

**І. В. Римар\***,  
кандидат історичних наук,  
завідувач відділу дослідження звуко- та відеозапису  
лабораторії досліджень у сфері інформаційних технологій,  
Київський науково-дослідний експертно-  
криміналістичний центр МВС України  
вул. Гарета Джонса, 5, м. Київ, 04119, Україна  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6153-0900>  
email: [ihor.rymar@outlook.com](mailto:ihor.rymar@outlook.com)

### Історія статті

Отримано: 19.12.2025

Прийнято: 10.04.2026

Опубліковано: 28.05.2026

## ВПЛИВ АКУСТИЧНОГО СЕРЕДОВИЩА НА СТІЙКІСТЬ ДИКТОРО-СПЕЦИФІЧНИХ ОЗНАК МОВЛЕННЯ: ЕФЕКТ ЛОМБАРДА

**Анотація.** Актуальність дослідження зумовлена важливістю експертизи відео-, звукозапису в сучасно-му судочинстві, коли ідентифікація особи за голосом часто стає вирішальним доказом, проте її можливості суттєво залежать від акустичної варіативності мовлення в різних середовищах. Серед найменш вивчених у національній експертній практиці чинників є ефект Ломбарда – мимовільна адаптація голосу мовця до навколишнього шуму, що приводить до системних змін мовлення, створюючи ризик помилкових експертних висновків. Метою статті є комплексний аналіз впливу ефекту Ломбарда на стабільність дикторо-специфічних ознак мовлення та розроблення стратегій мінімізування помилок під час проведення судової експертизи відео-, звукозапису. Методологічну основу цього дослідження становить система загальнонаукових і спеціальних методів наукового пізнання, спрямованих на комплексний аналіз наукового доробку з акустики мовлення, судової фонетики та криміналістики. Системний аналіз забезпечив виявлення взаємозв'язків між нейрофізіологічними механізмами виникнення ефекту Ломбарда, його акустичними проявами та наслідками для судово-експертної практики, а використання загальнонаукових та спеціальних методів дозволило концептуально поставитися до дослідження проблеми. Наукова новизна дослідження полягає в комплексному обґрунтуванні важливості ефекту Ломбарда як системного чинника акустичної варіативності мовлення, зважаючи на специфіку фонетичної системи української мови, зокрема в аналізуванні стратегічних підходів до мінімізації його негативного впливу на результати ідентифікації диктора під час проведення судової експертизи відео-, звукозапису. Крім того, акцентовано на феномені «хибного виключення», коли напівавтоматизована чи автоматизована система ідентифікації або експерт помилково сприймають записи голосу однієї особи як такі, що належать різним людям, через порушення принципу рівності умов. Практична значущість виявляється в запропонованих конкретних стратегіях подолання негативного впливу ефекту Ломбарда: від процедур максимального точного відтворення спектральних характеристик фонового шуму під час отримання порівняльних зразків до впровадження ієрархічних моделей аналізу та нормалізованих параметрів. Системно доведено необхідність створення національних спеціалізованих баз даних (парних записів, за віком, статтю тощо) для розроблення ефективних навчальних програм, національної системи ідентифікації, державних стандартів і методик, що дасть змогу підвищити об'єктивність висновків судових експертиз.

**Ключові слова:** експертиза відео-, звукозапису; частота основного тону ( $F_0$ ); форманта ( $F_1, F_2, F_3, F_4$ ); спектральний аналіз; акустична варіативність.

### Вступ

Експертиза відео-, звукозапису сьогодні відіграє важливу роль у розслідуванні кримінальних правопорушень, коли постає потреба ідентифі-

кувати особу за голосом та мовленням (Brendel et al., 2022; Shelepko, 2024; Borukhov, 2025). А втім, результат такої експертизи залежить від безлічі чинників, які можуть впливати на акустичні

\*Відповідальний автор



характеристики мовлення людини (Rose, 2002; Bai, & Zhang, 2021; Morrison, & Zhang, 2022). Серед них, що часто залишається поза увагою експертів, є ефект Ломбарда – природна зміна голосу в умовах шуму (Kelly, & Hansen, 2021; Korvel et al., 2023).

Уявімо типову ситуацію: запис телефонної розмови підозрюваного або досліджуваної особи виконано в середовищі з високим рівнем шуму, а зразки голосу для порівняння отримано в тихому кабінеті слідчого або ж адвоката. Чи допустимо порівнювати ці записи? Навіть незначні розбіжності в умовах запису можуть призвести до помилкових експертних висновків, що матимуть серйозні юридичні наслідки. Тому метою статті є комплексний аналіз та наукове обґрунтування впливу ефекту Ломбарда на стабільність дикторо-специфічних акустичних ознак мовлення, а також розроблення науково обґрунтованих стратегій мінімізування методологічних помилок під час проведення судової експертизи відео-, звукозапису в умовах акустичної варіативності. Для досягнення поставленої мети потрібно виконати такі завдання: систематизувати наукові знання про природу та нейрофізіологічні механізми ефекту Ломбарда як чинника акустичної варіативності мовлення; визначити та проаналізувати вплив ефекту Ломбарда на дикторо-специфічні акустичні параметри мовлення (частоту основного тону, форманти, інтенсивність, темпоральні та спектральні характеристики), що є критично важливими для ідентифікації диктора; розкрити механізми виникнення методологічних помилок («хибного виключення») під час аудитивного та автоматизованого / напівавтоматизованого порівняння записів мовлення, виконаних у різних акустичних умовах; обґрунтувати комплекс стратегій і методичних підходів, спрямованих на мінімізацію впливу ефекту Ломбарда в процесі проведення судових експертиз відео-, звукозапису; схарактеризувати специфіку прояву ефекту Ломбарда в системі фонетики української мови та визначити перспективи розвитку національної нормативної та інструментальної бази для забезпечення якості ідентифікаційних досліджень.

### Матеріали та методи

Основним методом дослідження став системний аналіз наукового доробку з акустики мовлення, судової фонетики, психо- та нейрофізіології голосоутворення, криміналістики, зокрема й ідентифікації диктора. Такий підхід дав змогу виявити взаємозв'язки між різними аспектами прояву ефекту Ломбарда – його нейрофізіологічними механізмами, акустичними проявами та наслідками для судової практики. Формально-логічні методи (аналіз, синтез, індукція, дедукція, абстрагування)

застосовано для структурування та систематизації наукових даних про вплив ефекту Ломбарда на окремі акустичні параметри мовлення – частоту основного тону ( $F_0$ ), форманти ( $F_1, F_2, F_3, F_4$ ), інтенсивність і динамічний діапазон, темпоральні та спектральні характеристики – а також для формулювання теоретичних узагальнень і висновків щодо методологічних ризиків у судовій експертизі відео-, звукозапису. За допомогою методу порівняння зіставлено підходи до ідентифікації диктора в умовах акустичної варіативності, описані в національній і зарубіжній криміналістичній та спеціальній літературі, а також проведено зіставний аналіз фонетичних систем германських, романських і слов'янських мов для пояснення та обґрунтування специфіки прояву ефекту Ломбарда в українському мовленні. Метод моделювання застосовано для концептуалізації типових експертних ситуацій, що характеризуються розбіжністю акустичних умов отримання досліджуваного запису та порівняльних зразків голосу і мовлення, та ілюстрування механізмів виникнення феномену «хибного виключення» (*false exclusion*). Міждисциплінарний підхід уможливив синтез результатів досліджень із суміжних галузей знань: психоакустики, нейронауки (зокрема щодо аудіо-вокальної петлі зворотного зв'язку), еволюційної біології (порівняльний аналіз ефекту Ломбарда у птахів і приматів), криміналістики, а також математичної статистики (аналіз похибок ідентифікації та критеріїв статистичної значущості розбіжностей у голосових параметрах).

Крім того, проаналізовано матеріали експертних досліджень за період 2021–2025 рр.

