

А. Н. Аль-Амморі¹, Р. М. Іщенко¹, П. В. Дяченко², І. О. Німич¹

¹ Національний транспортний університет, Київ, Україна

² Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна

ФІЗИЧНІ МЕХАНІЗМИ СТВОРЕННЯ ТЕХНІЧНИХ КАНАЛІВ ВИТОКУ АКУСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Анотація. Актуальність. Фізичні процеси, що виникають в технічних засобах і системах, створюють у навколишньому просторі побічні електромагнітні й акустичні випромінювання. Відповідно, для розробки ефективних методів і засобів захисту інформації необхідно розуміти фізичні основи створення зазначеного побічного випромінювання. **Об'єкт дослідження:** фізичні процеси, що призводять до виникнення технічних каналів витоку акустичної інформації **Мета статті:** розгляд фізичних механізмів створення технічних каналів витоку акустичної інформації та заходів щодо запобігання цим витокам інформації. **Результати дослідження.** У роботі з'ясовано, що акустичні та акустовібраційні канали витоку інформації утворюються в наслідок поширення акустичних хвиль в дифузійному та пружному середовищах відповідно. Акустоелектричні канали витоку інформації утворюються в наслідок паразитного перетворення акустичних сигналів в електричні на елементах електронних приладів. Акустооптоелектронні канали утворюються шляхом дистанційного зняття лазерними засобами вібраційних коливань поверхонь інженерних або будівельних конструкцій. Канали височастотного нав'язування утворюються в наслідок випромінювання струмопровідними елементами модульованого височастотного сигналу. **Висновки.** Таким чином, з'ясовано фізичні механізми створення технічних каналів витоку акустичної інформації на об'єкті інформаційної діяльності та розглянуто засоби захисту від них. Зокрема, спільним засобом захисту для усіх зазначених каналів витоку акустичної інформації є використання акустичного, вібраційного та лінійного зашумлення на об'єкті інформаційної діяльності.

Ключові слова: фізичний механізм, захист інформації, технічний канал, витік інформації, акустична хвиля.

Вступ

Постановка проблеми. Інтенсивний розвиток інформаційно-комунікаційних технологій та формування інформаційного суспільства обумовлюють виникнення питання щодо інформаційної безпеки. У зв'язку з цим, виникають проблеми, пов'язані з ефективним опрацюванням, оперативною передачею та надійним зберіганням даних [1]. Відповідно до цього, проблема надійного захисту інформації є актуальною науково-технічною задачею.

Використання різноманітних технічних засобів у всіх сферах людської діяльності призвело до появи технічних каналів витоку інформації. Фізичні процеси, що відбуваються в таких пристроях під час їхнього функціонування, створюють у навколишньому просторі побічні електромагнітні й акустичні випромінювання, що пов'язані з обробкою інформації. Неконтрольований витік інформації відбувається саме через побічні електромагнітні та акустичні випромінювання й наведення різноманітного походження. Для розробки ефективних методів і засобів захисту інформації [2], необхідно розуміти фізичні основи створення технічних каналів витоку інформації. Оскільки зазначений напрямок дослідження великий за обсягом, дана робота присвячена розгляду фізичних механізмів створення технічних каналів витоку акустичної інформації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У вітчизняній науково-технічній літературі існує ряд робіт, присвячених розгляду особливостей створення технічних каналів витоку інформації та мето-

дів і засобів захисту даних від вказаних каналів витоку. Зокрема, автором роботи [3] наведено визначення технічного каналу витоку інформації, виконано аналіз фізичних процесів, які знаходяться в основі функціонування різних технічних каналів витоку інформації. У роботі [4] розроблено структуру та визначено функції й основні характеристики елементів кіберфізичної системи моделювання методів та засобів технічного захисту акустичної інформації від витоку оптико-електронним каналом. У роботі [5] відзначено, що системи відеоспостереження доцільно використовувати на об'єктах інформаційної діяльності для запобігання витоку інформації, зокрема, використовувати функцію детектору руху в зазначених охоронних системах.

