

*Горбатій Б.М., Садченко А.В.**Національний університет «Одеська політехніка»***ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМУ ЗАХИСТУ  
АКУСТИЧНОГО КАНАЛУ ВИТОКУ ІНФОРМАЦІЇ**

**Вступ.** У сучасних інформаційно-комунікаційних системах дедалі більшої актуальності набуває проблема захисту інформації від несанкціонованого доступу через технічні канали витоку. Одним із найбільш небезпечних та складних для виявлення є акустичний канал, який виникає внаслідок перетворення вібраційних або мовних коливань у відновлювану інформацію. Використання високочутливих мікрофонів, лазерних віброметрів або побічних акустичних випромінювань дозволяє зловмисникам здійснювати перехоплення конфіденційних даних навіть без прямого доступу до об'єкта.

Традиційні методи акустичного захисту, такі як пасивне екранування, акустичне маскування або генерація шумових сигналів мають обмежену ефективність, оскільки не враховують динамічні зміни умов середовища, частотний спектр мовних сигналів та рівень завад. У зв'язку з цим виникає потреба у створенні адаптивних алгоритмів, здатних в реальному часі змінювати свої параметри відповідно до характеристик акустичного простору та типу виявленої інформаційної загрози.

Запропонований у даній роботі підхід ґрунтується на адаптивній обробці акустичних сигналів з використанням фільтрації та генерації компенсаторних шумів, спрямованих на мінімізацію можливості реконструкції мовної інформації. Розроблений алгоритм дозволяє автоматично підлаштовувати рівень і спектральну структуру шуму під поточні умови, забезпечуючи баланс між ефективністю захисту та акустичним комфортом у приміщенні.

**Мета:** імплементація та дослідження адаптивного алгоритму захисту акустичного каналу витоку інформації, який забезпечує підвищення стійкості системи до відновлення мовного сигналу сторонніми засобами. Для досягнення цієї мети проаналізовано існуючі методи акустичного захисту, розроблено модель адаптивної фільтрації, а також проведено експериментальну перевірку ефективності запропонованого рішення.

**Основна частина**

Розглянемо основні риси мовного сигналу, що відрізняє його від випадкових шумів [1]. Мовний сигнал має низку характерних ознак, які дозволяють відрізнити його від випадкових шумів як у часовій, так і у частотній областях. На відміну від шуму, що зазвичай має стохастичний або рівномірний розподілений спектральний характер, мовлення є складним, але структурованим процесом, зумовленим фізіологічними особливостями артикуляційного апарату людини.

По перше мовний сигнал не є повністю випадковим - він формується послідовністю фонем, які мають визначену тривалість і акустичні параметри. На коротких інтервалах (10–30 мс) мовлення можна вважати квазістаціонарним, що

дає можливість застосовувати спектральні методи аналізу.

Мовний сигнал має властивості періодичності та гармонічності. Так у голосних звуках спостерігається виражена періодичність, пов'язана з коливанням голосових зв'язок. Це проявляється у вигляді чіткої гармонічної структури спектра, де присутня основна частота та її кратні гармоніки. Шумові компоненти, навпаки, мають неперіодичний і нерегулярний характер [1].

Мовний сигнал має формантну структуру, тобто для мовного сигналу характерна наявність спектральних максимумів, які визначають артикуляційні особливості звуків. Розташування формант (зазвичай 3–4 основні) залишається стабільним у межах певної фонемі, що дає змогу ефективно відокремлювати мовлення від шуму у частотній області.

Інтенсивність, частота та енергетичний розподіл мовного сигналу змінюються у часі відповідно до мовленнєвого потоку. У той час як шум, особливо білий або техногенний, часто має постійний або повільно змінний рівень енергії.

Мовлення містить паузи між словами або фразами, що чергуються з активними ділянками сигналу. Ця ритмічна структура суттєво відрізняє мовлення від безперервного шумового процесу.

