

УДК 343.98;534.84

DOI: <https://doi.org/10.32631/v.2025.3.15>

Олександр Сергійович Татьянченко,

Харківський науково-дослідний

експертно-криміналістичний центр МВС України,

відділ досліджень у сфері інформаційних технологій,

сектор дослідження звуко- та відеозапису (судовий експерт);



<https://orcid.org/0009-0008-4602-8363>,

e-mail: oleksandr.tatyanchenko@gmail.com

ВПЛИВ ФІЛЬТРУВАННЯ НА ОБЧИСЛЕННЯ АКУСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРИСНОГО МОВЛЕННЕВОГО СИГНАЛУ

У статті досліджено вплив фільтрування на акустичні характеристики мовленнєвих сигналів у контексті судової експертизи відео- та звукозапису. Проаналізовано етапи обробки сигналів, типи фільтрів та їхній вплив на такі параметри, як частота основного тону, форманти, спектральна структура й динаміка. Особливу увагу приділено специфіці судової практики, де фільтрування застосовується винятково для підготовчого прослуховування, а ідентифікація ґрунтується на необробленому сигналі. Визначено межі застосування різних типів фільтрів (низькочастотних, високочастотних, смугових) та їхній вплив на точність експертних висновків. Запропоновано алгоритм використання фільтрації з чітким розмежуванням між етапами первинної обробки та експертного аналізу з метою збереження автентичності доказів.

Ключові слова: мовленнєві сигнали, фільтрація, шумозаглушення, параметризація, судова експертиза, акустичні характеристики, основний тон, форманти.

Оригінальна стаття

Постановка проблеми

У сфері судової експертизи відео- та звукозаписів існує фундаментальне протиріччя між необхідністю поліпшення якості звучання мовленнєвих сигналів для чіткого сприйняття змісту та вимогою збереження автентичності їхніх акустичних характеристик задля достовірної ідентифікації диктора. Фільтрування як метод обробки дає змогу усунути небажані шуми та підвищити розбірливість мовлення, однак водночас впливає на базові параметри сигналу, зокрема частотний спектр, форманти та основний тон.

Проблема полягає у відсутності чіткого розуміння ступеня та характеру впливу різних типів фільтрів на акустичні характеристики мовленнєвого сигналу, що може призводити до спотворення результатів експертизи. Особливо гостро це питання постає у випадках записів низької якості, здійснених в умовах інтенсивного фонового

шуму (наприклад, на вулиці, у транспорті чи громадських місцях), де без додаткової обробки сигналу розпізнавання змісту є утрудненим, але будь-яке втручання в запис потенційно змінює його ідентифікаційні характеристики.

Наявні методики фільтрування не враховують повною мірою специфіки судової експертизи, де вимоги до точності та об'єктивності аналізу є особливо високими. Це створює ризик помилкових висновків і вимагає розроблення збалансованого підходу, що дозволить використовувати переваги фільтрування без компрометації доказової цінності запису.

Стан дослідження проблеми

Питання обробки мовленнєвих сигналів у контексті судової експертизи активно досліджуються як в Україні, так і за кордоном. Загальні аспекти аналізу звукових сигналів розглядали Л. М. Щербак, Ю. В. Литвиненко та Ю. В. Погрібна, які зосередилися на сучасних методах аналізу мовлення, зокрема первинній обробці та шумозаглушенні [1]. Технічні особливості цифрової обробки аудіоінформації, зокрема використання фільтрів, досліджував О. В. Мороз, акцентуючи увагу на параметризації сигналів [2].

Утім, досі недостатньо вивченими залишаються конкретні механізми впливу фільтрування на акустичні характеристики мовленнєвих сигналів, а також межі допустимості такої обробки в умовах судової експертизи.

Мета і завдання дослідження

Метою статті є аналіз впливу фільтрування на акустичні характеристики мовленнєвих сигналів з урахуванням судових обмежень та з'ясування впливу таких змін на точність експертних висновків.

Завдання статті охоплюють:

- опис етапів обробки сигналів у судовій експертизі, зокрема первинної підготовки та сегментації;
- оцінювання впливу різних типів фільтрування (низькочастотного, високочастотного, смутового) на такі акустичні параметри, як частота основного тону (далі – ОТ) і форманти;
- визначення ролі фільтрування як допоміжного інструменту на підготовчому етапі без порушення цілісності сигналу для ідентифікації або верифікації.

