

## Дослідження ефективності системи акустичного зашумлення від витоку акустичної інформації

Валентин Романюк<sup>[0009-0004-8965-3098]</sup>

Артем Платоненко<sup>[0000-0002-2962-5667]</sup>

Київський столичний університет імені Бориса Грінченка, Україна

**Анотація.** У роботі проведено експериментальне дослідження ефективності системи активного акустичного зашумлення (СААЗ) для захисту мовної інформації від витоку віброакустичним каналом. На модельному стенді, що імітує типові умови, було продемонстровано, що без активного захисту словесна розбірливість мови за межами приміщення становить 97%. Застосування СААЗ дозволило знизити цей показник до 9%, що підтверджує високу ефективність системи та її відповідність нормативним вимогам технічного захисту інформації.

**Ключові слова:** технічний захист інформації, віброакустичний канал, активне зашумлення, розбірливість мови.

## Research into the effectiveness of an acoustic noise suppression system against acoustic information leakage

Valentyn Romaniuk<sup>[0009-0004-8965-3098]</sup>

Artem Platonenko<sup>[0000-0002-2962-5667]</sup>

Borys Grinchenko Kyiv Metropolitan University, Ukraine

**Abstract.** The paper presents an experimental study of the effectiveness of the active acoustic noise suppression system (AAS) for protecting speech information from leakage through a vibroacoustic channel. On a model stand simulating typical conditions, it was demonstrated that without active protection, speech intelligibility outside the room is 97%. The use of AAS allowed to reduce this figure to 9%, which confirms the high effectiveness of the system and its compliance with regulatory requirements for technical information protection.

**Keywords:** technical information protection, vibroacoustic channel, active noise reduction, speech intelligibility.

### Вступ

Актуальність теми зумовлена критичною важливістю захисту мовної інформації в сучасному світі та поширенням високочутливих засобів технічної розвідки, здатних перехоплювати акустичні коливання через огорожувальні конструкції будівель. Віброакустичний канал витоку є одним з найбільш небезпечних, оскільки не вимагає фізичного доступу до приміщення, що захищається, і може бути реалізований через стіни, вікна, інженерні комунікації [1, 2].

Наукова новизна роботи полягає у проведенні комплексного моделювання експерименту та кількісної оцінки ефективності СААЗ для типової монолітної залізобетонної конструкції. На основі експериментальних даних уточнено залежність

нормативних показників захищеності від параметрів системи зашумлення, що підвищує точність прогнозування ефективності захисту на етапі проектування.

Метою дослідження є кількісна оцінка ефективності сучасної системи активного акустичного зашумлення для блокування віброакустичного каналу витоку.

Об'єктом дослідження є процес поширення мовної інформації у віброакустичному каналі та процес її маскування завадою.

Предметом дослідження є ефективність СААЗ, що оцінюється за критеріями зниження розбірливості мови.

Завданням для даного дослідження є: аналіз теоретичних засад, розробку методики експерименту, проведення вимірювань рівнів сигналу та завади, розрахунок показників захищеності та формулювання висновків і рекомендацій.

## Методи та моделі

Дослідження ґрунтується на аналізі фізичних механізмів формування віброакустичного каналу витоку інформації, який виникає внаслідок перетворення акустичної енергії мовного сигналу в механічні коливання огорожувальних конструкцій [3–6]. Попередні дослідження підтверджують, що ефективність цього каналу залежить від маси, жорсткості та герметичності конструкцій, причому пасивних методів захисту (звукоізоляції) часто буває недостатньо [7, 8].

Активні методи, зокрема застосування СААЗ, передбачають генерацію маскуючої завади, яка робить неможливим виділення корисного сигналу. Ефективність таких систем оцінюється за нормативними критеріями, встановленими в Україні (НД ТЗІ), що базуються на акустичному показнику – розбірливості мови.