Для мовного сигналу характерний нерівномірний спектральний розподіл енергії при якому більшість енергії мовного сигналу зосереджена у діапазоні 300–3400 Гц, тоді як шум може мати ширший або рівномірний спектр. Ця особливість дозволяє застосовувати фільтрацію та спектральне маскування для виділення мовлення.

Мовний сигнал характеризується високим рівнем автокореляції на коротких інтервалах часу, що відображає його внутрішню упорядкованість. Для шуму автокореляційна функція близька до дельта-функції, тобто спостерігається відсутність зв'язку між сусідніми відліками.

В запропонованому алгоритмі зашумлення мовного сигналу шум генерується як випадковий сигнал, який підпорядковується нормальному закону розподілу. Для кожної вибірки, шум обчислюється наступним чином:

$$n(t) = A \cdot N(0,1), \quad (1)$$

де  $A$  – амплітуда шумового впливу, що дорівнює максимальній амплітуді формант мовного сигналу,

$N(0,1)$  – білий Гаусовський шум із нульовим математичним очікуванням;

Шум додається до завантаженого аудіо сигналу. Перед додаванням, амплітуда шуму масштабується, щоб відповідати заданому співвідношенню сигнал/шум (SNR) з урахуванням максимальної амплітуди формант мовного сигналу.

Для коректної роботи алгоритму, спочатку, обчислюється потужність сигналу та потужність шуму:

$$P_{\text{сигналу}} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N x^2(t) \quad (2)$$

де  $x(t)$  – вихідний аудіосигнал;

$n(t)$  – шум,  $N$  – кількість відліків;

Далі, обчислюється необхідна потужність шуму на основі заданого SNR за наступними формулами:

$$SNR_{dB} = 10 \lg \left( \frac{P_{\text{сигналу}}}{P_{\text{н.ш}}} \right), \quad (3)$$

$$P_{\text{н.ш}} = \frac{P_{\text{сигналу}}}{10^{\frac{SNR_{dB}}{10}}}, \quad (4)$$

де  $P_{\text{сигналу}}$  – потужність сигналу,

$P_{\text{н.ш}}$  – потужність необхідного шуму,

$SNR_{dB}$  – відношення сигнал/шум, що представлено в децибелах.

Для попередньої фільтрації аудіофайлу використовується фільтр низької частоти із максимально пласкою характеристикою, що апроксимується поліномом Баттерворта [3].

Для розгляду роботи програми було використано аудіофайл у форматі wav довжиною 73 секунди. Ця довжина аудіофайлу не є стандартизованою і може обиратись будь-якою. Але, для коректної роботи програми, довжина аудіофайлу повинна бути достатньою, щоб здійснити всі необхідні перетворення файлу [2].

Накладання шуму відбувається за рахунок варіювання показника  $SNR_{dB}$ . Для дослідів, було обрано динамічний діапазон корисного сигналу від -40 до 40 dB. Результати оцінки якості звуку в залежності від показника SNR (таблиця 1):

Таблиця 1 – Оцінка якості звуку в залежності від показника SNR

SNR(dB)	Рівень шуму (dB)	Розбірливість мови (%)	Суб'єктивне сприйняття мови
-40 – -30	>50	<60	Аудіофайл повністю перекривається шумом, не можна ідентифікувати оригінальний звук
-30 – -20	25-50	60-70	Оригінальний звук майже повністю спотворений шумом
-20 – -10	10-25	70-80	Рівень шуму дозволяє ідентифікувати оригінальний звук, але з досить невеликим значенням точності
-10 – 0	5-10	80-90	Рівень шуму знижений, оригінальний звук ідентифікується більш чітко
0-10	1-5	90-100	Рівень шуму залишається помітним, але недостатнім для перешкоджання ідентифікації оригінального звуку

Динамічний діапазон показує, яким чином зростає якість звуку при збільшенні SNR. Для демонстрації роботи програми варто навести кілька прикладів при різних значеннях параметрів. Розглянемо результат обробки аудіофайлу при наступних параметрах: SNR=0 дБ, нижня частота 195 Гц, верхня частота 8192 Гц, Амплітуда 0,5 В. Результати моделювання зображені на рисунку 1. Після оброблення, вихідний сигнал втрачає вигляд чітко сегментованої структури і не може бути розпізнаний за допомогою алгоритмів формантного аналізу мови.