Зазначений напрямок дослідження представлений також і в закордонній науково-технічній літературі. Зокрема, у роботі [6] авторами розроблено метод захисту акустичної інформації, а саме – засекречування акустичних сигналів на основі криптографічних алгоритмів. У роботі [7] досліджено вплив стороннього електромагнітного випромінювання на працездатність різних електронних приладів. Визначено, що випромінювання субміліметрового діапазону може бути причиною відмов зазначених пристроїв. У роботі [8] запропоновано пасивні й активні заходи, спрямовані на захист інформації від витоку каналами побічних електромагнітних випромінювань. Зокрема, до пасивних заходів належать підвищення звукоізоляції огорожувальних конструкцій на об'єкті інформаційної діяльності, до активних – створення акустичних та віброакустичних перешкод у межах контрольованої зони.

Таким чином, з огляду як вітчизняної, так і закордонної науково-технічної літератури можна зробити висновок про те, що питання фізичних механізмів створення технічних каналів витоку акустичної інформації недостатньо вивчене та потребує подальшого дослідження.

Мета роботи полягає у розгляді фізичних механізмів створення технічних каналів витоку акустичної інформації та заходів щодо запобігання цим витокам інформації.

Основний матеріал

За результатами аналізу науково-технічної літератури, присвяченої дослідженню технічних каналів витоку інформації, зроблено висновок про те, що єдиного підходу до визначення та класифікації зазначених каналів немає. Узагальнивши результати дослідження інших авторів, було запропоновано розглядати технічний канал витоку інформації як фізичний шлях небезпечного сигналу від джерела до засобу технічної розвідки. У загальному випадку технічні канали витоку інформації поділяються на наступні: електричні (небезпечні електричні струми в різних струмопровідних елементах), електромагнітні (електромагнітне випромінювання різного діапазону), акустичні (поширення звукових коливань у будь-якому звукопровідному матеріалі), матеріально-речовинні (магнітні, оптичні носії, папір, фото тощо) [9, с. 22-24].

До технічних каналів витоку акустичної інформації належать такі: акустичні, акустовібраційні, акустоелектричні, акустооптоелектронні, канали високо-частотного нав'язування для зняття мовної інформації. Розглянемо фізичні механізми створення зазначених каналів та методи і засоби захисту від них.

Акустичні канали витоку інформації (рис. 1) утворюються в наслідок поширення акустичних хвиль від джерела акустичної інформації (ДАІ) тільки в дифузійному середовищі (гази, рідини, в яких молекули не мають пружних зв'язків).

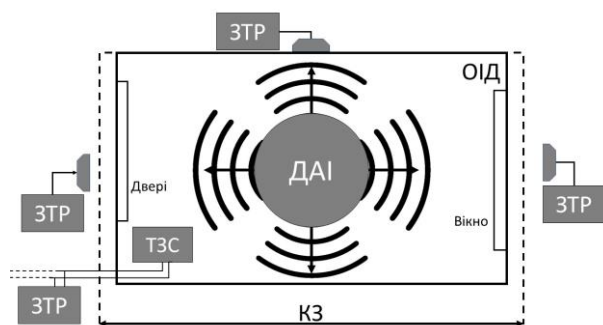


Рис. 1. Акустичний, акустовібраційний та акустоелектричний канали витоку інформації

Такі канали утворюються шляхом перехоплення акустичних (мовних) сигналів з об'єкту інформаційної діяльності (ОІД) мікрофонами направленої дії та акустичними антенами. Зазначені засоби технічної розвідки (ЗТР) встановлюються за межами контрольованої зони (КЗ) в області прямої видимості з вікон та інших отворів ОІД. Запобігання витоку інформації акустичними каналами досягається такими способами: вико-

ристання огорожувальних конструкцій, які виключають ефект парусності, тобто стіни, стеля та підлога повинні бути досить масивними (залізобетонними, цегляними тощо); ліквідація щілин в огорожувальних конструкціях (шпаклювання тріщин, герметизація щілин звукоізолюючими матеріалами); використання в технологічних вікнах та системі вентиляції звукопоглинаючих резонаторів, систем та матеріалів; просторового акустичного зашумлення повітряного середовища зовні ОІД.