В основі методики лежить інструментально-розрахунковий формантний метод оцінки, регламентований НД ТЗІ 2.3-017-08 «Методика контролю захищеності мовної інформації від витоку акустичним та віброакустичним каналами» [9]. Ключовим фізичним параметром є відношення сигнал/шум (SNR), що розраховується в п'яти октавних смугах частот (250, 500, 1000, 2000, 4000 Гц). На його основі обчислюється інтегральний індекс артикуляції ( $R$ ) за формулою:

$$R = \sum_{i=1}^5 W_i L_i \quad (1)$$

де  $W_i$  – вагові коефіцієнти значущості кожної октавної смуги для розбірливості мови, а  $L_i$  – коефіцієнт сприйняття, що є функцією від SNR в цій смузі:

$$L_i = \begin{cases} 0, & SNR_i \leq -15\text{дБ} \\ \frac{SNR_i + 15}{30}, & -15\text{дБ} < SNR_i < +15\text{дБ} \\ 1, & SNR_i \geq +15\text{дБ} \end{cases} \quad (2)$$

Далі, за допомогою стандартних емпіричних кривих, значення індексу артикуляції  $R$  перераховується в кінцевий критерій – словесну розбірливість ( $W$ , %).

Для проведення дослідження було змодельовано експериментальний стенд: приміщення для переговорів, огорожене монолітною залізобетонною стіною товщиною 200 мм. Всередині приміщення розміщувалось джерело тестового сигналу ("рожевий шум" з рівнем звукового тиску 70 дБ), а на внутрішню поверхню стіни монтувались вібровипромінювачі СААЗ (PIAC–2ВП, PIAC–2ГС), що генерували мовленнєво подібний шум. Вимірювання рівнів віброприскорення сигналу ( $L_s$ ) та завади ( $L_n$ ) проводились на зовнішній поверхні стіни за допомогою прецизійного акселерометра та аналізатора спектра.

## Результати

Перед проведенням дослідження було виміряно індекс артикуляції ( $R$ ) та словесну розбірливість ( $W$ ) у приміщенні при вимкненій СААЗ. За результатами розрахунку отримано, що  $R = 0.85$ , що відповідає словесній розбірливості  $W \approx 97\%$ .

Це свідчить про те, що без застосування СААЗ розбірливість мовлення через огорожувальну конструкцію є дуже високою, тобто можливий витік мовної інформації за межі приміщення. Тепер проведемо обрахунки при увімкненій СААЗ та отримаємо дані про рівні віброприскорення в контрольній точці на зовнішній поверхні стіни. Узагальнені результати вимірювань та розрахунків наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Вимірювання значень дослідів

| Частота, Гц | Рівень сигналу $L_s$ , дБ | Рівень завади, $L_n$ , дБ | Відношення сигнал/шум, SNR, дБ | Вагові коефіцієнти, $W_i$ | Коефіцієнт сприйняття, $L_i$ |
|-------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| 250         | 38                        | 52                        | -14                            | 0,113                     | 0.0333                       |
| 500         | 35                        | 48                        | -13                            | 0,205                     | 0.0667                       |
| 1000        | 29                        | 41                        | -12                            | 0,207                     | 0.1                          |
| 2000        | 21                        | 35                        | -14                            | 0,275                     | 0.0333                       |
| 4000        | 14                        | 29                        | -15                            | 0,200                     | 0                            |

Після вмикання СААЗ, за тих самих умов експерименту, індекс артикуляції знизився до  $R = 0.0473 \approx 0.05$ , що відповідає словесній розбірливості  $W \approx 9\%$ .

## Обговорення

Отримані результати наочно демонструють критичну різницю в стані захищеності об'єкта до та після застосування активних засобів захисту, які наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Оцінка станів захищеності об'єкта

| Стан системи захисту | Індекс артикуляції $R$ | Словесна розбірливість $W$ , % | Висновок про захищеність |
|----------------------|------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| СААЗ вимкнено        | 0,85                   | 97                             | Захист відсутній         |
| СААЗ увімкнено       | 0,05                   | 9                              | Захист забезпечено       |

Результат у 97% розбірливості за відсутності СААЗ, незважаючи на масивну бетонну стіну, підтверджує висновки інших дослідників про недостатність виключно пасивних методів захисту. Кардинальне падіння розбірливості до 9% після активації системи пояснюється тим, що СААЗ створює настільки інтенсивну заваду, що відношення сигнал/шум опускається значно нижче, що значно ускладнює розбірливість та сприйняття мови.

