



DOI [10.28925/2663-4023.2021.14.131147](https://doi.org/10.28925/2663-4023.2021.14.131147)

УДК 681.3.81; 621.373.

Марценюк Максим Станіславович

студент факультету інформаційних технологій та управління
Київський університет імені Бориса Грінченка, Київ, Україна
ORCID ID: 0000-0002-6662-7610
msmartseniuk.fitu18@kubg.edu.ua

Складанний Павло Миколайович

к.т.н.
завідувач кафедри інформаційної та кібернетичної безпеки імені професора Володимира Бурячка
Київський університет імені Бориса Грінченка, Київ, Україна
ORCID ID: 0000-0002-7775-6039
p.skladannyi@kubg.edu.ua

Астапеня Володимир Михайлович

к.т.н., доцент,
доцент кафедри інформаційної та кібернетичної безпеки імені професора Володимира Бурячка
Київський університет імені Бориса Грінченка, Київ, Україна
ORCID ID: 0000-0003-0124-216X
v.astapenia@kubg.edu.ua

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТЕНДУ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЛАЗЕРНОГО МІКРОФОНУ ДЛЯ ЗНЯТТЯ АКУСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Анотація. Хто володіє інформацією, той володіє світом. Даний вислів стає все дедалі актуальнішим з кожним днем. Саме інформація стала інструментом управління та розвитку сучасності. Тому роль інформаційних технологій також непинно зростає разом із ризиком їх зловмисного використання. Зловмисники застосовують всі можливі способи і засоби технічної розвідки задля використання потенційно можливих і створення нових видів каналів витоку інформації для її перехоплення. Одним із найнебезпечніших каналів витоку вважається оптико-електронний канал, який утворюється шляхом формування вібраційних коливань поверхонь споруд або предметів інтер'єру об'єкту інформаційної діяльності. Такі коливання спричинені певним мовним (акустичним) сигналом, можуть бути перехоплені за допомогою засобів дальньої розвідки. Найчастіше у якості такого засобу застосовують лазерний мікрофон. Суть його дії полягає у випромінненні лазера на поверхню обраного ОІД, в якому циркулює мовний сигнал, що створює звукові вібрації на цій поверхні. Рух поверхні призводить до модуляції хвилі за фазою, що проявляється у змінному за характером звукового сигналу доплеровському зсуві частоти прийнятого сигналу. Нерідко, такою поверхнею виступає скло вікон, що віддзеркалює промінь на приймач, до якого під'єднаний детектор, що здатний відтворити звук з ОІД. Дане дослідження направлене на вивчення залежності роботи лазерного мікрофону відносно таких факторів як: розташування джерела випромінювання та приймача променю від мембрани; матеріал поверхні мембрани; тип приймача; матеріали огорожувальних конструкцій ОІД. Мета – створення стенду для демонстрації роботи лазерного мікрофону. Процес дослідження проводиться у зменшених масштабах, через що у якості ОІД обрано імпровізоване приміщення у вигляді картонної коробки. Для відтворення процесу роботи лазерного мікрофону використовувалися доступні засоби, тому у якості опромінювача обрана лазерна указка, а у якості приймача використовувалися такі пристрої, як сонячна панель, сенсор освітленості та мікрофон підсилювача сигналу. Вивчення впливу обраних факторів проведено шляхом виміру рівня напруги та гучності акустичного сигналу за допомогою мультиметра та сертифікованої програми на планшеті відповідно.



Ключові слова: оптико-електронний канал витоку інформації; мовний сигнал; лазерний мікрофон; об'єкт інформаційної діяльності; мембрана, доплеровський зсув частоти.

1. ВСТУП

Постановка проблеми. Повсякденне життя людини наразі характеризується безупинною циркуляцією інформації. Це фундаментальна складова, що відіграє одну із ключових ролей існування сучасного світу. При своїй великій значимості, вона, в свою чергу, здатна істотно впливати на все, з чим пов'язане наше життя. Яким саме буде цей вплив залежить від того, хто володіє інформацією. Знаючи це, зловмисники застосовують різноманітні засоби перехоплення інформації та використовують технічні канали витоку задля власної вигоди. Одними із найбільш інформативних та таких, що мають високу оперативність перехоплення повідомлень, є акустичні канали витоку. Серед них слід виділити оптико-електронні канали, які дозволяють перехоплювати звук знаходячись зовні приміщення, де знаходиться джерело [1, с. 100].

Вібраційні коливання поверхонь будівельних або інженерних споруд, предметів інтер'єру об'єкту інформаційної діяльності, які спричинені певним мовним сигналом, слугують джерелом для таких каналів витоку інформації. Оптико-електронні канали утворюються шляхом перехоплення мовних сигналів (акустичних полів) з ОІД за допомогою електронних пристроїв, тобто оптоакустичних мікрофонів або ж лазерних систем акустичної розвідки – ЛСАР.

Лазерний мікрофон – пристрій для збору інформації, в основі якого використовується невидимий інфрачервоний лазерний промінь, щоб фіксувати цільові звукові вібрації. Даний тип мікрофона направляє на предмети з оптичними властивостями віддзеркалення тому, що на них створюються вібрації внаслідок коливань на їх поверхні. Промінь, який направлений на таку поверхню, віддзеркалюється та перехоплюється зловмисником, щоб перетворити отримане тремтіння від звукової вібрації на початковий мовний сигнал.