Наукова новизна дослідження

Проведено систематичний аналіз впливу різних типів фільтрування (низькочастотного, високочастотного, смутового) на акустичні характеристики мовленнєвих сигналів у контексті судової експертизи відео- та звукозаписів. Запропоновано чітке розмежування ролі фільтрування як допоміжного інструменту для підготовчого прослуховування та

його неприпустимості для ідентифікаційних завдань, що враховує специфіку судових вимог до автентичності доказів. У межах дослідження вперше деталізовано ефекти фільтрів на частоту ОТ, форманти та спектральну структуру, визначено межі їх застосування з метою забезпечення об'єктивності експертних висновків.

Виклад основного матеріалу

Судова експертиза відео- та звукозаписів почала активно розвиватися у другій половині ХХ століття з появою аналогових магнітофонів, коли голосові записи стали визнаватися судами як докази. В Україні цей напрям набув особливого значення після 90-х років ХХ століття, коли зростання злочинності та доступність пристроїв для запису зумовили потребу в точних методах аналізу звуку. Сьогодні, з переходом на цифрові технології, обсяг і складність аудіодоказів значно зросли, що вимагає вдосконалення методик обробки сигналів.

Обчислення акустичних характеристик, таких як частота ОТ, форманти чи спектральний профіль, ускладнюється через шуми, спотворення та артефакти, що неминуче виникають під час запису в реальних умовах. Ці перешкоди можуть включати фонові звуки (шум транспорту, голоси інших осіб), технічні дефекти обладнання (перевантаження мікрофона) або природні чинники (вітер, дощ), що істотно знижують якість сигналу та ускладнюють його обробку.

Класифікація підходів до аналізу мовленнєвих сигналів у судовій експертизі. Аналіз мовлення залежить від типу сигналу: дискретне мовлення є рідкісним, тоді як неперервне є типовим для судових записів¹. Залежно від диктора методи аналізу поділяються на дикторозалежні, які враховують індивідуальні особливості голосу, та дикторонезалежні, що є стандартом у судовій експертизі через невідомість осіб, чий голос зафіксовано.

Обсяг даних може варіюватися – від обмеженого набору характеристик (наприклад, окремі слова) до повного спектра акустичних ознак. Водночас шум або часткова втрата запису часто знижують повноту аналізу.

Фільтрування впливає на:

- спектральну структуру – зміна частот полегшує сприйняття, але спотворює сигнал [3];

- основний тон – згладжування впливає на точність [4];

- форманти – зсуває частотні позиції [5].

Для ідентифікації аналіз проводять на необробленому сигналі.

Первинна обробка мовленнєвих сигналів у судовій експертизі. Первинна обробка спрямована на підготовку сигналу до аналізу без

¹ Фільтрація звуку // Вікіпедія : віл. енцикл. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Фільтрація_звуку (дата звернення: 08.06.2025).

його модифікації для цілей ідентифікації. Основною перешкодою є шуми – стаціонарні (стабільні за частотою) чи нестаціонарні (змінні в часі) [1]. Фільтрування може усунути ці перешкоди, але впливає на сам сигнал:

- спектральна щільність – видалення шумів звужує спектр, що полегшує прослуховування, але може призвести до втрати слабких мовленнєвих деталей [2];
- амплітудні характеристики – згладжування змінює інтенсивність звуку, впливаючи на сприйняття динаміки;
- тривалість сегментів – деформація меж фонем ускладнює їх розмежування¹.

У судовій практиці первинна обробка часто стикається з різноманітними джерелами шумів, такими як вуличний рух, побутові прилади чи технічні артефакти записувального обладнання. Наприклад, низькочастотний гул від автомобілів (50–200 Гц) може перекривати голосні звуки, тоді як високочастотний шум вентиляції (понад 4 000 Гц) ускладнює сприйняття приголосних. Для підготовчого прослуховування експерти можуть застосовувати цифрові фільтри, які частково усувають ці перешкоди, однак їхній вплив на сигнал потребує ретельного контролю [3]. Наприклад, під час видалення низькочастотного шуму голос диктора може здаватися неприродно тонким, що впливає на суб'єктивне сприйняття, але не впливає на об'єктивний аналіз. Такі зміни можуть бути корисними для уточнення змісту розмови, зокрема у випадках записів, здійснених у шумному громадському місці. Водночас вони є неприйнятними для ідентифікації, де важлива кожна деталь акустичного профілю. Сегментація на фонеми чи слова допомагає виокремити мовлення з шуму, але традиційні методи виявляються нестабільними в реальних умовах. Наприклад, у записах з накладанням кількох голосів (мовоподібний шум) ці методи можуть помилково визначати межі слів, що потребує додаткової верифікації експертом [4]. Акустичні ознаки – тональні (голосні), сонорні («й», «л», «р»), шумні («в», «з», «ф», «с») – аналізуються лише за оригінальним сигналом, щоб зберегти його автентичність.

