

ЗАХИСТ АКУСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ВІД ДИСТАНЦІЙНОГО ПЕРЕХОПЛЕННЯ ОПТИЧНИМИ ЗАСОБАМИ ТЕХНІЧНОЇ РОЗВІДКИ

Є. О. Логвін¹, В. М. Степаненко¹

¹ Навчально-науковий Фізико-технічний інститут

Анотація

У роботі розглянуто модель загрози витоку мовної інформації на основі аналізу трьох засобів технічної (акустичної) розвідки: Лазерні системи акустичної розвідки (лазерний мікрофон), Lamphone та Visual Microphone. Методи захисту включають вплив на електроакустичний, вібраційний та оптико-електронний (лазерний) акустичні канали витоку на основі фізичної природи створення небезпечного сигналу.

Ключові слова: акустичний канал витоку, ЛСАР, Lamphone, Visual Microphone

Вступ

Захист акустичної (мовної) інформації є невід'ємною частиною комплексу захисту інформації на об'єктах інформаційної діяльності. Непомітність використання засобів технічної розвідки та використання поза зоною КЗ обумовили створення таких пристроїв, що або використовують випромінювання, невидимі для людського ока, або неможливо відстежити засобами захисту інформації. Проблема захисту акустичної інформації стала особливо критичною як з початком пандемії COVID-19, так й після розв'язання повномасштабної війни російською федерацією, оскільки люди стали більше працювати вдома та ймовірність витоку конфіденційної інформації в незахищених умовах збільшилась.

Тому основною темою роботи є аналіз трьох різних технічних засобів акустичної розвідки, що не потребують прямого доступу до приміщення внаслідок використання оптичних систем перехоплення вібрації об'єктів, що знаходяться під впливом звукового поля небезпечного сигналу (звукового коливання).

1. Лазерна система акустичної розвідки

Лазерні системи акустичної розвідки (ЛСАР) або лазерні мікрофони — це засіб технічної розвідки, що використовує лазерний промінь у ближньому інфрачервоному діапазоні (0,9...1,1 мкм) довжин хвиль для зняття звукових вібрацій на дальніх об'єктах. Промінь лазерного мікрофона наводять на шибку вікна або на деякі об'єкти, що розташовані всередині приміщення, що піддаються впливу звукового поля акустичної інформації. Лазерні системи акустичної розвідки мають дальність дії до 100–500 м та навіть більше кілометра в разі встановлення на шибках спеціальних спрямованих відбивачів або покриття.

1.1. Принцип дії

Принцип роботи ЛСАР наступний: драйвер інфрачервоного лазера генерує височастотний лазерний промінь та, за допомогою оптичного прицілу, направляє на плоску віброуючу поверхню. Далі промінь падає на дану поверхню (віконну шибку) та на границі скло-повітря модулюється за законом акустичного (мовного) сигналу, чие поле впливає на поверхню, змушуючи вібрувати. Після лазер повторно відбивається та приймається приймачем засобу технічної розвідки. На вході приймача сигнал фільтрується (демодулюється) та підсилюється, після чого інформацію можна вважати отриманою, прослухавши або записавши на пристрій.

Зазвичай використовуються два типи схем ЛСАР (лазерного мікрофона) — з розділеними або суміщеними лазером та детектором. [1]

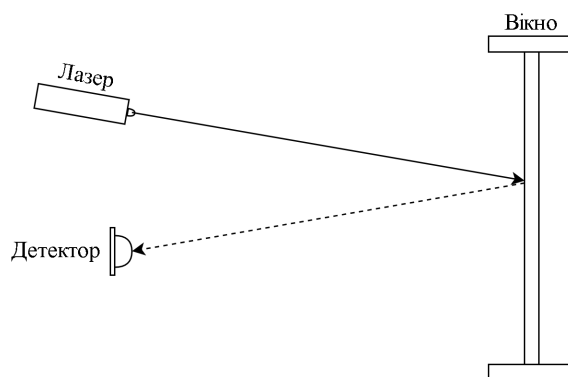


Рис. 1. ЛСАР з розділеним лазером та детектором

На рис. 1 зображено спрощену схему ЛСАР з розділеним лазером та детектором, де промінь лазера падає на вікно, модулюється звуковим сигналом та повертається на детектор, що розташований на куті, що дорівнює куту падіння лазера на вікно.