Така технологія здобування інформації набула поширеного застосування, тому на сьогоднішній день постає питання захисту витоку даних через оптико-електронний канал. Та для того, щоб розуміти як запобігти витоку, варто детальніше дослідити принцип роботи лазерного мікрофону.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наразі лазерні технології активно розвиваються в багатьох сферах життя починаючи з 60-х років минулого століття (спостереження за об'єктами, вимірювання їх дальності та кутових координат, високоточне вимірювання швидкостей руху об'єктів та потоків рідин і газів, отримання некоординатної інформації: структура поверхні; її вібрації та рух відносно центру маси, наведення та стиківка різних апаратів, створення засобів технічного зору у роботизованих системах і т. і [2 Спр Шир]). Ці технології знаходять застосування у автомобілях без водія і у засобах контролю проникнення у приміщення, У цілому вони отримали своє застосування шляхом трансформації та адаптації, починаючи з воєнних питань та закінчуючи вдосконаленням інтернет-зв'язку. Наприклад, в публікації [3] розповідається про те, як компанії Ericsson і Powerlight Technologies розробили першу в світі базову станцію 5G з бездротовим живленням. Базова станція Streetmacro 6701, 5G міліметрового діапазону (mmWave), працює в Сієтлі, за допомогою оптичного випромінювання – лазерної технології, яка перетворює електрику у світло високої інтенсивності, яке потім використовується і перетворюється в електрику на самій базі. При чому до станції не підключені жодні дроти від вуличної електромережі. Ще один

цікавий випадок використання лазера наводиться в публікації [4], де описується нова розробка від компанії Локхід Мартін у вигляді підвісної контейнерної системи для літака-винищувача, в основі якої лежить бойовий лазерний промінь. Система отримала назву Tactical Airborne Laser Weapon System (TALWS), та була призначена збивати/завдавати суттєвої шкоди таким цілям як авіаційні ракети, артилерійські снаряди і міни, малі безпілотні літальні апарати, малі атакуючі кораблі і легкі наземні машини. Максимальна відстань дії системи на сьогодні до 1 милі.

Тому, зважаючи на масштабне застосування та динамічний розвиток лазерної технології, постає питання аналізу базового принципу дії лазера в сфері кібербезпеки.

Лазерний мікрофон слугує яскравим прикладом застосування цієї технології. Його принцип роботи було стисло проаналізовано у [1 та 5]. Наприклад, у роботі [5], де головною метою проекту є можливість покращення якості звучання порівнюючи із існуючими мікрофонами для медіа простору шляхом створення оптичного мікрофона. Була розглянута ефективність використання оптичного методу для підвищення якості та точності зчитування звукового сигналу. Також були проаналізовані різноманітні типи мікрофонів та їх принцип дії. В результаті, була доведена доцільність застосування удосконаленого лазерного мікрофону, як досить та раціонального засобу для отримання звукової інформації.

Ця стаття продовжує тему вивчення принципу роботи та процесу здобуття інформації за допомогою лазерного мікрофону, але з урахуванням вищевказаних висновків. Метою досліджень є створення імітаційного стенду для демонстрації принципу дії лазерного мікрофону. Тому в досліджах використовується штучний та менш масштабний зразок лазерного мікрофону та поля його дії. Весь процес відтворюється лише за допомогою підручних засобів, адже продаж промислових лазерних мікрофонів дозволено лише службам охорони правопорядку та урядовим органам.

Мета статті. Стаття створена з метою дослідження принципу роботи лазерного мікрофону шляхом відтворення базового процесу здобування інформації через оптико-електронний канал витоку за допомогою підручних засобів. Результат дослідів повинен показати ступінь впливу різноманітних факторів на якість отримання інформаційного мовного сигналу для подальших експериментів з ціллю захисту від витоку інформації.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Оптоакустичні мікрофони або лазерні мікрофони – це високотехнологічні апарати для отримання інформації, у яких застосовується невидимий для людського ока інфрачервоний промінь лазера, з використанням якого відбувається прослуховування звукових сигналів цільового об'єкта [1, с. 100 - 101, 5, с. 23]. Вони призначені для направлення променя на вікно цільового приміщення, звідки потрібно зібрати інформацію. Лазер реагує на вібрації скла вікна, які викликаються звуковими хвилями в результаті розмов всередині кімнати, потім відбитий промінь прямує назад або розташований відповідним чином (коли опромінення поверхні відбувається під кутом) приймач.

Скло або інша поверхня, яка коливається під впливом акустичної хвилі, своїм рухом модулює падаючу хвилю за частотою відповідно до ефекту Доплера [2]. Це є наслідком зміни довжини фазового шляху хвилі від лазерного випромінювача до приймача. У такому разі частота прийнятого сигналу f_{np} відрізняється від частоти випроміненого $f_{вип}$ на величину доплеровського ΔF_{δ} зсуву частоти

$$\Delta F_D = (f_{\text{вип}} - f_{\text{пр}}) = \frac{2V_R}{\lambda} \quad (1),$$

де: V_R – радіальна складова швидкості руху поверхні, яка відбиває хвилю, у напрямі на опромінювач (а при дзеркальному відбитті і на приймач);

λ – довжина хвилі.