Виокремлення вокалізованих і невокалізованих ділянок. Розподіл сигналу на вокалізовані (голосні, дзвінки приголосні) та невокалізовані (глухі та шиплячі приголосні) ділянки полегшує оцінювання структури мовлення [5]. У судовій практиці це корисно для прослуховування, але не для ідентифікації. Вокалізовані звуки мають періодичні коливання, а їхні форманти (F1: 150–850 Гц, F2: 500–2 500 Гц) відображають артикуляцію.

¹ Фільтрація звуку // Вікіпедія : віл. енцикл. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Фільтрація_звуку (дата звернення: 08.06.2025).

Фільтрування впливає на:

- форманти – очищення від шумів підвищує чіткість, але зсуває частоти, що може змінити сприйняття голосу;
- частоту ОТ – згладжування коливань деформує ОТ, впливаючи на класифікацію звуків;
- інтенсивність – виокремлення шумів підсилює вокалізовані ділянки, але послаблює невокалізовані.

Основний тон є ключовим для аналізу дикторів чи звуків, але в судовій експертизі його вимірювання проводять без фільтрування, щоб уникнути спотворень. Фільтрування застосовують лише для підготовки до прослуховування шумних записів.

Параметризація мовленнєвих сигналів. Параметризація виокремлює акустичні ознаки з необробленого сигналу, поділяючи його на вікна тривалістю в кілька мілісекунд [1]. У судовій практиці це робиться без фільтрування на етапі ідентифікації, але його ефекти на підготовчому етапі впливають на результати:

- кепстральні коефіцієнти – фільтрування стискає спектр, спрощуючи обчислення, але змінює частотний профіль;
- мел-коефіцієнти – згладжування шумів підвищує розбірливість, але деформує природний розподіл частот;
- спектральна значущість – фільтри прибирають другорядні компоненти, впливаючи на сприйняття (мел-шкала).

Вплив на характеристики:

- межі фонем – фільтрування уточнює сегментацію, але зсуває перехідні частоти [2];
- спектральний баланс – виокремлення шумів спрощує спектр, змінюючи співвідношення мовлення й фону;
- розбірливість – ентропія підвищує чіткість слів, але змінює акустичний профіль.

Типи фільтрів та їхній вплив на мовленнєвий сигнал. Фільтрування в обробці мовленнєвих сигналів реалізується за допомогою різних типів фільтрів, кожен з яких по-своєму впливає на акустичні характеристики¹.

У судовій експертизі їх застосовують для покращення можливості прослуховування, однак ефекти фільтрації важливі для розуміння меж їх використання.

1. Низькочастотні фільтри (*Low-Pass Filters*) (див. рис. 1). Принцип дії: лежать нижче заданого порогового значення (наприклад, 4 000 Гц), відсікаючи високочастотні компоненти [3].

¹ Фільтрація звуку // Вікіпедія : віл. енцикл. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Фільтрація_звуку (дата звернення: 08.06.2025).

Вплив:

- спектр – зменшення високочастотного шуму (наприклад, шипіння) зі збереженням низьких тонів; однак втрачаються деталі приголосних звуків («ф», «с», «ш»);

- основний тон – зазвичай зберігається, оскільки міститься в низькочастотному діапазоні (100–300 Гц), але згладжування сигналу може знизити точність;

- форманти – F1 і частково F2 залишаються вираженими, проте вищі форманти послаблюються, що ускладнює розрізнення голосних звуків [4].

Застосування: доцільне для усунення фонового гулу чи технічного шуму, що полегшує сприйняття мовлення [5].



Рис. 1. Низькочастотні фільтри

2. Високочастотні фільтри (*High-Pass Filters*) (див. рис. 2). Принцип дії: пропускають частоти, що перевищують заданий поріг (наприклад, 200 Гц), видаляючи низькочастотні компоненти.

Вплив:

- спектр – усуває низькочастотний гул (наприклад, вібрації), проте може послабити голосні звуки й основний тон;

- основний тон – інтенсивність знижується, оскільки низькі частоти частково відсікаються, що ускладнює аналіз мовлення диктора;

- форманти – F2 та вищі форманти зберігаються, тоді як F1 слабшає, що змінює артикуляційні ознаки [1].