### Результати та обговорення

Понад сто років тому французький лікар-отоларинголог (Lombard, 1911) помітив цікаве явище: коли людина чує фоновий шум, вона мимовільно починає говорити голосніше, навіть якщо не усвідомлює цього. Спочатку це спостереження здавалося простим курйозом, але згодом виявилось, що за ним стоїть складний нейрофізіологічний механізм, який сьогодні називають ефектом Ломбарда (Castro et al., 2022; Alves et al., 2024).

Мозок людини постійно контролює власний голос через аудіовокальну петлю зворотного зв'язку – систему, завдяки якій людина має змогу чути себе під час мовлення і коригувати голос (Ozker et al., 2022; Alves et al., 2024). Коли навколишній шум «заглушає», маскує голос, мозок автоматично (рефлекторно, без свідомої участі, як зіниці розширюються в темряві) подає сигнал до посилення вокального зусилля, щоб компенсувати це маскування (Lane, & Tranel, 1971; Zollinger, & Brumm, 2011; Saba, & Hansen, 2022; Bottalico et al., 2022).

Ефект Ломбарда, наголошують фахівці (Tuomainen et al., 2022; Bottalico et al., 2022), – універсальне явище: він виникає в усіх людей незалежно від віку, статі чи мови спілкування. Такі зміни голосу спостерігаються (Brumm, & Zollinger, 2011; Dorado-Correa et al., 2017; Kunc et al., 2022) навіть у тварин – від птахів до приматів, що свідчить про еволюційну давність цього механізму адаптації.

Дослідження доводять, що ефект Ломбарда проявляється вже за рівня фонового шуму в діапазоні від ~43 дБ (Bottalico et al., 2017) до ~57–58 дБ (Bottalico, 2018; Bottalico et al., 2022) і посилюється пропорційно зростанню інтенсивності шуму. Водночас змінюється не лише гучність мовлення – трансформується майже вся акустична структура голосу.

Аналізуючи голос, судовий експерт досліджує акустичні параметри, що містять унікальну інформацію про диктора, як-от частота основного тону, формантна структура, інтенсивність і динамічний діапазон, темпоральні характеристики, спектральні показники тощо. Системний вплив ефекту Ломбарда на такі параметри зумовлює потребу ґрунтовного аналізу трансформацій акустичної структури голосу в шумному середовищі.

Частота основного тону ( $F_0$ ) становить акустичний корелят, що сприймають як висоту голосу. Це один із найважливіших параметрів ідентифікації диктора (Bai, & Zhang, 2021; Chan, 2023), адже він відображає анатомічні особливості будови голосових зв'язок кожної людини. У шумному середовищі середнє значення  $F_0$  зростає на 10–20 Гц залежно від інтенсивності фонового шуму (Garnier, & Henrich, 2014; Summers et al., 1988; Shen et al., 2023) і його типу – наявність частот, схожих на мовленнєві, у фоні шуму (Stowe, & Golob, 2013; Bottalico, & Murgia, 2023). Для розуміння масштабу: підвищення  $F_0$  на 10 Гц у типовому діапазоні чоловічого голосу (~120 Гц) становить приблизно 8 % – значення, що перевищує поріг сприймання зміни висоти голосу (Moore, 2013). До того ж розширюється діапазон частотної модуляції – голос стає мелодійнішим, інтонаційно багатшим. Це компенсаторний механізм: варіюючи висоту голосу, мовець підвищує розбірливість свого мовлення в умовах акустичної інтерференції. Дослідження (Garnier et al., 2010; Garnier, & Henrich, 2014; Le et al., 2021, December 6–9) засвідчують, що підвищення  $F_0$  за ефекту Ломбарда не є простим лінійним зсувом – воно супроводжується зміною контурів інтонації, що робить мовлення більш експресивним. Це означає, що експерт, порівнюючи записи з різним рівнем шуму, може помилково сприйняти того самого диктора як двох різних людей.

Форманти ( $F_1, F_2, F_3, F_4$ ) являють собою резонансні частоти голосового тракту, які визначають тембр голосу, даючи змогу розрізняти звуки мовлення. Форманти часто називають «акустичним відбитком пальця» (*speaker-specific features*) (Niebuhr et al., 2018; Cavalcanti et al., 2021), оскільки їхня конфігурація унікальна для кожного індивіда і залежить від анатомічних особливостей ротової порожнини, глотки та носової порожнини. В умовах ефекту Ломбарда спостерігається зміщення центральних частот формант, особливо  $F_1$  та  $F_2$ , які є критично важливими для сприйняття голосних звуків (Summers et al., 1988; Saba, & Hansen, 2022). У дослідженнях на основі експериментальних даних обґрунтовано збільшення частоти для  $F_1$  (Summers et al., 1988) і незначного збільшення або навіть зменшення частоти для  $F_2$  (Summers et al., 1988; Garnier, & Henrich, 2014; Lee et al., 2017), що пов'язано зі зміною артикуляційних позицій – дещо іншим положенням язика і губ під час вимови звуків у шумному середовищі. Такі зміни не випадкові: мовець несвідомо прагне збільшити «акустичний простір» між різними голосними звуками, роблячи їх більш контрастними й розбірливими (Summers et al., 1988). А втім, ґрунтуючись, зокрема, на результатах вивчення матеріалів експертних проваджень, для судового експерта це означає, що формантна структура голосу в різних акустичних умовах може суттєво відрізнятися, що піддає сумну надійність ідентифікації.

Інтенсивність і динамічний діапазон. Найбільш очевидним проявом ефекту Ломбарда є збільшення гучності мовлення. Середня інтенсивність зростає на 3–9 дБ залежно від рівня шуму, причому це збільшення не рівномірне для всіх звуків (Lu, & Cooke, 2008; Bottalico, & Murgia, 2023; Kelly, & Hansen, 2021). Особливо посилюються голосні та дзвінки приголосні, тоді як глухі приголосні зазнають менших змін. Це приводить до збільшення динамічного діапазону мовлення – контрасту між найгучнішими та найтихішими звуками. Такі зміни допомагають мовленню «пробитися» крізь шум, але водночас ускладнюють автоматизований / напівавтоматизований аналіз. Системи автоматичної / напівавтоматичної ідентифікації диктора, навчені на «чистому» мовленні, про що свідчать також і результати аналізу матеріалів судових експертиз, часто не впізнають ту саму людину в записах з ефектом Ломбарда.

Темпоральні характеристики. Менш очевидним, але не менш важливим є вплив ефекту Ломбарда на часову структуру мовлення. Люди в шумному середовищі говорять повільніше: подовжується тривалість голосних звуків, збільшуються паузи між словами, загальний темп мовлення знижується в середньому на 10–30 % порівняно

з нормальними умовами (Summers et al., 1988; Garnier et al., 2010; Shen et al., 2023). Це адаптивна стратегія: уповільнене мовлення дає слухачеві більше часу на оброблення акустичної інформації в складних умовах сприйняття (Elie et al., 2024; Trujillo et al., 2021). Проте для експерта це означає, що темпоральні параметри – індивідуальні ознаки – виявляються нестабільними та залежними від контексту.

*Спектральні показники.* Під впливом ефекту Ломбарда, засвідчує спектральний аналіз, спостерігається перерозподіл енергії в спектрі мовлення: збільшується потужність високочастотних компонентів (понад 1 кГц) щодо низькочастотних (Hansen, & Varadarajan, 2009, p. 367). Це пов'язано з посиленням голосового зусилля та зміною режиму роботи голосових зв'язок. Цей феномен пояснюють (Dorado-Correa et al., 2017) з еволюційної перспективи: високі частоти краще проникають крізь більшість типів природного шуму, тому посилення високочастотних компонентів підвищує ефективність комунікації. Але для судової експертизи це ще один параметр, який ускладнює, а то й унеможлиблює пряме порівняння записів, зроблених у різних акустичних умовах.