Коли промінь падає на поверхню, що рухається із швидкістю $V_{\text{пов}}$, і відбивається від неї під кутом θ (відраховується від напрямку руху поверхні), то $V_R = V_{\text{пов}} \cos \theta$.

Величина $V_{\text{пов}}$ обумовлена коливальною швидкістю пружної акустичної хвилі, яка у свою чергу залежить від ряду факторів. Основним для нашого випадку є кут падіння акустичної хвилі на поверхню. Цей кут може змінюватись із-за руху джерела звуку, що вносить додаткові особливості у відбитий сигнал.

Рух (коливання) поверхні (наприклад, вікна) змінюється у часі відповідно до характеру акустичних коливань, створених джерелом, і відбувається або у напрямі в сторону пристрою перехоплення або у сторону джерела. Тому знак радіальної швидкості та доплеровського зсуву частоти може бути як додатним, так і від'ємним. У загальному випадку величина доплеровського зсуву частоти буде знакозмінною випадковою функцією часу:

$$\Delta F_D(t) = \frac{2V_R(t)}{\lambda} \quad (2)$$

Відбитий від вікна лазерний промінь, на приймачі конвертується в форму електронних сигналів, відбувається їх фільтрація та посилення, після чого надсилаються в спеціальний виділений блок запису, який підключається до власного підсилювача, оснащеного головними телефонами та гучномовцем тощо. Схему найпростішого лазерного мікрофона зображено на рис.1 [5, с. 24]. Біль детальна схема наведена у [1, с. 100].

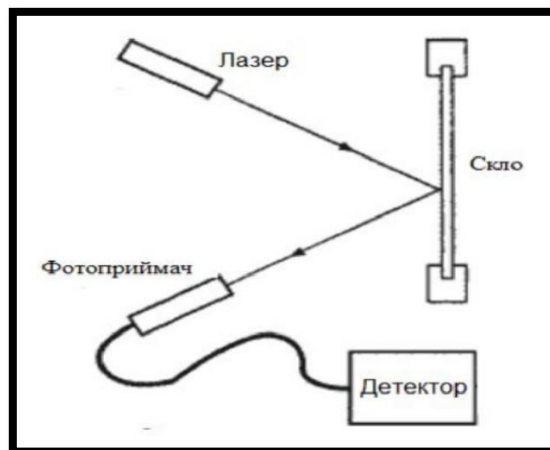


Рис. 1. Схема роботи лазерного мікрофона

Існують такі основних методи обробки відбитого оптичного сигналу [2]:

прийом оптичного сигналу фотодіодом з подальшою обробкою відеосигналу, що характерно для видимого та УФ діапазонів;

гетеродинний прийом, коли здійснюється перенесення сигналу на низьку частоту при умові наявності у складі приймача когерентного лазерного гетеродину(або спрямування частини випромінювання лазера у приймач), що характерно для ІЧ діапазону і

дає кращі результати для отримання інформації про фазову структуру сигналу, тобто про доплерівський зсув частоти.

У простішому варіанті фотоприймач складається з фотодіода і трансїмпедансного підсилювача. Фотодіод - це датчик, який фіксує лазерний сигнал. У режимі зворотного зміщення фотодіод має зворотний струм, який лінійно пов'язаний з опроміненням світла [4, с. 5]. Трансїмпедансний підсилювач (ТІП) – це підсилювач, коефіцієнт передачі якого виражається як відношення вихідної напруги до вхідного струму (V_{OUT} / I_{IN}). Після того, як генерується зворотний струм, ТІП перетворює струм на напругу. Схему фотодіода разом з ТІП зображено на рис. 2 [6, с. 6]

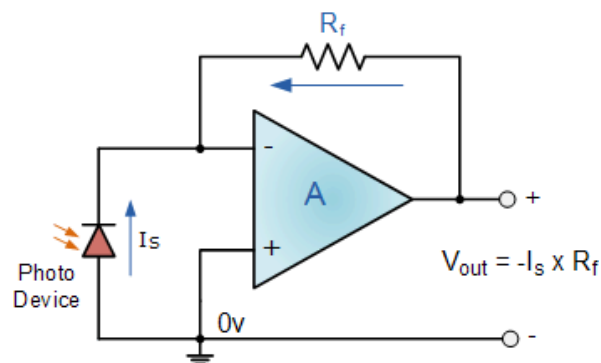


Рис. 2. Зображення фотодіода та конструкції трансїмпедансного підсилювача

Людський голос може генерувати звукові хвилі в діапазоні від 300 Гц до 3400 Гц. Ці звукові хвилі вібрують поблизу об'єктів, завдяки чому аналоговий електронний пристрій (лазерний мікрофон) перетворює ці вібрації в звуковий сигнал [6].

Лазерний мікрофон здатний відтворювати звук, виявлений на вібруючій поверхні, з відносно високою точністю: спотворення менше 8%. В якості додаткової функції лазерний мікрофон також може передавати аудіо через амплітудно-модульований лазерний сигнал, захоплювати лазерний сигнал і виводити звук. Таким чином, використовуючи систему на основі лазера, яка фіксує коливання в положенні лазера, лазерний мікрофон здатний точно відтворювати як звук, який викликав вібрацію об'єкта, так і звук, що передається через лазерний зв'язок [6].

