

УДК 621.391:004.93

## **РОЗРОБКА ТА АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ ЛАНЦЮГІВ ДЛЯ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ У ЦИФРОВИХ СИСТЕМАХ**

Бібік С. М.

e-mail: [serhii.bibik@nure.ua](mailto:serhii.bibik@nure.ua)

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МЕЕПШ  
м. Харків, Україна

In modern digital systems, signal processing plays a key role in ensuring the accuracy and efficiency of technologies. One of the main tasks is noise filtering, which enhances signal quality and extracts useful information. This paper examines spectral subtraction as a noise reduction method, particularly its application to audio signals. The use of Fourier Transform (FFT/STFT), adaptive and bandpass filters, as well as the Wiener filter, is described. The advantages of spectral subtraction, especially its effectiveness for stationary noise, are highlighted, along with its limitations related to artifacts and non-stationary noise.

У сучасних цифрових системах обробка сигналів є ключовим етапом, що визначає ефективність і точність роботи різноманітних пристроїв і технологій. Метою роботи є аналіз цифрових методів шумоподавлення в системах обробки сигналів, зокрема спектральне віднімання, адаптивні та смугові фільтри, а також фільтр Вінера. Особливу увагу приділено ефективності та обмеженням спектрального віднімання, його застосуванню у системах з двома мікрофонами та порівнянню з іншими методами шумозаглушення.

Цифрові фільтри для аналізу сигналів у частотній області зазвичай використовують перетворення Фур'є (FFT або STFT). Перетворення Фур'є розкладають сигнал на суму синусоїдальних компонентів, що дозволяє ідентифікувати і придушувати шумові частоти, а також синтезувати очищений сигнал через зворотне перетворення. STFT [1].

При реалізації шумоподавлення сучасні пристрої використовують два мікрофони розташовані на відстані один від одного. Фільтр Вінера використовує властивості цих двох сигналів для отримання оцінок чистого мовлення. Потім обчислюється й мінімізується помилка, відома як середньоквадратична помилка (Mean Squared Error, MSE), щоб отримати найкращу оцінку чистого мовлення. Фільтрація Вінера є промисловим стандартом для динамічної обробки сигналів і широко використовується в слухових апаратах та інших зовнішніх пристроях, таких як телефони та пристрої зв'язку.

Адаптивний фільтр – це система з лінійним фільтром, яка складається з передатної функції, обмеженої змінними параметрами і засобу для налаштування цих параметрів відповідно до алгоритму оптимізації. Адаптивні лінійні фільтри мають властивість змінювати значення своїх

параметрів під час обробки вхідного сигналу, щоб генерувати сигнал на виході, вільний від небажаних компонентів, шумів, погіршень і сигналів перешкод.

Основним методом, у роботі буде розглянуто реалізацію алгоритму спектрального віднімання для шумозаглушення, спрямованого на покращення якості аудіосигналів. Цей метод обрано через його ефективність для придушення адитивних стаціонарних шумів, простоту реалізації в цифрових системах із використанням FFT/STFT, а також здатність мінімізувати артефакти при правильній оцінці спектру шуму. Це робить його ідеальним для практичного застосування в умовах шумового фону. Однак спектральне віднімання має обмеження: воно менш ефективне для нестаціонарних або динамічних шумів, може створювати "музичні" артефакти при неточній оцінці шуму і залежить від якості апаратного забезпечення для точного вимірювання шуму [2].

У порівнянні з іншими методами, такими як адаптивні фільтри, спектральне віднімання простіше в реалізації, але поступається у здатності адаптуватися до змінних умов. Смугові фільтри, хоча й ефективні для фіксованих частотних діапазонів але менш гнучкі для складних шумів із перекриванням спектрів сигналу і шуму. Таким чином, спектральне віднімання обрано як основний метод через його баланс між ефективністю, простотою і придатністю для стаціонарних шумів у системах із двома мікрофонами, доповнюючи його іншими підходами для вирішення специфічних обмежень. Алгоритм спектрального віднімання складається з наступних етапів: розкладання сигналу за допомогою короткочасного перетворення Фур'є (STFT) - оцінка спектру шуму - віднімання амплітудного спектра шуму з амплітудного спектра сигналу - зворотне перетворення STFT.

У роботі проаналізовано цифрові методи шумоподавлення аудіосигналів, зокрема спектральне віднімання, адаптивні фільтри, смугові фільтри та фільтр Вінера. Реалізація спектрального віднімання для реального часу з використанням двох мікрофонів продемонструвала ефективність придушення стаціонарних шумів, забезпечуючи покращення якості звуку для практичного застосування.

#### Список використаних джерел:

1. Самборський І.І., Шолохов С.М., Юрченко О.В., Ніколаєнко Б.А., Основи цифрової обробки сигналів: навчальний посібник. Київ: ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 171 с.
2. Бондаренко І. М. Електронні системи: навч. посібник / І. М. Бондаренко, О. В. Глухов, О. О. Кравчук ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. Харків : ХНУРЕ. 2019. - 240 с.