Отже, вплив ефекту Ломбарда на акустичні параметри дійсно суттєвий і системний. А втім, розуміння акустичних змін, що засвідчує також експертна практика, – лише частина проблеми. Справжній виклик полягає в тому, як ці зміни впливають на можливість ідентифікації диктора в реальній експертній практиці.

Як доводить експертна практика, найпоширенішою є ситуація, коли досліджуваний запис (наприклад, запис із місця злочину або перехоплена телефонна розмова) виконано в одних акустичних умовах, а порівняльні зразки голосу – в інших. Типовий приклад: досліджуваний запис зроблено в шумному громадському місці, а порівняльні зразки – у тихому кабінеті слідчого або оперативного працівника.

У такій ситуації ефект Ломбарда діє як системний чинник спотворення. Усі акустичні параметри досліджуваного запису системно відрізнятимуться від параметрів порівняльних зразків навіть за умови, що це дійсно голос однієї людини. Різниця в частоті основного тону, формантних частотах, інтенсивності й темпі мовлення, навіть за наявності спільного джерела походження записів, може призвести до помилкової диференціації (відхилення гіпотези про тотожність) експертом або системою автоматизованої / напівавтоматизованої ідентифікації (Hansen, & Varadarajan, 2009, p. 367–369; Kelly, & Hansen, 2021).

Результати серії експериментів (Hansen, & Varadarajan, 2009, p. 377) із порівняння зразків

мовлення тих самих дикторів у тихому середовищі та за різних типів і рівнів шуму виявилися тривожними: система розпізнавання мовлення в 26,92 % випадків не змогла встановити тотожності диктора попри те, що голос на всіх записах належав одній особі. Це явище дістало назву «хибне виключення» (false exclusion) та є однією з найнебезпечніших помилок у судовій експертизі (Morrison et al., 2021).

Крім того, виявлено критичну вразливість таких систем до ефекту Ломбарда – коли система автоматизованої / напівавтоматизованої ідентифікації порівнювала зразки «чистого» мовлення та мовлення з ефектом Ломбарда, точність ідентифікації значно знижувалася, збільшуючи відсоток хибних виключень (Kelly, & Hansen, 2021).

Головна проблема полягає в тому, що більшість таких систем навчена на записах високої якості, виконаних у контрольованих умовах, де ефект Ломбарда не проявляється. Коли така система стикається з «ломбардівським» мовленням, вона сприймає його як голос іншої людини, адже акустичні параметри виходять за межі очікуваної варіативності.

Як відомо, сучасні міжнародні практики та методики експертизи відео-, звукозапису крім аудитивного аналізу та систем автоматизованої / напівавтоматизованої ідентифікації широко використовують статистичні підходи до оцінювання подібності голосів. Базовою вимогою будь-якого статистичного порівняння є принцип «рівності умов» – порівнювані вибірки мають бути отримані в ідентичних або максимально подібних умовах.

Ефект Ломбарда порушує цю фундаментальну вимогу. Якщо один запис містить «ломбардівське» мовлення, а другий – ні, ідеться не просто про дві вибірки акустичних параметрів однієї людини, а про два якісно різні типи мовлення. Застосування стандартних статистичних критеріїв (як-от *t*-тест або дисперсійний аналіз) у цьому разі може призвести до помилкових висновків, адже порушується припущення про гомогенність даних.

Фахівці (Morrison, & Zhang, 2022) наголошують на необхідності зважання на всі джерела варіативності мовлення, зокрема й на ситуативні чинники на кшталт ефекту Ломбарда (Morrison, 2009). Їх ігнорування підриває статистичну валідність експертних висновків.

Крім принципу «рівності умов» частина експертних методик базується на концепції «акустичної відстані» між голосами: чим більше схожі акустичні параметри двох записів, тим вища ймовірність, що вони належать одній людині. Але, свідчать, зокрема, і результати аналізу матеріалів експертних проваджень, ефект Ломбарда порушує цю логіку.

Уявімо дві ситуації: (А) порівняння записів голосів двох різних людей, обидва в тихих умовах, і (Б) порівняння записів голосу однієї людини, але один зроблений у тихих умовах, а другий – у зашумленому середовищі, де проявляється ефект Ломбарда. Парадоксально, але «акустична відстань» у ситуації (Б) може виявитися більшою за ситуацію (А). Це означає, що традиційні порогові значення «схожості» перестають працювати, і експерт ризикує зробити помилковий висновок.

А втім, розуміння проблеми – це перший крок до її розв'язання. Сучасна наукова спільнота та експертна практика (Hansen, & Varadarajan, 2009; Kelly, & Hansen, 2021) виробили низку стратегій, які дають змогу мінімізувати вплив ефекту Ломбарда на результат ідентифікації диктора.

Найпростішим, але водночас найефективнішим рішенням є максимальне наближення умов отримання порівняльних зразків голосу до умов досліджуваного запису (Rose, 2002; Kelly, & Hansen, 2021; Klug et al., 2021). Тобто, коли досліджуваний запис виконано в зашумленому середовищі, порівняльні зразки також слід отримувати за максимально подібного фонового шуму.

На практиці це реалізуватиметься за допомогою відтворення через акустичну систему запису фонового шуму під час отримання порівняльних зразків. Важливо не просто створити шум «узагалі», а максимально точно відтворити спектральні та часові характеристики шуму з досліджуваного запису. Контроль умов запису не менш важливий, ніж вибір аналітичних методів (Rose, 2002; Morrison et al., 2021; Morrison, & Zhang, 2022). Працівники оперативних підрозділів та слідчі в тісній взаємодії з експертом мають докладати максимум зусиль для забезпечення порівнюваності акустичних середовищ.

Оскільки ефект Ломбарда неоднаково впливає на акустичні параметри, убачається перспективним (Chan, 2023), це доводить, зокрема, й експертна практика, комплексний підхід, що ґрунтується на аналізі множинних характеристик голосу з різним ступенем чутливості до ситуативних змін.

Деякі параметри виявляються порівняно стабільними навіть за ефекту Ломбарда (Kelly, & Hansen, 2021; Bottalico, & Murgia, 2023). Наприклад, довгострокові спектральні характеристики (спектральний нахил, співацька (мовленнева) форманта, відстань між формантами тощо), які відображають резонансні властивості голосового тракту, змінюються менше, ніж короткострокові параметри (частоти окремих формант та основного тону, співвідношення сигнал / шум у спектрі, спектральний центроїд та ін.). Фахівці (Morrison, & Zhang, 2022) пропонують використовувати

ієрархічні моделі, які беруть до уваги різну дискримінаційну силу параметрів за різних умов.

Крім того, перспективним убачають (Marxer et al., 2018; Ngo et al., 2020; Kelly, & Hansen, 2021) застосування нормалізованих параметрів, які зважають не на абсолютні значення акустичних характеристик, а на їхні відносні співвідношення. Наприклад, замість абсолютного значення частоти основного тону можна аналізувати відношення  $F_0$  до формантних частот, що виявляється більш стабільним показником навіть за ефекту Ломбарда.

Сучасні методи оброблення сигналів і машинного навчання відкривають нові можливості для компенсації ефекту Ломбарда (Kelly, & Hansen, 2021; Kaçkol et al., 2022; Nogales et al., 2024). Насамперед це алгоритми, що ґрунтуються на глибокому навчанні нейронних мереж на парних записах (Kaçkol et al., 2022; Maheswari et al., 2025) – та сама людина в нормальних умовах та в умовах, у яких проявляється ефект Ломбарда. Навчена на таких алгоритмах модель вирізняє інваріантні особливості голосу, які залишаються стабільними незалежно від акустичних умов, і використовує їх для порівняння. Проте, незважаючи на перспективні результати, такі моделі все ще перебувають на стадії розроблення та не набули значного поширення (Xu, & Yang, 2023).