Є дві основні механічні властивості, від яких залежить лазерний мікрофон: акустичні властивості об'єктів, які генерують вібрацію від звукових хвиль та відбивна здатність поверхні об'єкта [6].

3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Дане дослідження проводиться у мініатюрному масштабі в межах одного приміщення. Воно складається із трьох дослідів, в кожному з яких головним об'єктом виступає лазерна указка у ролі лазерного мікрофону. Указка має такі характеристики: потужність лазера – 5 Вт; довжина хвилі – 650 нм; дистанція роботи – до 10 м; розмір - 10.6 x 3.8 x 2.6 см. Зовнішній вигляд лазерної указки можна спостерігати на рис. 3.



Рис. 3. Зовнішній вигляд лазерної указки

Джерелом акустичного сигналу, що буде перехоплюватись, слугує радіоприймач GOLON RX-2277 (рис. 4). Він дозволяє прослуховувати радіостанції в метрових, декаметрових та гектаметрових хвилях. За приміщення, в якому буде знаходитись джерело акустичного сигналу, обрано ізольовану картонну коробку товщиною в декілька міліметрів (рис. 4).



Рис. 4. Картонна коробка та радіоприймач GOLON RX-2277

Маючи за головний інструмент роботи – імпровізований лазерний мікрофон, проведені дослідження відрізняються один від одного використаними доступними засобами та пристроями, вимірами та підсумковими результатами. Отримана різноманітність дослідів дозволяє провести аналіз базового принципу роботи лазерного мікрофону та факторів, що впливають на нього.

Дослід №1

Мета дослідження полягає у перевірці дієздатності обраної лазерної указки у якості лазерного мікрофону.

Для зручності у використанні, указка поміщена на пластмасове кріплення, що можна спостерігати на рис. 5. Промінь лазера спрямовується на мембрану у вигляді шматку фольги, який знаходиться у горловині пластикової пляшки, до якої впритул стоїть радіоприймач як джерело звуку (рис. 6).



Рис. 5. Пластмасове кріплення для лазерної указки



Рис. 6. Взаємодія мембрани із фольги та ввімкненого радіоприймача

В якості приладу, який зміг би показати наявність будь-яких фізико-хімічних процесів при попаданні віддзеркаленого променя від мембрани на його поверхню, застосована сонячна панель з потужністю в 1Вт та робочою напругою 5В (рис. 7). Для отримання цифрових показників цього процесу, на виході сонячної батареї, зберігаючи вірну полярність, під'єднаний цифровий мультиметр DT838 (рис. 8). Він налаштований на вимір постійної напруги 20В. (Обидва пристрої знаходяться на обліку в лабораторії Кафедри кібернетичної безпеки Факультету інформаційних технологій та управління Київського університету імені Бориса Грінченка.)

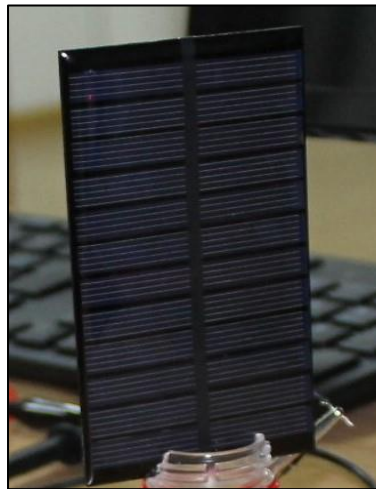


Рис. 7. Сонячна панель

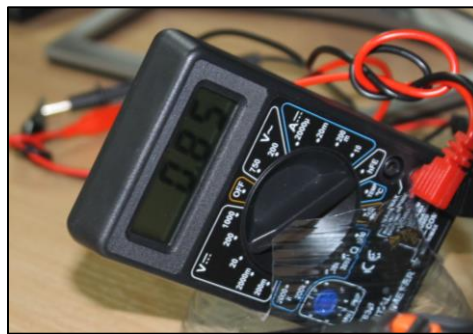


Рис. 7. Цифровий мультиметр DT838

Виміри напруги відбуваються на різних відстанях від лазерної указки, мультиметра до мембрани, а саме 0.3м, 1м та 3м. Весь процес виміру (рис. 8) проводиться двічі: перший раз з акустичним сигналом, що вільно розповсюджується навкруги; другий раз з ізоляцією радіоприймача шляхом його накриття картонною коробкою, що завадить акустичному сигналу всюди поширюватись.



Рис. 8. Процес одного із вимірів напруги

Дослід №2

Даний дослід містить схожі виміри напруги віддзеркаленого променя, але з використанням іншої мембрани та приймача. Зміна матеріалу мембрани здійснена задля можливості порівняння її впливу на результати експерименту.

Замість, сонячної панелі до застосунку береться зібрана схема сенсора освітленості на основі мікросхеми LM324, фоторезистора LDR07 та транзистора 2N2222 (рис. 9). Схема надана в «Навчальному посібнику №6» циклу Лабораторних робіт «Практична електроніка» Кафедри кібернетичної безпеки Факультету інформаційних технологій та управління Київського університету імені Бориса Грінченка.