Акустовібраційні канали витоку інформації (див. рис. 1) утворюються внаслідок впливу акустичної хвилі (небезпечного акустичного сигналу) на поверхню твердого тіла, що призводить до його вібрації – коливання молекул твердого тіла, які можуть поширюватися на великі відстані (чим більша густина тіла, тим більша відстань поширення). Такими твердими тілами, по яким поширюється вібрація, можуть бути: стіни, стеля, підлога, скло вікон, система опалення, газопровід, труби водопостачання і водовідведення. Отже, використовуючи контактний мікрофон (стетоскоп), встановлений за межами КЗ, порушник може перехопити небезпечний акустичний сигнал, що поширюється з ОІД. Запобігання витоку інформації акустовібраційними каналами досягається наступними способами: покриття огорожувальних конструкцій ОІД звукопоглинаючими матеріалами та використання вібраційних розвантажувачів під час побудови систем опалення, газопостачання, водопостачання та водовідведення тощо; вібраційне зашумлення вище вказаних конструкцій і систем.

Акустоелектричні канали витоку інформації (див. рис. 1) утворюються шляхом паразитного перетворення акустичних сигналів в електричні на електронних компонентах технічних засобів та систем (ТЗС), розташованих на ОІД. Зокрема, вплив акустичного тиску на конденсатори і резистори, розташовані в електричних схемах приладів, призводить до вібрації та зміни лінійних розмірів зазначених елементів. Відомо, що електроємність плоского конденсатора (C) та електричний опір резистору (R) визначаються співвідношеннями:

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot S / d, \quad (1)$$

де $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – електрична стала; ϵ – відносна діелектрична проникність ізолятора (діелектрика), розміщеного між обкладками конденсатора; S – площа обкладки конденсатора; d – відстань між обкладками конденсатора (або товщина шару діелектрика);

$$R = \rho \cdot l / S, \quad (2)$$

де ρ – питомий електричний опір матеріалу резистора (провідника); l – довжина резистора; S – площа поперечного перерізу резистора.

Отже, зміна лінійних розмірів конденсаторів і резисторів, спричинена впливом акустичного тиску, згідно з формулами (1) і (2) призводить до зміни їх електроємності та електричного опору відповідно. У свою чергу, зміна електроємності та електричного опору викликає зміну напруги і сили струму в електричному колі, що призводить до появи небезпечно-

го електричного сигналу. Якщо лінія, що пов'язана з електронними приладами, в яких під дією акустичного тиску виникає небезпечний електричний сигнал, виходить за межі КЗ, то порушник за допомогою ЗТР може перехопити зазначений електричний сигнал. Запобігання витоку інформації акустоелектричними каналами досягається такими способами: використання в електричних схемах технічних засобів, що затримують електричні сигнали низького рівня; використання в електричних схемах лінійного зашумлення.

Акустооптоелектронні канали витоку інформації (рис. 2) утворюються шляхом дистанційного зняття лазерними засобами акустичної розвідки вібраційних коливань поверхонь інженерних або будівельних конструкцій на ОІД, що спричинені акустичним полем (небезпечним акустичним сигналом).

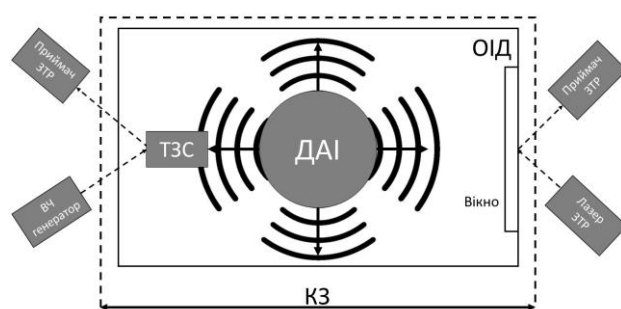


Рис. 2. Акустооптоелектронний та канал високочастотного нав'язування

Фізичний механізм акустооптоелектронних каналів витоку інформації полягає в наступному. На ОІД, де озвучується інформація, під впливом небезпечного акустичного сигналу знаходяться усі предмети. Деякі предмети, що мають оптичні властивості віддзеркалення, приводяться до вібрації. Такими предметами є скло вікон, дзеркала тощо. Вібрація таких предметів пов'язана з коливанням їх поверхні. Якщо із зовні на поверхню скла або дзеркала, що вібрують, спрямувати лазерний промінь, то він відіб'ється від поверхні у вигляді модульованого променя (модуляція відбувається небезпечним акустичним сигналом). Відбитий модульований небезпечним акустичним сигналом лазерний промінь може бути перехоплений ЗТР зловмисника. В подальшому зазначений відбитий промінь демодулюють і виділяють потрібний акустичний сигнал. Запобігання витоку інформації акустооптоелектронними каналами досягається такими способами: використання вакуумних та інших захищених вікон; матування у вікнах зовнішньої поверхні скла; використання вібраційного зашумлення зазначених конструкцій.