Застосування: використовується для очищення запису від шуму транспорту чи вентиляції, сприяючи виразнішому сприйняттю приголосних звуків.



Рис. 2. Високочастотні фільтри

3. Смугові фільтри (*Band-Pass Filters*) (див. рис. 3). Принцип дії: пропускають частоти в заданому діапазоні (наприклад, 200–4 000 Гц), відсікаючи всі сигнали поза його межами.

Вплив:

- спектр – зберігає середньочастотний діапазон мовлення, усуваючи як низькочастотний гул, так і високочастотний шум, але крайні частоти втрачаються [2];

- основний тон – зберігається в межах пропускового діапазону, однак обрізання нижньої межі може знижувати його чіткість;

- форманти – F1 і F2 зазвичай залишаються в межах, але вищі форманти можуть бути втрачені, що впливає на повноту аналізу.

Застосування: ідеальний для виокремлення мовлення в шумному середовищі (наприклад, при вуличних записках), підвищує розбірливість слів.



Рис. 3. Смугові фільтри

Отже, кожен тип фільтра має свої особливості застосування в судовій експертизі. Наприклад, низькочастотні фільтри часто використовують для записів із сильним технічним шумом, наприклад гудіння кондиціонерів чи двигунів. У реальному випадку, коли запис розмови здійснювали в автомобілі, низькочастотний фільтр із порогом 3 000 Гц допоміг усунути вібраційний шум, зробивши голос диктора чіткішим для прослуховування. Водночас приголосні «с» і «ш» стали менш виразними, що вплинуло на суб'єктивне сприйняття тембру¹.

Високочастотні фільтри, навпаки, ефективні в умовах побутового шуму, наприклад, коли запис зроблено поблизу працюючого холодильника чи у вентиляційному приміщенні. У таких випадках поріг на рівні 150–200 Гц дозволяє зберегти більшість мовленнєвих частот, але послаблює низький діапазон голосу, що може ускладнити оцінювання емоційного забарвлення [3].

Смугові фільтри є компромісним рішенням у складних акустичних умовах, зокрема на вулиці з шумом транспорту та вітру. Діапазон 200–4 000 Гц охоплює основний спектр людського мовлення, але обрізання нижче 200 Гц може послабити ОТ, а вище 4 000 Гц – прибрати нюанси шиплячих звуків. На практиці, коли запис здійснювався під час масового заходу, смуговий фільтр допоміг виокремити голос із фонового шуму. Водночас втрата високих частот ускладнила розрізнення окремих фонем, зокрема «т» і «к» [4]. Ці ефекти підкреслюють необхідність ретельного вибору типу фільтра залежно від умов запису та мети прослуховування. Водночас для цілей ідентифікації використання фільтрів є неприпустимим через спотворення акустичного профілю.

Загальний аналіз впливу фільтрування на акустичні характеристики. Фільтрування комплексно впливає на мовленнєвий сигнал, змінюючи його акустичні параметри:

- спектральна структура – залежно від типу фільтра (низькочастотного, високочастотного чи смугового) спектр звужується або зсувається, що полегшує сприйняття, але призводить до втрати деталей, наприклад приголосних звуків чи високих формантів;

- частота основного тону – згладжування або обрізання частот впливає на ОТ, що позначається на класифікації звуків і можливості розрізнення дикторів;

- форманти – фільтри можуть як підсилювати, так і послаблювати форманти, змінюючи частотні піки та артикуляційні ознаки;

- динаміка сигналу – зміни амплітуди впливають на інтенсивність, що може спотворити сприйняття емоційного забарвлення або чужості мовлення;

¹ Фільтрація звуку // Вікіпедія : віл. енцикл. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Фільтрація_звуку (дата звернення: 08.06.2025).

– тривалість і ритм – деформація меж фонем унаслідок фільтрування ускладнює аналіз темпу мовлення [5].

Ці ефекти підкреслюють, що хоча фільтрування і корисне для покращення прослуховування, воно суттєво змінює мовленнєвий сигнал. У судовій експертизі фільтрування допускається лише на підготовчому етапі, а ідентифікаційний аналіз проводиться виключно за оригінальним записом.

Висновки

Дослідження засвідчило, що фільтрування мовленнєвих сигналів у судовій експертизі відео- та звукозаписів є ефективним допоміжним інструментом на підготовчому етапі прослуховування, однак має обмежене застосування через вплив на акустичні характеристики. Проаналізовано вплив фільтрування на такі параметри, як частота ОТ, форманти, спектральна структура та динаміка, з урахуванням судово-експертних обмежень. Установлено, що низькочастотні, високочастотні та смугові фільтри по-різному змінюють сигнал: з одного боку, підвищують розбірливість мовлення, а з іншого – спотворюють його первинні акустичні властивості.