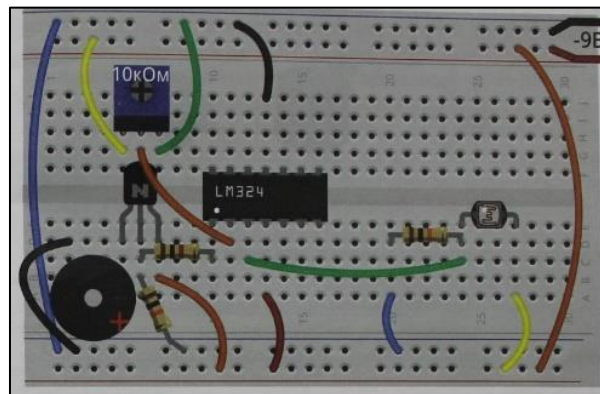


Рис. 9. Схема сенсора освітленості

Для імітування віконної шибки, в картонній коробці вирізана форма, в якій вставлена рамка зі склом, за якою прикріплена паперова серветка, що слугує «шторою» (рис. 10).



Рис. 10. Рамка зі склом та паперовою серветкою в картонній коробці

При вимкненому світлі, промінь лазера віддзеркалюється від скла, що знаходиться в коробці разом з увімкненим радіоприймачем, на робочу поверхню фоторезистора LDR07, одночасно з яким до схеми сенсора освітленості підключений цифровий мультиметр для виміру напруги (рис. 11). При цьому промінь, який безпосередньо виходить із указки, ізольований паперовою трубкою довжиною 30 см для фіксації його напрямлення (рис. 12). Виміри проводяться на відстанях від лазерної указки до скла та від скла до схеми довжиною в 0.4м, 3м та 5м.

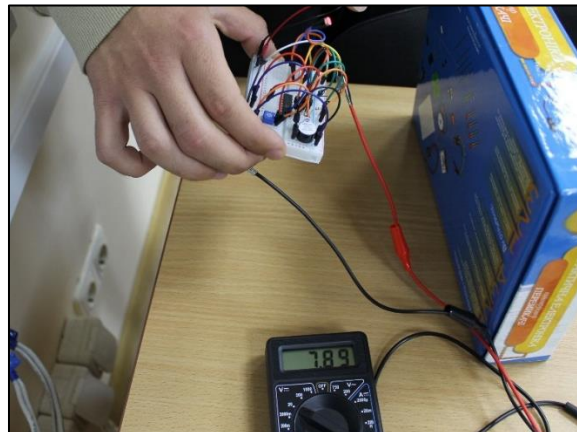


Рис. 11. Схема сенсору освітленості з під'єднаним цифровим мультиметром



Рис. 12. Паперова трубка для фіксації напрямлення лазера

Дослід №3

Завданням останнього досліду є вимір гучності акустичного сигналу отриманого через мікрофон та виведеного через динамік схеми підсилювача сигналу (рис. 13). Схема створена згідно «Навчального посібника №3» курсу лабораторних робіт з практичної електроніки.

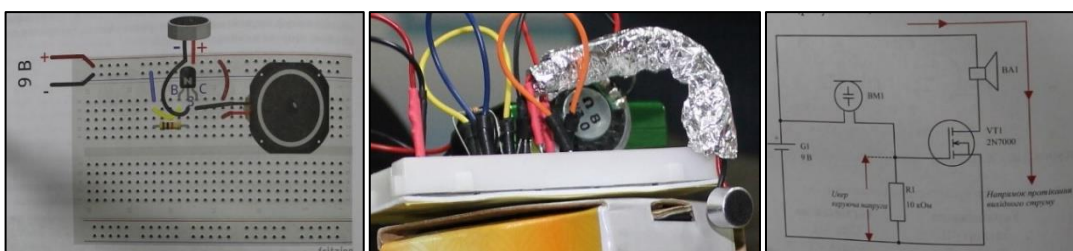


Рис. 13. Схема підсилювача акустичного сигналу

Вимір гучності акустичного сигналу проводиться за допомогою звичайного планшета з вбудованим мікрофоном та інстальованою сертифікованою програмою «Sound Meter» (рис. 14) від компанії Smart Tools, яка використовувалася в матеріалах попередньої статті схожої тематики дослідження. Програма відображає рівень отриманого акустичного сигналу у децибелах (Дб) та, використовуючи отримані показники, будує амплітуду акустичних коливань.

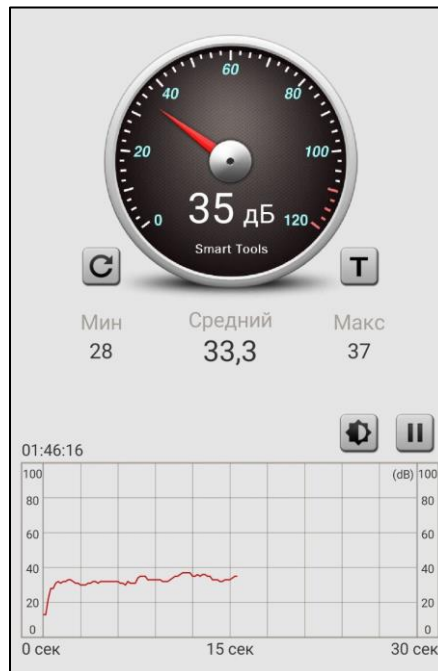


Рис. 14. Інтерфейс програми «Sound Meter»

Лазерна указка випромінює промінь через паперову трубку на закріплене в картонній коробці скло з паперовою серветкою (імпровізоване віконне скло з фіранкою). Всередині коробки (імпровізований ОІД) впритул до фіранки зі склом знаходиться ввімкнений радіоприймач. В результаті, лазер відбивається від дзеркальної поверхні та потрапляє на мікрофон схеми підсилювача сигналу, що зчитує акустичний сигнал. Отриманий сигнал виводиться із динаміку схеми та вимірюється за допомогою закріпленого поряд планшета (рис. 15) та встановленого на ньому програмного забезпечення.