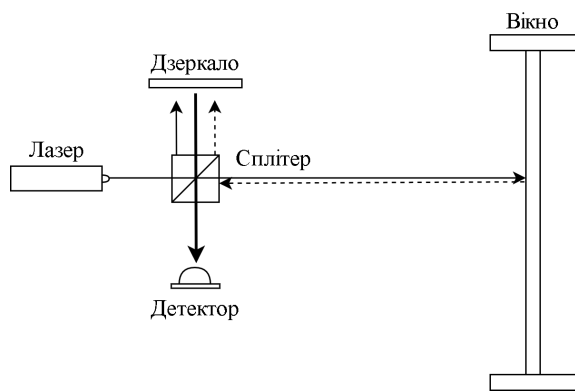


Рис. 2. ЛСАР з суміщеним лазером та детектором

На рис. 2 зображено схему ЛСАР з суміщеним лазером та детектором, що заснований на принципі роботи інтерферометра Майкельсона. Використання сплітера дозволяє в одній точці звести падаючий та відбитий промінь, що робить можливим суміщення лазера та детектора в одному пристрої. Дзеркало використовується для об'єднання (інтерференції) опорного (падаючого) та відбитого променя, що збільшує чутливість ЛСАР за умови, що промені будуть когерентними за фазами.

Потужність сигналу, прийнятого на вхід приймача після його відбиття від віконного скла, визначається як:

$$P = \Pi S_A k S_0 / R^2, \quad S_0 = S k_\mu \xi$$

де S — коефіцієнт пропорційності, що кількісно характеризує властивості скла щодо розсіювання лазерного випромінювання; k_μ — коефіцієнт направленої дії скла, який характеризує ступінь концентрації потужності лазерного випромінювання, що розсіюється склом в напрямку «лазерного мікрофона»; ξ — коефіцієнт деполаризації лазерного випромінювання під час відбиття від скла; Π — густина потоку потужності лазерного випромінювання біля скла; S_A — площа поверхні об'єктиву приймального оптичного пристрою; k — коефіцієнт пропускання (прозорості) приймальної оптичної системи; R — відстань від «лазерного мікрофону» до віконного скла; S_0 — ефективна площа розсіювання (ЕПР) скла. ЕПР в оптичному діапазоні хвиль, як і в НВЧ-діапазоні, кількісно характеризує властивості предметів щодо розсіювання та відбиття випромінювання.

2. Lamphone (Лампфон)

Lamphone (Лампфон) — це метод перехоплення мовної інформації, в основі якого лежить пасивний моніторинг настільної лампи (або іншого точкового джерела світла). Lamphone відновлює звук оптичним методом, за допомогою фотоелектричного датчика, направлено на точкове джерело світла, що вібрує внаслідок впливу звукового поля поруч з нею (розмова, музика, інше озвучення певної інформації).

2.1. Принцип дії

Розглянемо загальний випадок використання з направленням на лампу (рис. 3). Жертва знаходиться у приміщенні, в якому є підвісна/настільна лампа. Порушник має на меті отримати акустичну (мовну) інформацію, що озвучується жертвою у даному приміщенні. Процес формування та знімання інформації можна розписати як:

1. Акустична (мовна) інформація жертви $snd(t)$ створює звукове поле, що викликає зміни тиску на поверхні лампочки та примушує її до вібрації.
2. Вібрація лампочки змінює її інтенсивність світла за законом акустичного повідомлення, створюючи оптичний сигнал $opt(t)$. Дані зміни інтенсивності в часовому представленні, що пропорційні до зміни тиску на лампочку (за вібраційним законом поверхні лампочки), представляють собою модуляцію небезпечного сигналу.
3. Порушник збирає телескопом оптичний сигнал $opt(t)$ на електро-оптичний датчик, перетворюючи світлову енергію на електричний струм.
4. Отриманий сигнал дискретизується в АЦП та обробляється алгоритмами відновлення, утворюючи акустичний сигнал $snd^*(t)$.