Тож, попри суттєвий прогрес у розумінні ефекту Ломбарда, залишається багато питань, що потребують подальшого вивчення, насамперед базуючись на аналізі матеріалів судових експертиз, а також у контексті національної експертної практики.

Зокрема, критично необхідним убачається формування спеціалізованих національних інформаційних джерел або наборів даних (*datasets*) парних записів мовлення україномовних дикторів – записів однієї людини в нормальних умовах та в умовах, що забезпечують різний рівень прояву ефекту Ломбарда. Такі набори даних дали б змогу:

визначити норми варіативності акустичних параметрів мовлення під впливом ефекту Ломбарда для української мови;

навчити системи автоматизованої / напівавтоматизованої ідентифікації, адаптовані до специфіки мовлення україномовного диктора;

розробити статистичні моделі систем автоматизованої / напівавтоматизованої ідентифікації, які зважають на внутрішньодикторську варіативність в умовах підвищеного шуму.

Сьогодні більшість досліджень ефекту Ломбарда виконано на матеріалі англійської, французької та німецької мов, тоді як фонетична система української мови має власні особливості, які можуть суттєво впливати на прояви цього ефекту. А отже – набуває гостроти питання розроблення алгоритмів компенсації, адаптованих до специфіки української мови, що характеризується

особливою структурою складів і вокалічною системою. Зокрема, варто зважати на такі аспекти:

*дискретність вокалізму* – на відміну від англійської мови з її численними дифтонгами та редукованими звуками, українська мова має систему зі шістьма чіткими голосними фонемами (Ishchenko, 2011a, 2011b, 2012). Під впливом ефекту Ломбарда вокалізм українського мовлення стає ще більш вираженим: ненаголошені голосні (наприклад, /и/ та /е/) можуть ставати більш дискретними (чіткими). Це змінює традиційну картину їхнього накладання у формантному просторі та потребує специфічних методів ідентифікації;

*трансформація приголосних* – якщо в германських мовах ефект Ломбарда значною мірою впливає на аспірацію приголосних, для української мови критично важливе вивчення його впливу на палаталізацію (м'якість) приголосних. Оскільки палаталізація є важливою дикторсько-специфічною ознакою мовлення (*speaker-specific feature*), будь-які її зміни під впливом шуму можуть призвести до хибного виключення під час вирішення ідентифікаційних завдань;

*формантна конфігурація* – зміни частот формант під впливом ефекту Ломбарда в українському мовленні матимуть іншу конфігурацію, ніж в англійському, що зумовлено артикуляційними особливостями української фонетики (Ishchenko, 2008, 2009; Narasiuk et al., 2019).

Крім того, набуває гостроти потреба у виробленні національних стандартів і методичних рекомендацій для проведення експертизи відео-, звукозапису, які передбачали б чіткі протоколи роботи із записами, виконаними в різних акустичних умовах. Такі стандарти мають визначати:

мінімальні вимоги до акустичних характеристик порівнюваних записів;

процедури оцінювання та відображення параметрів акустичного середовища;

критерії прийнятності порівняння за різних рівнів розбіжності параметрів в умовах запису;

формати подання результатів і формулювання висновків тощо.

І зрештою, критично важливою є інтеграція знань про ефект Ломбарда та інші джерела варіативності мовлення в навчальні програми підготовки судових експертів. Майбутнім фахівцям варто не тільки мати уявлення про це явище, а й глибоко розуміти його природу та механізм, уміти розпізнати його прояви в реальних записах, об'єктивно зважати на нього під час судових експертиз. Це потребує міждисциплінарного підходу, що об'єднує знання з акустики, фонетики, психології, статистики та машинного навчання. Лише така комплексна підготовка забезпечить високий професійний рівень експертів і мінімізує ризик експертних помилок.

Подальші дослідження мають базуватися як на матеріалах реальних експертних проваджень, так і на науково сформованих наборах даних (*datasets*) голосів і мовлення, зібраних за чітко визначеними критеріями – вік, стать, регіон проживання, варіативність акустичних умов запису тощо. Реалізація цього напряму можлива лише за умови тісної співпраці між експертними установами та науковою спільнотою на тлі стабільно високого практичного запиту на проведення зазначеного виду судової експертизи. Саме така взаємодія створює підґрунтя для розроблення ефективних навчальних програм підготовки майбутніх фахівців, національної системи автоматизованої / напівавтоматизованої ідентифікації дикторів, а також науково обґрунтованих методик проведення судової експертизи відео-, звукозапису, адаптованих до умов сьогодення, специфіки української мови, а в ширшому контексті – східнослов'янських або слов'янських мов загалом.

## Висновки

Ефект Ломбарда являє собою один із найважливіших, але поки що недооцінених чинників, які впливають на результати ідентифікації диктора під час проведення судової експертизи відео-, звукозапису. Системні зміни практично всіх акустичних параметрів мовлення (частота основного тону, форманти, інтенсивність і динамічний діапазон, темпоральні характеристики, спектральні показники) під впливом фонового шуму створюють серйозні методологічні виклики для експертної спільноти та практики. Дослідження засвідчують, що ігнорування ефекту Ломбарда може призводити до помилкових висновків.

Голос людини не застигла константа, а динамічна система, що адаптується до умов комунікації. Про цю фундаментальну істину, власне, і нагадує нам ефект Ломбарда. Ця природна пластичність мовлення, яка в еволюційній перспективі є перевагою, становить виклик для стандартних методів ідентифікації особи за голосом і мовленням. Усвідомлення цього виклику та розроблення адекватних стратегій його подолання постає необхідною умовою забезпечення повноти й об'єктивності експертизи відео-, звукозапису в сучасних умовах.

## Подяки

Немає.

## Фінансування

Дослідження не отримувало фінансування.

## Конфлікт інтересів

Автор є працівником однієї з установ Експертної служби МВС України.