Рис. 15. Вимір акустичного сигналу за допомогою програми «Sound Meter»

Процес виміру гучності акустичного сигналу (рис. 16) відтворювався зі змінами відстаней від підсилювача до скла, та від скла до лазерної указки. Використані відстані були довжиною 1м, 5м та 7м.

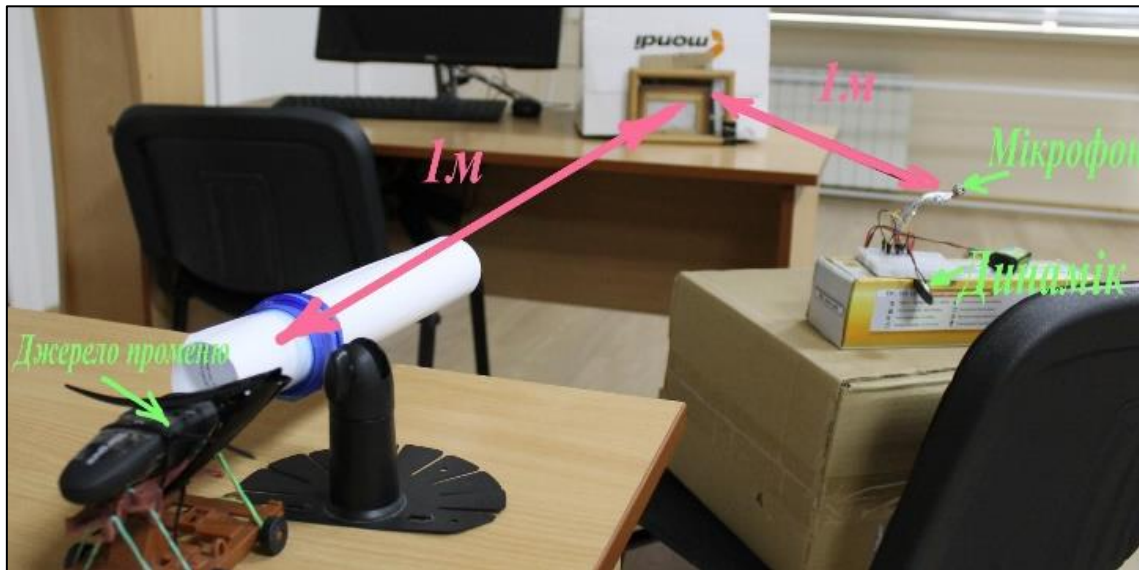


Рис. 16. Приклад одного з процесів виміру гучності акустичного сигналу

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Використавши вище описану методику, було проведено три досліди з вивчення залежності вимірів процесу роботи лазерного мікрофону відносно пристроїв вимірювання/приймання лазерного променя, їх відстаней від мембрани та матеріалів використаних підручних засобів.

4.1. Результати дослідів №1

Дослід умовно розподілений на два етапи виміри напруги U , що відрізняються масштабом розповсюдження акустичного сигналу. Згідно з вимірами, що зображені в таблиці №1, де акустичний сигнал вільно поширювався, загальний діапазон напруги склав 7,91 – 7,57В. Різниця отриманих даних при зміні відстані джерела випромінювання до мембрани в середньому дорівнює 0,1В, а при змінній відстані сонячної панелі до мембрани (тонкої фольги) – 0,07-0,08В. Більша залежність вимірів спостерігається під час зміни відстані лазерної указки відносно мембрани.

Таблиця 1

Залежність рівня напруги U від розташування джерела променя (лазерної указки) та приймача (сонячної панелі) променя відносно мембрани (фольги) при вільному поширенні акустичного сигналу

Відстань СП до мембрани	Відстань джерела до мембрани	0,3м	1м	3м
0,3м		7,91	7,84	7,76
1м		7,8	7,76	7,68
3м		7,71	7,65	7,57

Таблиця №2 демонструє результати вимірів вже з ізолюваним акустичним сигналом за допомогою картонної коробки. Спостерігається зріст показників. Отриманий діапазон напруги складає від 8,6В до 8,05В. Різниця показників при зміні відстані джерела випромінювання до мембрани (фольги) складає до 0,2В, а при змінній відстані сонячної панелі відносно мембрани до 0,1В. Більш значний вплив на виміри складає зміна розташування джерела випромінювання.

