 2019. Tom 21. № 1. S. 34-39. DOI: 10.18372/2410-7840.21.13545.
4. Grygor'iev I.A., Tupota V.I. Razrabotka modeli optiko-elektronnogo kanala utechki akusticheskoi rechevoi informacii Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-modeli-optiko-elektronnogo-kanala-utechki-akusticheskoy-rechevoy-informatsii>.
5. Danilov V.V. Kotenko A.M. Napriamy zachystu akustychnoi informacii na ob'iekti informacii noii diial'nosti. *Suchasnyi zachyst informacii*. 2020. № 4(44). S. 18–22. DOI: 10.31673/2409-7292.2020.041822.
6. Lizunov, S., Filobok, Ye. Zachyst movnoi informacii z vykorystanniam system aktyvnogo zvukoprydushennia. *Zachyst informacii*. 2021. Tom 23. № 1. S. 20–25. DOI: 10.18372/2410-7840.23.149596.
7. Zabolotnyi V.I., Koval'chuk Yu.A. Ochenka amplitudy kolebanii okonnogo stekla pod deistviem akusticheskikh voln. *Prikladnaia radioelektronika*. 2009. Tom 8. № 2. S. 193–197.