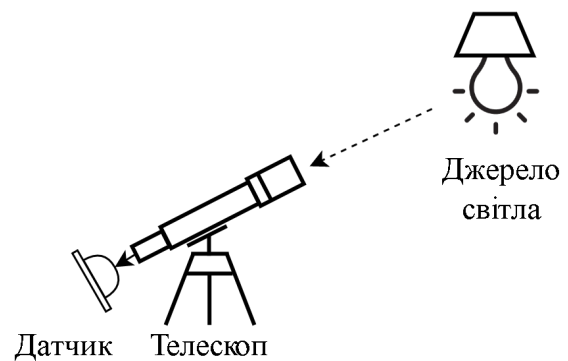


Рис. 3. Спрощена модель використання Lamphone

2.2. Створення оптичного сигналу

Розглянемо дослід зі зняття оптичного сигналу за використання горна на частоті $f = 518\text{Гц}$ [2].

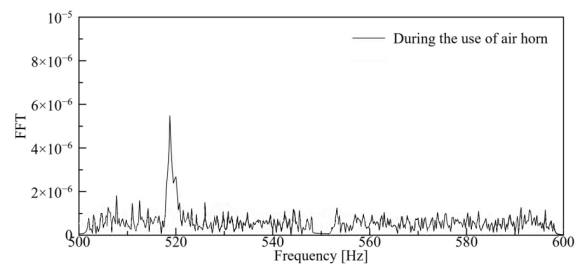


Рис. 4. Реакція лампочки (оптичний сигнал) на горн

При появі звукового сигналу (4) частотою $f = 518\text{Гц}$ оптичний сигнал аналогічно отримує сплеск на даній частоті, що говорить про зміни інтенсивності світла лампочки під впливом звукового сигналу.

3. Visual Microphone (Візуальний мікрофон)

Візуальний мікрофон (Visual Microphone) [3] — це метод викрадення акустичної інформації з беззвучного відеоряду. Камера (рис. 5) знімає об'єкт з високою частотою кадрів (2кГц–20кГц), що вібує внаслідок впливу звукового поля, фіксує його локальні рухи, що збираються в сигнал глобального руху об'єкта.

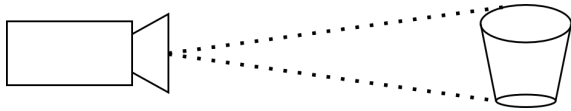


Рис. 5. Спрощена модель використання Visual Microphone

3.1. Принцип роботи

Візуальний мікрофон як метод використання вібруючих об'єктів як зовнішні мембрани та зчитування їх вібрацій заснований на використанні фільтру Габора до кадрів знятого на камеру відео. Фільтр застосовується згортою двовимірного вейвлету Габора з кадром відео:

$$I_{\Psi_{\omega,\theta}} = I \otimes \Psi_{\omega,\theta} = FFT^{-1}(FFT(I) \times FFT(\Psi_{\omega,\theta}))$$

Тоді кожен кадр можна представити як сукупність комплексних функцій розміщення пікселів:

$$g(x, y) = A(r, \theta, x, y, t) * \phi(r, \theta, x, y, t)$$

Локальний рух пікселів можна визначити як різницю між позиціями пікселів на момент t та початковим моментом t_0 :

$$\phi_v(r, \theta, x, y, t) = \phi(r, \theta, x, y, t) - \phi(r, \theta, x, y, t_0)$$

Глобальний рух для кадру на момент t можна визначити як суму локальних рухів для пікселів усього кадру:

$$\Phi(r, \theta, t) = \sum_{x,y} A(r, \theta, x, y)^2 * \phi_v(r, \theta, x, y, t)$$

Тоді опис сигналу глобального руху об'єкта:

$$\hat{s}(t) = \sum_i \Phi(r_i, \theta_i, t - t_i)$$

Отриманий сигнал глобального руху об'єкта після автоматично очищується від шумів одним з двох методів, опираючись на більш необхідний параметр:

1. Для збільшення точності відновленого сигналу використовується метод спектрального віднімання [4]
2. Для збільшення розбірливості мовного сигналу використовується метод на основі Баєсових оцінок спектру амплітуд [5]

4. Модель загрози

Опираючись на фізичне підґрунтя описаних заходів технічної розвідки, можна виділити загальні моделі загрози використання даних каналів витоку.