Таблиця 2

Залежність рівня напруги U від розташування джерела променя (лазерної указки) та приймача (сонячної панелі) променя відносно мембрани (фольги) при ізолюваному акустичному сигналі за допомогою картонної коробки

Відстань СП до мембрани			
Відстань джерела до мембрани	0,3м	1м	3м
0,3м	8,6	8,49	8,41
1м	8,4	8,32	8,26
3м	8,27	8,15	8,05

4.2. Результати досліду №2

В результаті третього досліду був отриманий більший діапазон напруги, а саме 8,73-8,36В, внаслідок іншого приймача лазера у вигляді фоторезистора, встановленого на схемі сенсора освітленості, та зміненої мембрани з фольги на скло. Середня різниця показників змін розташування фоторезистора до мембрани та лазерної указки до мембрани складає 0,08В і 0,15В відповідно. Ґрунтуючись на результатах таблиці 3, істотний вплив на показники складає відстань лазерної указки до скла.

Таблиця 3

Залежність рівня напруги U розташування джерела променя (лазерної указки) та приймача (фоторезистора сенсора освітленості) променя відносно мембрани (скла) при ізолюваному акустичному сигналі за допомогою картонної коробки

Відстань фоторезистора до мембрани			
Відстань джерела до мембрани	0,4м	3м	5м
0,4м	8,73	8,66	8,57
3м	8,65	8,59	8,51
5м	8,5	8,42	8,36

4.3. Результати досліду №3

В останньому досліді в якості приймача віддзеркаленого променя, що постачає акустичний сигнал, служить мікрофон схеми підсилювача сигналу, а виводить його підключений туди ж динамік. Тому для виміру гучності акустичного сигналу в децибелах використаний планшет зі спеціальною програмою. Діапазон отриманих вимірів складає 47-72Дб, різниця яких при зміні відстаней в середньому дорівнює 4Дб і 5Дб для мікрофона до мембрани та джерела випромінювання до

мембрани відповідно. Розташування джерела випромінювання відносно мембрани має трохи більший вплив.

Таблиця №4

Залежність рівня гучності сигналу Дб від розташування джерела променю (лазерної указки) та приймача (мікрофона схеми підсилювача сигналу) променю відносно мембрани (скла) при ізольованому акустичному сигналі за допомогою картонної коробки

Відстань мікрофона до мембрани			
Відстань джерела до мембрани	0,4м	5м	7м
0,4м	72	67	64
5м	66	61	58
7м	63	58	56

5. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проаналізовано роботу з вивчення базового принципу дії лазерного мікрофону шляхом його відтворення в зменшених масштабах за допомогою доступних засобів. Розглянуто залежність вимірів напруги та рівня гучності акустичного сигналу від зміни розташування джерела випромінювання та приймача лазера, відносно матеріалу мембрани та відносно способу поширення акустичного сигналу. Тому, на підставі отриманих результатів, можна зробити наступні висновки:

- 1) Серед двох використаних матеріалів, мембрана у вигляді скла продемонструвала краще віддзеркалення лазерного променю, ніж мембрана із фольги. Мембрана з фольги була малих розмірів порівняно з довжиною хвилі, а її кутовий розмір також менший за кутовий розмір лазерного променю. Крім того, чутливість сонячної панелі у таких умовах не дозволила була обмеженою. Що пояснює виявлені погрішності.
- 2) Було виявлено, що навколишні завади з технічного освітлення та природнього денного світла маскують промінь лазерної указки в приміщенні.
- 3) В усіх трьох дослідах прослідковується більший вплив на виміри напруги та гучності акустичного сигналу внаслідок зміни розташування джерела випромінювання відносно мембрани. В середньому показники зменшувались від 0,1В до 0,2В (досліди №1 та №2) та до 5Дб (дослід №3), в той час як при зміні розташування приймача лазера показники зменшувались від 0,07В до 0,1В та до 4Дб.
- 4) При потраплянні променю, у сонячної батареї виникає така сама вихідна напруга, як і при мінімальній освітленості приміщення, в якому вона встановлена. Тобто спрацьовує мінімальний поріг освітленості.
- 5) У другому етапі дослідів №1 помітно зросли отримані показники напруги, у зв'язку з тим, що акустичний сигнал концентрується в картонній коробці (імпровізоване приміщення) та створює сильніші вібрації на фользі, закріпленій в горловині пластикової пляшки впритул до коробки.
- 6) Порівнявши виміри дослідів №1 та №2, сформовано висновок, що сенсор освітленості більш чутливий до лазерного променю, ніж сонячна панель. Про це свідчать отримані показники напруги в таблиці №3, що зросли у порівнянні з попередніми вимірами.