Описано етапи обробки мовленнєвих сигналів, зокрема первинну підготовку та сегментацію, які підтверджують доцільність застосування фільтрації виключно на підготовчому етапі. Оцінено ефекти різних типів фільтрів: низькочастотні фільтри усувають гул, але послаблюють приголосні; високочастотні – підвищують чіткість звучання, проте зменшують інтенсивність ОТ; смугові – оптимізують розбірливість у шумному середовищі, водночас відсікаючи крайні частоти.

Практична цінність дослідження полягає у встановленні меж доцільного застосування фільтрації, що дає змогу уникнути помилок під час ідентифікації диктора або верифікації змісту. Запропоновано алгоритм використання фільтрації з чітким розмежуванням між етапами первинної обробки та експертного аналізу з метою недопущення порушень автентичності аудіозапису.

Перспективи подальших досліджень охоплюють розроблення адаптивних методів обробки, які мінімізують спотворення сигналу при збереженні його ключових характеристик для точного аналізу в судових умовах. Також актуальним є вивчення впливу фільтрації на ідентифікаційні ознаки мовлення в умовах багатоканальних записів та адаптація методів до аналізу мовлення осіб із порушеннями дикції або вираженим акцентом.

Список бібліографічних посилань: 1. Щербак Л. М., Литвиненко Ю. В., Погрібна Ю. В. Сучасні методи аналізу мовного сигналу. *Вісник Національного авіаційного університету. Серія: Системи управління, навігації та зв'язку*. 2007. № 2 (24). С. 56–60. 2. Цифрова обробка аудіоінформації : монографія / за ред. О. В. Мороза. Київ : НТУУ «КПІ»,

2022. 150 с. **3.** Ваврук Є., Лашко О., Попович Р. Лінійні дискретні системи обробки сигналів: опис в часовій та частотній областях. *Науковий вісник Чернівецького університету. Фізика. Електроніка*. 2019. Вип. 2. С. 75–97. **4.** Ханін С. Близькість і злидні Sive Base // Закон і Бізнес : сайт. 07.03.2025. URL: https://zib.com.ua/ua/165891-vikonannya_fonetichnoi_ekspertizi_iz_zastosuvannyam_sive_bas.html (дата звернення: 08.06.2025). **5.** Шелепкова С. М. Мовознавчі методи дослідження голосу та мовлення людини (на матеріалі судової експертизи відео-, звукозапису). *Юридичний науковий електронний журнал*. 2024. № 1. С. 652–655. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0374/2024-1/155>.

Надійшла до редколегії 11.06.2025

Прийнята до опублікування 25.07.2025



Tatyanchenko O. S. The Impact of Filtering on the Calculation of Acoustic Characteristics of Useful Speech Signals

In criminal proceedings involving the use of audio recordings as evidence, it is particularly important to prepare audio materials correctly for expert analysis. In particular, it is important to comply with technical requirements for recording quality and source authenticity, as well as to document all stages of filtering, if it was used for preliminary listening.

An algorithm for the use of speech signal filtering in forensic analysis has been proposed, which provides for a clear distinction between the stages of primary processing and expert analysis in order to avoid violations of authenticity. The need to develop uniform methodological approaches to the application of digital filters and standards for the storage of processed and unprocessed copies of recordings has been identified.

Within the scope of the tasks set, the sequence of speech signal processing is considered, in particular, primary cleaning and segmentation, which justifies the expediency of applying filtering exclusively at the preparation stage. The influence of individual filter types is analysed: low-frequency filters effectively reduce hum, but can reduce the clarity of consonants; high-frequency filters improve perception, but reduce the strength of the fundamental tone; bandpass filters provide balance, increasing speech intelligibility in noisy environments, but cut off the extreme frequencies of the spectrum.

The results of the study are of practical importance, as they allow us to clearly define the acceptable limits of filtration use, which prevents potential errors in identifying the speaker or verifying the authenticity of the utterance.

Further research should focus on studying the effect of filtering on the identification characteristics of speech in multi-channel recordings, as well as on adapting methods to the analysis of speech of individuals with speech impediments or accented speech. This approach will help improve the accuracy of phonoscopic experts' conclusions and the effectiveness of criminal investigations using audio and video evidence.

Keywords: speech signals, filtering, noise reduction, parameterization, forensic examination, acoustic characteristics, fundamental tone, formants.