Лазерний мікрофон (ЛСАР)

Головною умовою для зчитування інформації лазерним мікрофоном є відбиття лазерного променя від об'єкта, тому будь-які дзеркальні поверхні можуть використані ЛСАР, як наприклад скляна ваза чи металеві гудзики на одязі жертви (рис. 6). Також зазвичай даний тип мікрофону використовує як зовнішню мембрану вікно приміщення, що коливається від впливом звукового поля, надаючи можливість отримання інформації навіть за умови закриття інтер'єру кімнати шторами або ролетами.

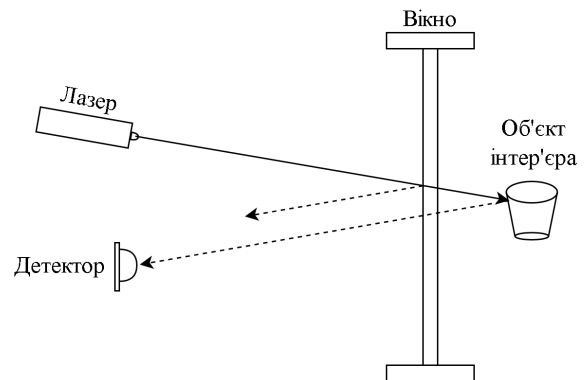


Рис. 6. Зчитування лазерним мікрофоном з об'єкту інтер'єра

Lamphone

Lamphone може використовувати для зчитування інформації будь-які джерела світла, що знаходяться під впливом небезпечного акустичного (мовного) сигналу. Особливу небезпеку містять люмінесцентні та світлодіодні лампи, що випромінюють світло на певних визначених довжинах хвиль. Тому у якості об'єктів спостереження можуть бути використані як настільні лампи, електронний годинник чи RGB-індикатор монітора.

Візуальний мікрофон

Візуальний мікрофон потребує зфокусованої зйомки вібруючого об'єкта на відеокамеру з високою частотою кадрів та, у протизага до ЛСАР та Lamphone, може бути використаний будь-який об'єкт інтер'єра. Як показало дослідження реакції різних об'єктів на звуковий сигнал з постійно зростаючою частотою [3], чим легшим та пружним є предмет, тим більш високочастотний спектр можна отримати при зчитування вібрації.

5. Рекомендації щодо попередніх заходів захисту акустичної інформації без створення КТЗІ

На основі створенної моделі загроз можна виділити превентивні та організаційні заходи, що ускладнять використання даних каналів витоку до створення комплексу технічного захисту інформації (КТЗІ) на об'єкті.

Лазерний мікрофон (ЛСАР)

Без вібровипромінювачів та лазерного зашумлення простору[6], як пасивний захист від лазерних систем акустичної розвідки можна використати наступні заходи:

1. Маскування або заміна об'єктів з гладкою поверхнею, що можуть відбити лазерний промінь з найменшими шумами, викликаними нерівностями поверхні
2. Використання захисної плівки на вікна задля погіршення якості відбитого лазеру
3. Перекриття виду зсередини, а саме використання цупких штори, щоб повністю закрити інтер'єр кімнати та поглинути звукові коливання
4. Перекриття вікна ззовні, а саме використання ролетів на зворотній стороні вікна, на які не впливатимуть небезпечні мовні сигнали з приміщення та що будуть перекривати вібруюче вікно.