Вивчені залежності та погрішності, отримані виміри та сформовані висновки можуть слугувати основою для подальших досліджень. В перспективі, майбутні дослідження можуть бути направлені на продовження вивчення технології дії лазерного мікрофону з використанням професійного обладнання. Такого роду дослідження зможуть допомогти сформуванню алгоритму та заходів захисту від витоків інформації оптико-електронним каналом. Після удосконалення конструкції використаних засобів обладнання доцільно застосовувати як демонстраційний стенд у навчальному процесі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Зайцев, А. П., Шелупанов, А. А., Мещеряков, Р. В. та ін. (2009). *Технические средства и методы защиты информации* (А. Зайцев, А. Шелупанов, Ред.). ООО «Издательство Машиностроение».
- 2 Ширман, Я. Л., Лосев, Ю. И., Минервин, Н. Н., Москвитин, С. И., & Горшков, С. А. (1998). *Радиоэлектронные системы: основы построения и теория* (Я. Ширман, Ред.). ЗАО «МАКВИС».
- 3 *Ericsson and Powerlight base station wireless charging breakthrough*. Ericsson - Helping to shape a world of communication. <https://www.ericsson.com/en/news/2021/10/ericsson-and-powerlight-achieve-base-station-wireless-charging-breakthrough>.
- 4 *Повітряний бій між МіГ-29 та "лазерним" F-16: переміг лазер (відео) | Defense Express*. Військовий портал Defense Express - все про військову справу. https://defence-ua.com/news/povitrjanij_bij_mizh_mig_29_ta_lazernim_f_16_peremig_lazer_video-1656.html
- 5 Бондарь, М. С. (2021). *Лазерний мікрофон*. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/42978/1/Bondar_bakalavr.pdf.
- 6 Chounlakone, M. The Laser Microphone https://web.mit.edu/6.101/www/s2017/projects/jalverio_Project_Final_Report.pdf

**Maksym S. Martseniuk**

student of the Faculty of Information Technology and Management
Borys Grinchenko Kyiv University, Kyiv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-6662-7610
msmartseniuk.fitu18@kubg.edu.ua

Pavlo M. Skladannyi

PhD,
Head of the Department of Information and Cyber Security named after Professor Volodymyr Buriachok
Borys Grinchenko Kyiv University, Kyiv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-7775-6039
p.skladannyi@kubg.edu.ua

Volodymyr M. Astapenya

PhD, Associate Professor
Associate Professor of the Department of Information and Cyber Security
named after Professor Volodymyr Buriachok
Borys Grinchenko Kyiv University, Kyiv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0003-0124-216X
v.astapenia@kubg.edu.ua

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE STAND OF SIMULATION MODELING OF LASER MICROPHONE OPERATION FOR REMOVAL OF ACOUSTIC INFORMATION

Abstract. He who possesses information owns the world. This statement is becoming more relevant every day. It is information that has become a tool for modern management and development. Therefore, the role of information technology is also constantly growing along with the risk of their malicious use. Attackers use all possible methods and means of technical intelligence to use potentially possible and create new types of information leakage channels to intercept it. object of information activities. Such oscillations caused by a certain speech (acoustic) signal can be intercepted by means of long-range intelligence. Most often, a laser microphone is used as such. The essence of its action is to emit a laser on the surface of the selected OID, which circulates a speech signal that creates sound vibrations on this surface. The movement of the surface leads to the modulation of the wave by phase, which is manifested in the variable nature of the sound signal Doppler shift of the frequency of the received signal. Often, such a surface is the glass of the windows, which reflects the beam to the receiver, to which is connected a detector that can reproduce the sound from the OID. This study aims to study the dependence of the laser microphone on such factors as: the location of the radiation source and the beam receiver from the membrane; membrane surface material; receiver type; materials of fencing constructions OID. The goal is to create a stand to demonstrate the operation of a laser microphone. The research process is carried out on a smaller scale, which is why an improvised room in the form of a cardboard box was chosen as the OID. Available tools were used to reproduce the operation of the laser microphone, so a laser pointer was chosen as the illuminator, and devices such as a solar panel, a light sensor and a signal amplifier microphone were used as the receiver. The study of the influence of selected factors was performed by measuring the voltage and volume of the acoustic signal using a multimeter and a certified program on the tablet, respectively.

Keywords: opto-electronic information leakage channel; speech signal; laser microphone; object of information activity; membrane, Doppler frequency shift.

REFERENCES

- 1 Zaitsev, A. P., Shelupanov, A. A., Meshcheriakov, R. V. ta in. (2009). Tekhnicheskiye sredstva y metody zashchyty ynfornatsyy (A. Zaitsev, A. Shelupanov, Red.). OOO «Yzdatelstvo Mashynostroenye».



- 2 Shyrman, Ya. L., Losev, Yu. Y., Mynervyn, N. N., Moskvytyn, S. Y., & Horshkov, S. A. (1998). *Радіоелектронні системи: основи побудови та теорія* (Іа. Shyrman, Red.). ZAO «MAKVYS».
- 3 Ericsson and Powerlight base station wireless charging breakthrough. Ericsson - Helping to shape a world of communication. <https://www.ericsson.com/en/news/2021/10/ericsson-and-powerlight-achieve-base-station-wireless-charging-breakthrough>.
- 4 Povitrianyi bii mizh MiH-29 ta "lazernym" F-16: peremih lazer (video) | Defense Express. Viiskovyi portal Defense Express - vse pro viiskovu spravu. https://defence-ua.com/news/povitrjanij_bij_mizh_mig_29_ta_lazernim_f_16_peremig_lazer_video-1656.html
- 5 Bondar, M. S. (2021). *Lazernyi mikrofon*. Natsionalnyi tekhnichnyi universytet Ukrainy «Kyivskiy politekhnichnyi instytut imeni Ihoria Sikorskoho». https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/42978/1/Bondar_bakalavr.pdf.
- 6 Chounlakone, M. *The Laser Microphone*. https://web.mit.edu/6.101/www/s2017/projects/jalverio_Project_Final_Report.pdf