Канали високочастотного (ВЧ) нав'язування для зняття мовної інформації утворюються наступним чином. Якщо на струмопровідні елементи ТЗС або на лінії електроживлення чи заземлення

впливати ВЧ електромагнітним полем (первинним ВЧ сигналом), то в них виникатимуть електричні ВЧ струми (рис. 2). Якщо одночасно зазначений струмопровідний елемент знаходитиметься під дією акустичного тиску (викликаного небезпечним акустичним сигналом на ОІД) і вібруватиме, то в ньому відбуватимуться коливання власного електричного опору та здійснюватиметься його модуляція ВЧ струмом.

Такий струмопровідний елемент буде випромінювати модульований ВЧ сигнал (модуляція здійснюється небезпечним акустичним сигналом), який може поширюватися за межі КЗ та бути перехопленим ЗТР зловмисника. В подальшому, досліджуючи різницю між первинним і відбитим модульованим ВЧ сигналами, отримують інформацію про небезпечний акустичний сигнал. Запобігання витоку інформації каналами ВЧ нав'язування для зняття мовної інформації досягається наступними способами: використання просторового електромагнітного зашумлення ОІД на частотах ВЧ випромінювання; індикація, сигналізація поля ВЧ випромінювання, тобто виявлення зазначеного випромінювання.

Висновки

Таким чином, технічні канали витоку акустичної інформації поділяються на п'ять типів: акустичні, акустовібраційні, акустоелектричні, акустооптоелектронні та канали високочастотного нав'язування для зняття мовної інформації. Розглянуто фізичні механізми створення зазначених каналів витоку акустичної інформації. Зокрема, акустичні та акустовібраційні канали утворюються в наслідок поширення акустичних хвиль в дифузійному та пружному середовищах відповідно. Акустоелектричні канали витоку інформації утворюються в наслідок паразитного перетворення акустичних сигналів в електричні на елементах електронних приладів, що розташовані на об'єкті інформаційної діяльності. Акустооптоелектронні канали утворюються шляхом дистанційного зняття лазерними засобами вібраційних коливань поверхонь інженерних або будівельних конструкцій, що спричинені акустичним полем. Канали високочастотного нав'язування утворюються в наслідок випромінювання струмопровідними елементами модульованого високочастотного сигналу.

В залежності від типу технічного каналу витоку акустичної інформації використовуються ті чи інші засоби захисту від них. Зокрема, спільним засобом захисту для усіх зазначених каналів витоку акустичної інформації є використання акустичного, вібраційного та лінійного зашумлення на об'єкті інформаційної діяльності.

В подальшому планується дослідження фізичних механізмів створення електромагнітних каналів витоку інформації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Humeniuk, I., Kosterev, D., Sheihas, V. (2024). Method of optimizing the blocking means number of acoustic information leakage channels at information activity object. *Ukrainian Scientific Journal of Information Security*, vol. 30, № 2, pp. 288-298. Doi: <https://doi.org/10.18372/2225-5036.30.19241>.