## References

- [1] Alves, M. do C., Mancini, P. C., & Teixeira, L. C. (2024). Modifications of auditory feedback and its effects on the voice of adult subjects: a scoping review. *CoDAS*, 36(1).  
DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1782/20232022202en>
- [2] Bai, Z., & Zhang, X.-L. (2021). Speaker recognition based on deep learning: An overview. *Neural Networks*, (140), 65–99.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2021.03.004>
- [3] Borukhov, D. O. (2025). Osoblyvosti pryznachennia ta provedennia sudovykh ekspertyz pid chas rozsliduvannia propahandy viiny [The specifics of the appointment of forensic examinations in the investigation of war propaganda]. *Kyivskiy chasopys prava*, (3), 317–323 [in Ukrainian].  
DOI: <https://doi.org/10.32782/klj/2025.3.45>
- [4] Bottalico, P. (2018). Lombard effect, ambient noise, and willingness to spend time and money in a restaurant. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 144(3), EL209–EL214.  
DOI: <https://doi.org/10.1121/1.5055018>
- [5] Bottalico, P., Passione, I. I., Graetzer, S., & Hunter, E. J. (2017). Evaluation of the starting point of the Lombard Effect. *Acta Acustica united with Acustica*, 103(1), 169–172.  
DOI: <https://doi.org/10.3813/AAA.919043>
- [6] Bottalico, P., Piper, R. N., & Legner, B. (2022). Lombard effect, intelligibility, ambient noise, and willingness to spend time and money in a restaurant amongst older adults. *Scientific Reports*, 12(1).  
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10414-6>
- [7] Bottalico, P., & Murgia, S. (2023). The Effect of the Frequency and Energetic Content of Broadband Noise on the Lombard Effect and Speech Intelligibility. *Acoustics*, 5(4), 898–908.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/acoustics5040052>
- [8] Brendel, O., Nikulin, K., & Aslanova, E. (2022). Mozhlyvosti ekspertyzy video-, zvukozapysu pid chas rozsliduvannia zlochyniv, poviazanykh iz torhivleiu liudmy [Possibilities of forensic video and audio analysis while investigation of crimes, related to human trafficking]. *Teoriia ta praktyka sudovoi ekspertyzy i kryminalistyky*, 2(27), 131–145 [in Ukrainian].  
DOI: <https://doi.org/10.32353/khrife.2.2022.10>
- [9] Brumm, H. & Zollinger, S. A. (2011). The evolution of the Lombard effect: 100 years of psychoacoustic research. *Behaviour*, 148(11–13), 1173–1198.  
DOI: <https://doi.org/10.2307/41445240>
- [10] Cavalcanti, J. C., Eriksson, A., & Barbosa, P. A. (2021). Acoustic analysis of vowel formant frequencies in genetically-related and nongenetically related speakers with implications for forensic speaker comparison. *PLoS ONE* 16(2), e0246645.  
DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246645>
- [11] Castro, C., Rivera, L. Z., Prado, P., Cuadros, J., Cortés, J. P., Weinstein, A., Espinoza, V., & Zañartu, M. (2022). *Acoustic and Neurophysiological Aspects of Lombard Effect*.  
DOI: <https://doi.org/10.1101/2022.09.30.510383>
- [12] Chan, R. K. W. (2023). Evidential value of voice quality acoustics in forensic voice comparison. *Forensic Science International*, (348), 111725.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2023.111725>
- [13] Cooke, M., & Lu, Y. (2010). Spectral and temporal changes to speech produced in the presence of energetic and informational maskers. *Journal of the Acoustical Society of America*, 128(4), 2059–2069.  
DOI: <https://doi.org/10.1121/1.3478775>
- [14] Dorado-Correa, A. M., Zollinger, S. A., & Brumm, H. (2017). Vocal plasticity in mallards: multiple signal changes in noise and the evolution of the Lombard effect in birds. *Journal of Avian Biology*, 49(1).  
DOI: <https://doi.org/10.1111/jav.01564>
- [15] Elie, B., Šimko, J., & Turk, A. (2024). Optimization-based modeling of Lombard speech articulation: Supraglottal characteristics. *JASA Express Letters*, 4(1), 015204.  
DOI: <https://doi.org/10.1121/10.0024364>
- [16] Garnier, M., Henrich, N., & Dubois, D. (2010). Influence of sound immersion and communicative interaction on the Lombard effect. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 53(3), 588–608.  
DOI: [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2009\)08-0138](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2009)08-0138)
- [17] Garnier, M., & Henrich, N. (2014). Speaking in noise: How does the Lombard effect improve acoustic contrasts between speech and ambient noise? *Computer Speech and Language*, 28(2), 580–597.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csl.2013.07.005>
- [18] Hansen, J. H., & Varadarajan, V. S. (2009). Analysis and Compensation of Lombard Speech Across Noise Type and Levels With Application to In-Set/Out-of-Set Speaker Recognition. *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 17(2), 366–378.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TASL.2008.2009019>
- [19] Harasiuk, A. O., Hliuk, I. R., Vdovenko, M. V., Pedchenko, O. I., & Lunova, S. A. (2019). Analiz spektralnykh kharakterystyk ukrainskoi ta dekilkokh yevropeyskykh mov [Analysis of Spectral Characteristics of Ukrainian and Several European Languages]. *Mikrosystemy, Elektronika ta Akustyka*, 24(4), 62–67 [in Ukrainian].  
DOI: <https://doi.org/10.20535/2523-4455.2019.24.4.187722>
- [20] Ishchenko, O. S. (2008). Akustychni kharakterystyky holosnykh zvukiv suchasnoi ukrainskoi literaturnoi movy (eksperymentalno-fonetichne doslidzhennia). *Ukrainska mova*, (4), 102–111 [in Ukrainian].  
<https://phonetica.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/10/02.pdf>

- [21] Ishchenko, O. S. (2009). Zalezhnist akustychnykh kharakterystyk holosnykh zvukiv ukrainskoi movy vid tempu movlennia. *Visnyk Cherkaskoho universytetu. Seriya: Filolohichni nauky*, (140), 15–24.  
https://eprints.cdu.edu.ua/1409/1/140-15-24.pdf
- [22] Ishchenko, O. S. (2011a). Akustychna klasyfikatsiia ukrainskykh holosnykh zvukiv. In O. Novikova, P. Hilkes, & U. Schweier (Hrsg.) *Dialog der Sprachen, Dialog der Kulturen. Die Ukraine aus globaler Sicht: I Internationale virtuelle Konferenz der Ukrainistik* (s. 68–79). München: Verlag Otto Sagner [in Ukrainian].
- [23] Ishchenko, O. S. (2011b). Deiaki zauvahy pro zvuky [i], [y] v ukrainskii movi. U O. S. Ishchenko (Uporiad.) *Na khvyliakh movy. Alli Yosypivni Bahmut* (s. 249–255). Kyiv: KMM [in Ukrainian].
- [24] Ishchenko, O. S. (2012). *Holosni zvuky ukrainskoi movy zalezhno vid tempu movlennia: monohrafiia*. Kyiv: Instytut ukr. movy NAN Ukrainy [in Ukrainian].
- [25] Kałol, K., Korvel, G., Tamulevičius, G., & Kostek, B. (2022). Detecting Lombard Speech Using Deep Learning Approach. *Sensors*, 23(1), 315.  
DOI: https://doi.org/10.3390/s23010315
- [26] Kelly, F., & Hansen, J. H. L. (2021). Analysis and Calibration of Lombard Effect and Whisper for Speaker Recognition. *IEEE/ACM transactions on audio, speech, and language processing*, (29), 927–942.  
DOI: https://doi.org/10.1109/taslp.2021.3053388
- [27] Klug, K., Jessen, M., Solewicz, Y. A., & Wagner, I. (2021). Collection and analysis of multi-condition audio recordings for forensic automatic speaker recognition. In C. Bernardasci, D. Dipino, D. Garassino, S. Negrinelli, E. Pellegrino, & S. Schmid (Eds.). (2021). *L'individualità del parlante nelle scienze fonetiche: applicazioni tecnologiche e forensi. Speaker individuality in phonetics and speech sciences: speech technology and forensic applications* (pp. 57–76). Milano: Officinaventuno.  
DOI: https://doi.org/10.17469/O2108AISV000003
- [28] Korvel, G., Kałol, K., & Kostek, B. (2023). Applying the Lombard Effect to Speech-in-Noise Communication. *Electronics*, (12), 4933.  
DOI: https://doi.org/10.3390/electronics12244933
- [29] Kunc, H. P., Morrison, K., & Schmidt, R. (2022). A meta-analysis on the evolution of the Lombard effect reveals that amplitude adjustments are a widespread vertebrate mechanism. *PNAS*, 119(30), e2117809119.  
DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.2117809119
- [30] Lane, H., & Tranel, B. (1971). The Lombard sign and the role of hearing in speech. *Journal of Speech and Hearing Research*, 14(4), 677–709.  
DOI: https://doi.org/10.1044/jshr.1404.677
- [31] Le, D., Shih, C., & Tang, Y. (2021, December 6–9). Distortion in Tone Production due to the Lombard Effect. In *1st International Conference on Tone and Intonation (TAI)* (pp. 76–80). Sonderborg, Denmark.  
DOI: https://doi.org/10.21437/TAI.2021-16
- [32] Lee, J., Ali, H., Ziaei, A., Tobey, E. A., & Hansen, J. H. L. (2017). The Lombard effect observed in speech produced by cochlear implant users in noisy environments: A naturalistic study. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 141(4), 2788–2799.  
DOI: https://doi.org/10.1121/1.4979927
- [33] Lombard, E. (1911). The sign of the elevation of the voice. *Annales des Maladies de l'Oreille, du Larynx, du Nez et du Pharynx*, (37), 101–119.  
https://paul.sobriquet.net/wp-content/uploads/2007/02/lombard-1911-p-h-mason-2006.pdf
- [34] Lu, Y., & Cooke, M. (2008). Speech production modifications produced by competing talkers, babble, and stationary noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 124(5), 3261–3275.  
DOI: https://doi.org/10.1121/1.2990705
- [35] Maheswari, S. U., Shahina, A., & Khan, N. A. (2025). Spectral Mapping of Lombard Speech to Normal Speech: A Deep Learning Approach to Improved Lombard Effect Compensation. *Fluctuation and Noise Letters*, 24(4).  
DOI: https://doi.org/10.1142/S0219477525500439
- [36] Marxer, R., Barker, J., Alghamdi, N., & Maddock, S. (2018). The impact of the Lombard effect on audio and visual speech recognition systems. *Speech Communication*, (100), 58–68.  
DOI: https://doi.org/10.1016/j.specom.2018.04.006
- [37] Moore, B. C. J. (2013). *An Introduction to the Psychology of Hearing* (6th ed.). Leiden – Boston: Brill.  
https://web.uvic.ca/~aschloss/course\_mat/MUS%20511/articles/An%20Introduction%20to%20the%20Psychology%20of%20Hearing%20by%20Brian%20Moore%206th%20Edition.pdf
- [38] Morrison, G. S. (2009). Forensic voice comparison and the paradigm shift. *Science & Justice*, 49(4), 298–308.  
DOI: https://doi.org/10.1016/j.scijus.2009.09.002
- [39] Morrison, G. S., Enzinger, E., Hughes, V., Jessen, M., Meuwly, D., Neumann, C., Planting, S., Thompson, W. C., van der Vloed, D., Ypma, R. J. F., Zhang, C., Anonymous, A., & Anonymous, B. (2021). Consensus on validation of forensic voice comparison. *Science & justice: journal of the Forensic Science Society*, 61(3), 299–309.  
DOI: https://doi.org/10.1016/j.scijus.2021.02.002
- [40] Morrison, G. S., & Zhang, C. (2022). Forensic voice comparison – Overview. In M. Houck, H. Eldridge, S. Lewis, K. Lothridge, P. Reedy, & L. Wilson (Eds.), *Encyclopedia of Forensic Sciences* (3 ed., Vol. 2, pp. 737–750).  
DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823677-2.00130-6
- [41] Ngo, T. V., Kubo, R., & Akagi, M. (2020). Mimicking Lombard Effect: An Analysis and Reconstruction. *IEICE Transactions on Information and Systems*, E103.D(5), 1108–1117.  
DOI: https://doi.org/10.1587/transinf.2019edp7260
- [42] Niebuhr, O., Skarnitzl, R., & Tylečková, L. (2018). The acoustic fingerprint of a charismatic voice – Initial evidence from correlations between long-term spectral features and listener ratings. *Speech Prosody*, (73), 359–363.  
DOI: https://doi.org/10.21437/SpeechProsody.2018-73