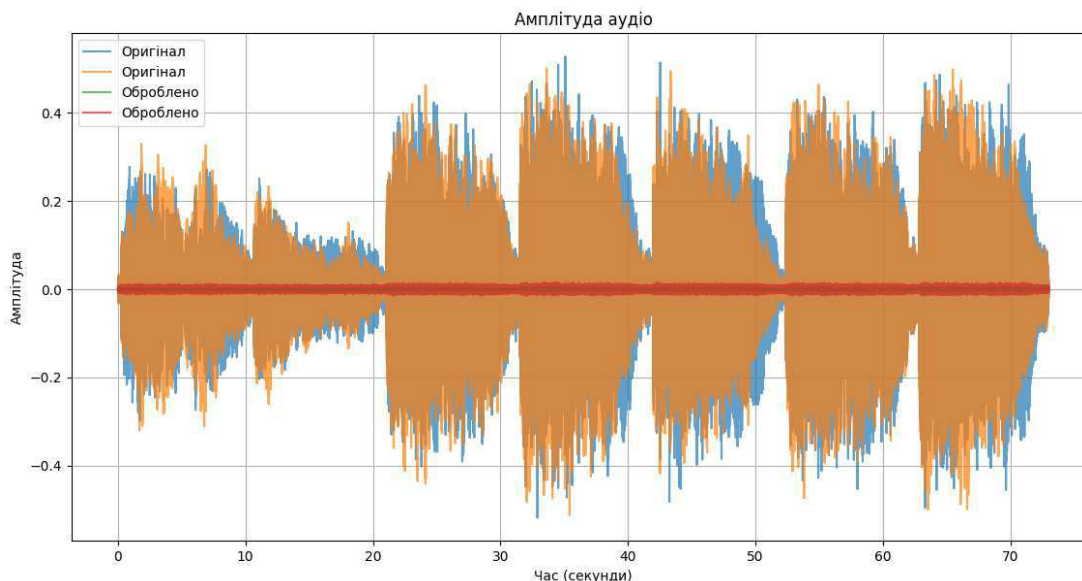


Рисунок 1 - Результати моделювання

**Висновок.** У роботі розглянуто способи захисту акустичного каналу витoku інформації шляхом генерації адаптивного шуму. Проаналізовано етапи обробки сигналу - параметризацію, сегментацію, фільтрацію та маскування шумом.

Реалізований підхід базується на використанні математичних моделей що дозволяють розраховувати потужність сигналу, шуму та формувати ефективний рівень маскування. Застосування фільтра Баттерворта забезпечує очищення сигналу від небажаних складових.

Розроблений алгоритм дає змогу підвищити рівень захисту інформації, зменшуючи ризик її перехоплення через акустичний канал. Поставлена мета роботи досягнута.

#### **Перелік використаних джерел.**

1. Методи та засоби технічного захисту інформації. [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Системи технічного захисту інформації» спеціальності 125 «Кібербезпека» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В. М. Луценко, Д. О. Прогонов., 2021 – URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/42397>

2. Lukmanova O., Horev A.A., Vorobeyko E., Volkova E.A. Research of the analog and digital noise generators characteristics for protection device // Proc. of the IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, (EIConRus), 2020. P. 2093–2096. <https://doi.org/10.1109/EIConRus49466.2020.9039193>

3. Полотай О.В., Мороз Ю.О., Великий В.П. Методи технічного захисту інформації у сфері інформаційної безпеки. Інформаційна безпека інформаційні технології: Збірник тез доповідей IV Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, студентів і курсантів. Львів, 2020. С. 40-41.