2. Аль-Амморі А.Н., Дехтяр М.М., Іщенко Р.М., Клочан А.С. Методи та засоби захисту інформації. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*. 2024. № 1. С. 38-44. Doi: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2024.1.038>
3. Попович Н.І. Фізичні основи утворення технічних каналів витоку інформації. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Фізика*. 2015. Випуск 37. С. 154-160. URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/15861/1/>
4. Kornienko, V., Kruchinin, O., Pliets, O., Herasina, O., Timofieiev, D. (2021). Cyberphysical modeling system for protection of acoustic information from leakage by optoelectronic channel. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, № 2, pp. 19-25. Doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2021-2-3>
5. Котенко А.М. Запобігання витоку інформації з обмеженим доступом матеріально-речовим каналом за рахунок використання систем відеоспостереження. *Сучасний захист інформації*. 2017. №1. С. 48-52. URL: <https://journals.dut.edu.ua/index.php/dataprotect/article/view/1411/1344>
6. Mozhaiev, M., Mozhaiev, O., Gnusov, Y., Strukov, V., Klimushin, P., Yevstrat, D. (2023). Analysis of acoustic information protection methods in critical applications. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, № 1 (23), pp. 96-107. Doi: <https://doi.org/10.30837/ITSI.2023.23.096>
7. Serkov, A., Breslavets, V., Breslavets, J., Yakovenko, I., Yatsenko, I. (2024). Influence of pulse electromagnetic radiation on performance of electric radio products. *Control, Navigation and Communication Systems*, № 1, pp. 201-205. Doi: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2024.1.201>
8. Sydorkin, P., Nesterenko, S., Salnyk, S., Konotopets, M., Kulynich, O., Smolkov, O. (2021). Methods and techniques of protecting information from leakage by technical channels via side electromagnetic radiation. *Political Science and Security Studies Journal*, vol.2, № 3, pp. 16-25. Doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5534847>
9. Технічні канали витоку інформації. Порядок створення комплексів технічного захисту інформації / С.О. Іванченко, О.В. Гавриленко, О.А. Липський, А.С. Шевцов. – К.: ІСЗІ НТУУ «КПІ», 2016. – 104 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/15155>

Received (Надійшла) 15.05.2025

Accepted for publication (Прийнята до друку) 06.08.2025

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Аль-Амморі Алі Нурддинович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, Національний транспортний університет, Київ, Україна;

Ali Al-Ammouri – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Information Analysis and Information Security, National Transport University, Kyiv, Ukraine;

e-mail: ammourilion@ukr.net; ORCID Author ID: <http://orcid.org/0000-0002-0375-6108>;

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57193071217>.

Іщенко Руслан Миколайович – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, Національний транспортний університет, Київ, Україна;

Ruslan Ishchenko – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Information Analysis and Information Security, National Transport University, Kyiv, Ukraine;

e-mail: rm_ishchenko@ukr.net; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0003-0158-4020>;

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24774554000>.

Дяченко Петро Васильович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук та системного аналізу, Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна;

Petro Dyachenko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Computer Science and System Analysis, Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine;

e-mail: p.dyachenko@chdtu.edu.ua; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0001-8475-5854>;

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57193452357>.

Німич Іван Олександрович – студент магістратури кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, Національний транспортний університет, Київ, Україна;

Ivan Nimych – Master's Student of Department of Information Analysis and Information Security, National Transport University, Kyiv, Ukraine;

e-mail: in7264@gmail.com; ORCID Author ID: <http://orcid.org/0009-0001-1878-7783>.

Physical mechanisms of creation of technical leakage channels acoustic information

Ali Al-Ammouri, Ruslan Ishchenko, Petro Dyachenko, Ivan Nimych

Abstract. Relevance. Physical processes occurring in technical devices and systems create side electromagnetic and acoustic radiation in the surrounding space. Accordingly, to develop effective methods and means of information protection, it is necessary to understand the physical foundations of the creation of the specified side radiation. **Object of research:** physical processes leading to the appearance of technical channels of acoustic information leakage. **Purpose of the article:** to consider the physical mechanisms of creating technical channels of acoustic information leakage and measures to prevent these information leaks. **Research results.** The work revealed that acoustic and acousto-vibrational channels of information leakage are formed as a result of the propagation of acoustic waves in diffusive and elastic environment, respectively. Acoustoelectric channels of information leakage are formed as a result of the parasitic transformation of acoustic signals into electric ones on the elements of electronic devices. Acousto-optoelectronic channels are formed by removing the surface's oscillations of engineering or building constructions. Channels of high-frequency binding are formed as a result of radiation by conductive elements of a modulated high-frequency signal. **Conclusions.** Thus, the physical mechanisms of creating technical channels for the leakage of acoustic information at the object of information activity were clarified and means of protection against them were considered. In particular, a common means of protection for all these channels of acoustic information leakage is the use of acoustic, vibration and linear noise at the object of information activity.

Keywords: physical mechanism, information protection, technical channel, information leakage, acoustic wave.