- [43] Nogales, A., Caracuel-Cayuela, J., & García-Tejedor, Á. J. (2024). Analyzing the Influence of Diverse Background Noises on Voice Transmission: A Deep Learning Approach to Noise Suppression. *Applied Sciences*, 14(2), 740. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14020740>
- [44] Ozker, M., Doyle, W., Devinsky, O., & Flinker, A. (2022). A cortical network processes auditory error signals during human speech production to maintain fluency. *PLoS Biology*, 20(2), e3001493. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001493>
- [45] Rose, P. (2002). *Forensic Speaker Identification*. London: CRC Press. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780203166369>
- [46] Saba, J. N., & Hansen, J. H. L. (2022). The effects of Lombard perturbation on speech intelligibility in noise for normal hearing and cochlear implant listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 151(2), 1007. DOI: <https://doi.org/10.1121/10.0009377>
- [47] Shelepko, S. M. (2024). Movoznavchi metody doslidzhennia holosu ta movlennia liudyny (na materiali sudovoi ekspertyzy video-, zvukozapysu) [Linguistic methods of human voice and speech research (on the material of forensic video sound recording)]. *Yurydychnyi naukovyi ta elektronnyi zhurnal*, (1), 652–655 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0374/2024-1/155>
- [48] Shen, C., Cooke, M., & Janse, E. (2023). Speaking in the presence of noise: Consistency of acoustic properties in clear-Lombard speech over time. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 153(4), 2165–2177. DOI: <https://doi.org/10.1121/10.0017769>
- [49] Stowe, L. M., & Golob, E. J. (2013). Evidence that the Lombard effect is frequency-specific in humans. *Journal of the Acoustical Society of America*, 134(1), 640–647. DOI: <https://doi.org/10.1121/1.4807645>
- [50] Summers, W. V., Pisoni, D. B., Bernacki, R. H., Pedlow, R. I., & Stokes, M. A. (1988). Effects of noise on speech production: Acoustic and perceptual analyses. *Journal of the Acoustical Society of America*, 84(3), 917–928. DOI: <https://doi.org/10.1121/1.396660>
- [51] Trujillo, J., Özyürek, A., Holler, J., & Drijvers, L. (2021). Speakers exhibit a multimodal Lombard effect in noise. *Scientific reports*, 11(1), 16721. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95791-0>
- [52] Tuomainen, O., Taschenberger, L., Rosen, S., & Hazan, V. (2022). Speech modifications in interactive speech: effects of age, sex and noise type. *Philosophical Transactions of the Royal Society: Biological Sciences*, 377(1841), 20200398. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0398>
- [53] Xu, C., & Yang, Y. (2023). Compensation of Lombard effect in speech enhancement. In *Proceedings Volume 12716: Third International Conference on Digital Signal and Computer Communications (DSCC 2023)* (p. 1271616). DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2685521>
- [54] Zollinger, S. A., & Brumm, H. (2011). The Lombard effect. *Current Biology*, 21(16), R614–R615. [https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822\(11\)00648-8](https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822(11)00648-8)

### Список використаних джерел

- [1] Alves M. do C., Mancini P. C., Teixeira L. C. Modifications of auditory feedback and its effects on the voice of adult subjects: a scoping review. *CoDAS*. 2024. Vol. 36. Iss. 1. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-1782/20232022202en>
- [2] Bai Z., Zhang X.-L. Speaker recognition based on deep learning: An overview. *Neural Networks*. 2021. Vol. 140. P. 65–99. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2021.03.004>
- [3] Борухов Д. О. Особливості призначення та проведення судових експертиз під час розслідування пропаганди війни. *Київський часопис права*. 2025. № 3. С. 317–323. DOI: <https://doi.org/10.32782/klj/2025.3.45>
- [4] Bottalico P. Lombard effect, ambient noise, and willingness to spend time and money in a restaurant. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2018. No 144(3). P. EL209–EL214. DOI: <https://doi.org/10.1121/1.5055018>
- [5] Bottalico P., Passione I. I., Graetzer S., Hunter E. J. Evaluation of the starting point of the Lombard Effect. *Acta Acustica united with Acustica*. 2017. Vol. 103. No 1. P. 169–172. DOI: <https://doi.org/10.3813/AAA.919043>
- [6] Bottalico P., Piper R. N., Legner B. Lombard effect, intelligibility, ambient noise, and willingness to spend time and money in a restaurant amongst older adults. *Scientific Reports*. 2022. No 12(1). DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10414-6>
- [7] Bottalico P., Murgia S. The Effect of the Frequency and Energetic Content of Broadband Noise on the Lombard Effect and Speech Intelligibility. *Acoustics*. 2023. No 5(4). P. 898–908. DOI: <https://doi.org/10.3390/acoustics5040052>
- [8] Брендель О., Нікулін К., Асланова Е. Можливості експертизи відео-, звукозапису під час розслідування злочинів, пов'язаних із торгівлею людьми. *Теорія та практика судової експертизи і криміналістики*. 2022. № 2(27). С. 131–145. DOI: <https://doi.org/10.32353/khrife.2.2022.10>
- [9] Brumm H., Zollinger S. A. The evolution of the Lombard effect: 100 years of psychoacoustic research. *Behaviour*. 2011. Vol. 148. No 11–13. P. 1173–1198. DOI: <https://doi.org/10.2307/41445240>
- [10] Cavalcanti J. C., Eriksson A., Barbosa P. A. Acoustic analysis of vowel formant frequencies in genetically-related and nongenetically related speakers with implications for forensic speaker comparison. *PLoS ONE*. 2021. No 16(2). Art. e0246645.

- DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246645>
- [11] Castro C., Rivera L. Z., Prado P., Cuadros J., Cortés J. P., Weinstein A., Espinoza V., Zaňartu M. Acoustic and Neurophysiological Aspects of Lombard Effect. 2022.  
DOI: <https://doi.org/10.1101/2022.09.30.510383>
- [12] Chan R. K. W. Evidential value of voice quality acoustics in forensic voice comparison. *Forensic Science International*. 2023. Vol. 348. Art. 111725.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2023.111725>
- [13] Cooke M., Lu Y. Spectral and temporal changes to speech produced in the presence of energetic and informational maskers. *Journal of the Acoustical Society of America*. 2010. Vol. 128. No 4. P. 2059–2069.  
DOI: <https://doi.org/10.1121/1.3478775>
- [14] Dorado-Correa A. M., Zollinger S. A., Brumm H. Vocal plasticity in mallards: multiple signal changes in noise and the evolution of the Lombard effect in birds. *Journal of Avian Biology*. 2017. No 49(1).  
DOI: <https://doi.org/10.1111/jav.01564>
- [15] Elie B., Šimko J., Turk A. Optimization-based modeling of Lombard speech articulation: Supraglottal characteristics. *JASA Express Letters*. 2024. Vol. 4. Iss. 1. Art. 015204.  
DOI: <https://doi.org/10.1121/10.0024364>
- [16] Garnier M., Henrich N., Dubois D. Influence of sound immersion and communicative interaction on the Lombard effect. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2010. Vol. 53. No 3. P. 588–608.  
DOI: [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2009\)08-0138](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2009)08-0138)
- [17] Garnier M., Henrich N. Speaking in noise: How does the Lombard effect improve acoustic contrasts between speech and ambient noise? *Computer Speech and Language*. 2014. Vol. 28. No 2. P. 580–597.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csl.2013.07.005>
- [18] Hansen J. H., Varadarajan V. S. Analysis and compensation of Lombard speech across noise type and levels with application to in-set/out-of-set speaker recognition. *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*. 2009. Vol. 17. No 2. P. 366–378.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TASL.2008.2009019>
- [19] Гарасюк А. О., Глюк І. Р., Вдовенко М. В., Педченко О. І., Луньова С. А. Аналіз спектральних характеристик української та декількох європейських мов. *Mikrosystemy, Elektronika ta Akustyka*. No 24(4). P. 62–67.  
DOI: <https://doi.org/10.20535/2523-4455.2019.24.4.187722>
- [20] Іщенко О. С. Акустичні характеристики голосних звуків української мови (експериментально-фонетичне дослідження). *Українська мова*. 2008. № 4. С. 102–111.  
URI: <https://phonetica.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/10/02.pdf>
- [21] Іщенко О. С. Залежність акустичних характеристик голосних звуків української мови від темпу мовлення. *Вісник Черкаського університету. Серія : Філологічні науки*. 2009. № 140. С. 15–24.  
URI: <https://eprints.cdu.edu.ua/1409/1/140-15-24.pdf>
- [22] Іщенко О. С. Акустична класифікація українських голосних звуків. *Dialog der Sprachen, Dialog der Kulturen. Die Ukraine aus globaler Sicht : I Internationale virtuelle Konferenz der Ukrainistik*. München ; Berlin : Verlag Otto Sagner, 2011. S. 68–79.
- [23] Іщенко О. С. Деякі зауваги про звуки [i], [и] в українській мові. *На хвилях мови. Аллі Йосипівні Багмут / упоряд. О. С. Іщенко*. Київ : КММ, 2011. С. 249–255.
- [24] Іщенко О. С. Голосні звуки української мови залежно від темпу мовлення : монографія. Київ : Інститут укр. мови НАН України, 2012. 220 с.
- [25] Kaçol K., Korvel G., Tamulevičius G., Kostek B. Detecting Lombard Speech Using Deep Learning Approach. *Sensors*. 2022. No 23(1). Art. 315.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/s23010315>
- [26] Kelly F., Hansen J. H. L. Analysis and Calibration of Lombard Effect and Whisper for Speaker Recognition. *IEEE/ACM transactions on audio, speech, and language processing*. 2021. No 29. P. 927–942.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/taslp.2021.3053388>
- [27] Klug K., Jessen M., Solewicz Y. A., Wagner I. Collection and analysis of multi-condition audio recordings for forensic automatic speaker recognition. *L'individualità del parlante nelle scienze fonetiche: applicazioni tecnologiche e forensi. Speaker individuality in phonetics and speech sciences: speech technology and forensic applications / Eds. C. Bernardasci, D. Dipino, D. Garassino, S. Negrinelli, E. Pellegrino, S. Schmid*. Milano : Officinaventuno, 2021. P. 57–76.  
DOI: <https://doi.org/10.17469/O2108AISV000003>
- [28] Korvel G., Kaçol K., Kostek B. Applying the Lombard Effect to Speech-in-Noise Communication. *Electronics*. 2023. No 12. Art. 4933.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics12244933>
- [29] Kunc H. P., Morrison K., Schmidt R. A meta-analysis on the evolution of the Lombard effect reveals that amplitude adjustments are a widespread vertebrate mechanism. *PNAS*. 2022. No 119(30). Art. e2117809119.  
DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2117809119>
- [30] Lane H., Tranel B. The Lombard sign and the role of hearing in speech. *Journal of Speech and Hearing Research*. 1971. No 14(4). P. 677–709.  
DOI: <https://doi.org/10.1044/jshr.1404.677>
- [31] Le D., Shih C., Tang Y. Distortion in Tone Production due to the Lombard Effect. *1st International Conference on Tone and Intonation (TAI)*, Sonderborg, Denmark, 6–9 December 2021. Denmark, 2021. P. 76–80.  
DOI: <https://doi.org/10.21437/TAI.2021-16>
- [32] Lee J., Ali H., Ziaei A., Tobey E. A., Hansen J. H. L. The Lombard effect observed in speech produced by cochlear implant users in noisy environments: A naturalistic study. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2017.