Lamphone

Загальні рекомендації щодо захисту від витоку інформації з використанням Lamphone є більш простими у плані виконання, оскільки для атаки використовуються тільки активні джерела світла.

Для унеможливлення або поскладнення використання Lamphone рекомендовано:

1. Закрити вікна шторами або ролетами, щоб приховати джерела світла у приміщенні.
2. Розвернути прилади, що містять led-індикатори, від вікон, або заклеїти їх на час переговорів.
3. Вести переговори у денний час доби, коли немає необхідності вмикати світло, або використовувати малопотужні лампочки розжарювання, оскільки її світло, внаслідок розжарення нитки, випромінюється у всьому спектрі частот, від інфрачервоного до ультрафіолетового спектру.

Візуальний мікрофон

Відновлення акустичної інформації Візуальним мікрофоном потребує прямої видимості об'єктів інтер'єру, тому загальні рекомендації можна скласти як:

1. Закрити вікна шторами або ролетами, щоб приховати об'єкти інтер'єру.
2. Вилучити відеокамери з приміщення, що можуть бути використані для запису інтер'єру.

Висновок

У роботі розглянуто три системи технічної розвідки, що використовуються для дистанційного викрадення мовної інформації електроакустичним, вібраційним та оптико-електронним (лазерним) акустичними

каналами витоку.

Найбільш небезпечним, з точки зору використання на великій відстані, є лазерний мікрофон (ЛСАР) через низький рівень затухання та випромінювання на фіксованих діапазонах частот.

При спробі перехоплення мовної інформації на об'єкті, що вже містить виконані заходи щодо захисту акустичних каналів витоку, найбільш небезпечним є Візуальний мікрофон, оскільки при використанні камери як закладного пристрою можна зчитати мовну інформацію за умови використання пристроїв, що унеможливають роботу мікрофонів.

При аналізі фізичної природи реакції об'єктів на вплив акустичним коливанням та зняття модульованого небезпечного сигналу з них визначено, що найбільш ефективним пасивним методом захисту (без створення КТЗІ) від витоку даними каналами є маскування можливих для зняття об'єктів, як наприклад використання ролетів ззовні вікна, що перекриє як вібруюче вікно, так і доступ до об'єктів інтер'єра та джерел світла.

Перелік використаних джерел

1. Горбенко І., Ковальчук Ю. Оцінка характеристик лазерного каналу витоку мовної інформації з урахуванням багатомодового випромінювання лазера // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. — 2008. — № 2. — С. 83—88. — URL: <https://core.ac.uk/reader/47229210>.
2. Lamphone: Real-Time Passive Sound Recovery from Light Bulb Vibrations / B. Nassi, Y. Pirutin, A. Shamir, Y. Elovici, B. Zadov. — 2020. — URL: <https://eprint.iacr.org/2020/708>. Cryptology ePrint Archive, Paper 2020/708.
3. The Visual Microphone: Passive Recovery of Sound from Video / A. Davis, M. Rubinstein, N. Wadhwa, G. Mysore, F. Durand, W. T. Freeman // ACM Transactions on Graphics (Proc. SIGGRAPH). — 2014. — Т. 33, № 4. — 79:1—79:10.
4. Boll S. Suppression of acoustic noise in speech using spectral subtraction // IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing. — 1979. — Т. 27, № 2. — С. 113—120. — DOI: [10.1109/TASSP.1979.1163209](https://doi.org/10.1109/TASSP.1979.1163209).
5. Loizou P. Speech enhancement based on perceptually motivated bayesian estimators of the magnitude spectrum // IEEE Transactions on Speech and Audio Processing. — 2005. — Т. 13, № 5. — С. 857—869. — DOI: [10.1109/TSA.2005.851929](https://doi.org/10.1109/TSA.2005.851929).
6. Катаєв В. С., Яремчук Ю. Є. Метод активного захисту інформації від зняття лазерними системами акустичної розвідки // Захист інформації. — 2020. — Т. 21, № 1. — С. 34—39. — DOI: [10.18372/2410-7840.21.13545](https://doi.org/10.18372/2410-7840.21.13545).