Слід зазначити, що дане дослідження є моделюванням і проводилось для конкретного типу конструкції (монолітний залізобетон 200 мм). Ефективність системи для інших типів конструкцій (наприклад, цегляна кладка, легкі перегородки) може відрізнятися і потребує окремих досліджень.

## Висновки

Проведене дослідження дозволило кількісно оцінити ефективність системи активного акустичного зашумлення. Встановлено, що за відсутності активного захисту

віброакустичний канал через монолітну залізобетонну стіну товщиною 200 мм дозволяє перехоплювати мовну інформацію з розбірливістю 97%. Застосування СААЗ забезпечує зниження словесної розбірливості до 9%, що є значно нижчим за нормативне порогове значення (15%) і гарантує надійний захист інформації. Таким чином, доведено, що сучасні системи активного зашумлення є високоефективним та необхідним компонентом комплексної системи технічного захисту інформації на об'єктах інформаційної діяльності.

Майбутні дослідження можуть бути спрямовані на вивчення ефективності адаптивних систем зашумлення, які динамічно змінюють параметри завади залежно від характеристик інформативного сигналу.

## Подяки та гранти

Результати наукових досліджень були виконані в рамках науково-дослідної роботи: «Методи та моделі забезпечення кібербезпеки інформаційних систем переробки інформації та функціональної безпеки програмно-технічних комплексів управління критичної інфраструктури» (№ 0122U200483, КСУБГ, м. Київ).

## Джерела

1. Гуменюк, І., Костерев, Д., & Шейгас, В. (2024). Методика оптимізації кількості засобів блокування каналів витоку акустичної інформації на об'єкті інформаційної діяльності. *Ukrainian Scientific Journal of Information Security*, 30(2), 289–296. <https://doi.org/10.18372/2225-5036.30.19241>
2. Danilov, V. V., & Kotenko, A. M. (2020). Directions of protection of acoustic information on the object of information activity. *Modern Information Security*, 44(4). <https://doi.org/10.31673/2409-7292.2020.041822>
3. Sarampalis, A., Kalluri, S., Edwards, B., & Hafter, E. (2009). Objective Measures of Listening Effort: Effects of Background Noise and Noise Reduction. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 52(5), 1230–1240. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2009/08-0111\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2009/08-0111))
4. Романюк, В., & Платоненко, А. (2025). Аналіз якості генераторів рожевого шуму. Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка», 1(29), 789–799. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2025.29.940>
5. Лізунов, С., & Філобок, Є. (2022). Удосконалена система активного придушення звуку. *Ukrainian Information Security Research Journal*, 23(4), 221–225. <https://doi.org/10.18372/2410-7840.23.16768>
6. Романюк, В., & Платоненко, А. (2025). Аналіз якості генераторів рожевого шуму. Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка», 1(29), 789–799. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2025.29.940>
7. Ликов, Ю. В., Морозова, Г. Д., & Кукуш, В. Д. (2017). Influence of features of information leakage channels on intelligibility of eavesdropped voice messages. *Technology Audit and Production Reserves*, 1(2(33)), 4–8. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.90571>
8. Prodeus, A. M., Bukhta, K. V., Morozko, P. V., Serhiienko, O. V., Kotvytskyi, I. V., & Dvornyk, O. O. (2018). Automated Subjective Assessment of Speech Intelligibility in Various Listening Modes. *Microsystems, Electronics and Acoustics*, 23(3), 49–57. <https://doi.org/10.20535/2523-4455.2018.23.3.130367>
9. Методика контролю захищеності мовної інформації від витоку акустичним та віброакустичним каналами [Текст]: НД ТЗІ 2.3-017-08. [Чинний від 2008-08-26]. – К., 2008. – 18 с. – (Нормативний документ системи технічного захисту інформації).