- No 141(4). P. 2788–2799.  
DOI: <https://doi.org/10.1121/1.4979927>
- [33] Lombard E. The sign of the elevation of the voice. *Annales des Maladies de l'Oreille, du Larynx, du Nez et du Pharynx*. 1911. No 37. P. 101–119.  
URL: <https://paul.sobriquet.net/wp-content/uploads/2007/02/lombard-1911-p-h-mason-2006.pdf>
- [34] Lu Y., Cooke M. Speech production modifications produced by competing talkers, babble, and stationary noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2008. Vol. 124. Iss. 5. P. 3261–3275.  
DOI: <https://doi.org/10.1121/1.2990705>
- [35] Maheswari S. U., Shahina A., Khan N. A. Spectral Mapping of Lombard Speech to Normal Speech: A Deep Learning Approach to Improved Lombard Effect Compensation. *Fluctuation and Noise Letters*. 2025. No 4. Vol. 24.  
DOI: <https://doi.org/10.1142/S0219477525500439>
- [36] Marxer R., Barker J., Alghamdi N., Maddock S. The impact of the Lombard effect on audio and visual speech recognition systems. *Speech Communication*. 2018. Vol. 100. P. 58–68.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.specom.2018.04.006>
- [37] Moore B. C. J. (2013). An Introduction to the Psychology of Hearing. 6th ed. Leiden ; Boston : Brill. 441 c.  
URL: [https://web.uvic.ca/~aschloss/course\\_mat/MUS%20511/articles/An%20Introduction%20to%20the%20Psychology%20of%20Hearing%20by%20Brian%20Moore%206th%20Edition.pdf](https://web.uvic.ca/~aschloss/course_mat/MUS%20511/articles/An%20Introduction%20to%20the%20Psychology%20of%20Hearing%20by%20Brian%20Moore%206th%20Edition.pdf)
- [38] Morrison G. S. Forensic voice comparison and the paradigm shift. *Science & Justice*. 2009. Vol. 49. No 4. P. 298–308.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2009.09.002>
- [39] Consensus on validation of forensic voice comparison / Morrison G. S. et al. *Science & justice: journal of the Forensic Science Society*. 2021. No 61(3). P. 299–309.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2021.02.002>
- [40] Morrison G. S., Zhang C. Forensic voice comparison: Overview. *Encyclopedia of Forensic Sciences* / Eds. Houck M., Wilson L., Eldridge H., Lewis S., Lothridge K., Reedy P. 3rd ed. Vol. 2. Elsevier, 2022. P. 737–750.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823677-2.00130-6>
- [41] Ngo T. V., Kubo R., Akagi M. Mimicking Lombard Effect: An Analysis and Reconstruction. *IEICE Transactions on Information and Systems*. 2020. No E103.D(5). P. 1108–1117.  
DOI: <https://doi.org/10.1587/transinf.2019edp7260>
- [42] Niebuhr O., Skarnitzl R., Tylečková L. The acoustic fingerprint of a charismatic voice – Initial evidence from correlations between long-term spectral features and listener ratings. *Speech Prosody*. 2018. No 73. P. 359–363.  
DOI: <https://doi.org/10.21437/SpeechProsody.2018-73>
- [43] Nogales A., Caracuel-Cayuela J., García-Tejedor Á. J. Analyzing the Influence of Diverse Background Noises on Voice Transmission: A Deep Learning Approach to Noise Suppression. 2024. *Applied Sciences*. No 14(2). P. 740.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/app14020740>
- [44] Ozker M., Doyle W., Devinsky O., Flinker A. A cortical network processes auditory error signals during human speech production to maintain fluency. *PLOS Biology*. 2022. No 20(2). Art. e3001493.  
DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001493>
- [45] Rose P. Forensic Speaker Identification. London : CRC Press, 2002. 380 p.  
DOI: <https://doi.org/10.1201/9780203166369>
- [46] Saba J. N., Hansen J. H. L. The effects of Lombard perturbation on speech intelligibility in noise for normal hearing and cochlear implant listeners. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2022. No 151(2). Art. 1007.  
DOI: <https://doi.org/10.1121/10.0009377>
- [47] Шелепкова С. М. Мовознавчі методи дослідження голосу та мовлення людини (на матеріалі судової експертизи відео-, звукозапису). *Юридичний науковий та електронний журнал*. 2024. № 1. С. 652–655.  
DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0374/2024-1/155>
- [48] Shen C., Cooke M., Janse E. Speaking in the presence of noise: Consistency of acoustic properties in clear-Lombard speech over time. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2023. Vol. 153. Iss. 4. Art. 2165–2177.  
DOI: <https://doi.org/10.1121/10.0017769>
- [49] Stowe L. M., Golob E. J. Evidence that the Lombard effect is frequency-specific in humans. *Journal of the Acoustical Society of America*. 2013. No 134(1). P. 640–647.  
DOI: <https://doi.org/10.1121/1.4807645>
- [50] Summers W. V., Pisoni D. B., Bernacki R. H., Pedlow R. I., Stokes M. A. Effects of noise on speech production: Acoustic and perceptual analyses. *Journal of the Acoustical Society of America*. 1988. Vol. 84. No 3. P. 917–928.  
DOI: <https://doi.org/10.1121/1.396660>
- [51] Trujillo J., Özyürek A., Holler J., Drijvers L. Speakers exhibit a multimodal Lombard effect in noise. *Scientific reports*. 2021. No 11(1). Art. 16721.  
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95791-0>
- [52] Tuomainen O., Taschenberger L., Rosen S., Hazan V. Speech modifications in interactive speech: effects of age, sex and noise type. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2022. Vol. 377. No 1841. Art. 20200398.  
DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0398>
- [53] Xu C., Yang Y. Compensation of Lombard effect in speech enhancement. *Proceedings Volume 12716: Third International Conference on Digital Signal and Computer Communications (DSCC 2023)*. 2023. P. 1271616.  
DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2685521>
- [54] Zollinger S. A., Brumm H. The Lombard effect. *Current Biology*. 2011. Vol. 21. No 16. P. R614–R615.  
URL: [https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822\(11\)00648-8](https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822(11)00648-8)

**I. Rymar,**

*Cand. Sc. (History),*

*Head of the Audio and Video Recording*

*Research Department at the*

*Information Technology Research Laboratory,*

*Kyiv Scientific Research Forensic Center, MIA of Ukraine*

5 Gareth Jones St., Kyiv, 04119, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6153-0900>

email: [ihor.rymar@outlook.com](mailto:ihor.rymar@outlook.com)

## **THE IMPACT OF THE ACOUSTIC ENVIRONMENT ON THE STABILITY OF SPEAKER-SPECIFIC SPEECH FEATURES: THE EFFECT OF LOMBARD**

**Abstract.** The relevance of this study is determined by the critical role of audio and video recording examination in contemporary judicial proceedings, where speaker identification by voice frequently constitutes decisive evidence; however, its reliability is substantially contingent upon the acoustic variability of speech across different environments. Among the least studied factors in national forensic practice is the Lombard effect – an involuntary vocal adaptation of a speaker to ambient noise that induces systematic modifications in speech, thereby creating the risk of erroneous expert conclusions. The aim of this article is a comprehensive analysis of the Lombard effect's influence on the stability of speaker-specific speech features and the development of error minimisation strategies in the forensic examination of audio and video recordings. The methodological foundation of the study comprises a system of general scientific and specialised methods of scholarly inquiry directed at a multifaceted analysis of academic contributions in the fields of speech acoustics, forensic phonetics, and criminalistics. Systematic analysis enabled the identification of interrelationships between the neurophysiological mechanisms underlying the Lombard effect, its acoustic manifestations, and the implications for forensic expert practice, while the application of general and specialised methods facilitated a conceptually grounded approach to the problem under investigation. The scientific novelty of the study lies in the comprehensive substantiation of the Lombard effect as a systemic factor of acoustic speech variability, with due regard for the specific features of the Ukrainian phonetic system – in particular, in the analysis of strategic approaches to minimising its adverse impact on speaker identification outcomes in forensic audio and video recording examination. Special emphasis is placed on the phenomenon of “false exclusion”, whereby a semi-automated or automated identification system, or a human expert, erroneously treats recordings of the same individual's voice as belonging to different persons due to a violation of the principle of equal recording conditions. The practical significance of the study is reflected in the proposed concrete strategies for mitigating the adverse influence of the Lombard effect: from procedures for the most accurate possible reproduction of the spectral characteristics of background noise during the collection of reference speech samples, to the implementation of hierarchical analytical models and normalised parameters. The study systematically substantiates the need to establish national specialised databases (comprising paired recordings stratified by age, sex, etc.) for the development of effective training programmes, a national speaker identification system, and state standards and methodologies, thereby enabling an enhancement of the objectivity of forensic expert conclusions.

**Keywords:** audio and video recording examination; fundamental frequency ( $F_0$ ); formant ( $F_1, F_2, F_3, F_4$ ); spectral analysis; acoustic variability.