ЕЛЕКТРОНІКА

УДК 621.372
DOI https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.6.1/56

Гребінь О.П.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Левенець Н.Ф.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Трапезон К.О.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Тронь І.В.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ПОРІВНЯННЯ ЕЛЕКТРОАКУСТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СИГНАЛІВ В КОНТЕКСТІ РОБОТИ ЗВУКОРЕЖИСЕРА

В роботі проаналізовано основні параметри мікрофонів та дана оцінка їх числових значень, зокрема що стосується електричних параметрів та електроакустичних характеристик останніх. До таких параметрів віднесено чутливість мікрофону, його внутрішній опір, частотний діапазон, діаграма спрямованості, тощо. Проте зазначені параметри, як це випливає з практичного досвіду, не в повному обсязі характеризують практичні характеристики пристрою і не у повному обсязі розкривають можливості мікрофона для професійної діяльності. Визначено параметри, які можна розрахувати, як доповнення до основних параметрів при різних практичних умовах застосування мікрофонів. Більше того, при практичному застосуванні мікрофонів завжди існує необхідність співставлення акустичних параметрів сигналів натурального звучання, які надходять на мікрофон, як за прямим параметром, так і за рівнем цього параметра, з відповідними параметрами електроакустичних перетворювачів мікрофонів.

Розглянуто математичні розрахунки параметрів мікрофонів, і результати яких можуть бути використані фахівцями в якості підґрунтя для подальшого вибору мікрофонів для їх практичного застосування, наприклад, в студіях звукозапису.

Для підтвердження практичного застосування розрахункових параметрів в статті наведено аналіз параметрів мікрофонів студійного призначення та проведено розрахунки додаткових практичних параметрів для моделей мікрофонів фірм AKG, Neumann та Shure. Знайдено, що серед обраних для аналізу мікрофонів за акустичними параметрами кращим вибором може бути мікрофон KSM44A (Shure). За електричними параметрами кращим мікрофоном можна назвати TLM193 (Neumann). За електроакустичними параметрами встановлено, що мікрофон TLM193 (Neumann) є умовно «золотою» серединою за параметрами. Разом з тим, мікрофон C314 (AKG) забезпечує краще звучання для вокалу, окремих інструментів у запису, а мікрофон KSM44A (Shure) ідеально підходить до загальнопланового, поверхневого запису сигналів. Мікрофон TLM193 (Neumann) є кращим серед розглянутих для більш чіткого передавання сигналів.

Ключові слова: *перетворювач, чутливість, мікрофон, опір, звуковий тиск, частотна характеристика, акустичний сигнал.*

© Гребінь О.П., Левенець Н.Ф., Трапезон К.О., Тронь І.В., 2025
Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

Постановка проблеми. Робота звукорежисера пов'язана із аналізом та обробленням різноманітних джерел звуку, які оцінюються на основі різних акустичних параметрів. До того ж, при використанні пристроїв оброблення сигналів, в студійних умовах, слід враховувати обов'язково і електронні джерела звуку, які характеризуються відповідними електричними параметрами звукового сигналу. Перетворення звукових акустичних сигналів в електричні і навпаки, забезпечують, як відомо, електроакустичні перетворювачі – мікрофони та гучномовці. Кожний такий електронний пристрій характеризується відповідними технічними параметрами, які визначають якісні показники отриманого кінцевого звукового контенту.

Мікрофон – електроакустичний перетворювач, який призначений для перетворення акустичних коливань повітряного середовища в електричний сигнал. Якщо в повній мірі оцінювати перетворення мікрофона, то він являє собою за принципом дії акусто-механо-електричний перетворювач. Серед основних параметрів мікрофонів, що є важливими при роботі звукорежисера можна виділити чутливість, частотний діапазон, внутрішній опір, коефіцієнт гармонічних спотворень, рівень власних завад, діаграма спрямованості. Крім цього, одним з основних параметрів мікрофону, наприклад для студійного запису, можна вважати звуковий тиск або рівень звукового тиску, що надходить на мікрофон. Натомість, зазначені вище параметри характеризують лише стандартні характеристики мікрофонів, і переважно дають можливість в цілому порівнювати мікрофони між собою, однак не в повному обсязі дозволяють визначити їх практичні (робочі) характеристики. Так параметри, що зазначають виробники електронного акустичного обладнання, до якого можна віднести мікрофони, не завжди повно розкривають практичні можливості та особливості цих акустичних пристроїв. Наприклад, який рівень вихідної напруги буде мати мікрофон якщо на нього буде діяти акустичний сигнал із звуковим тиском 10 Па, або, який звуковий тиск необхідно подати на мікрофон, щоб отримати рівень електричного сигналу 0 дБ, або, який рівень сигналу буде на виході мікрофона, що встановлений на відстані, наприклад, 5 метрів від джерела з визначеною інтенсивністю звуку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Електроакустичні перетворювачі до яких відносять і мікрофони, знаходять широке використання в різних сферах та напрямках сучасної науки і техніки.

В роботі [1] наведено підхід до поліпшення якості мовних сигналів в системі активних звукоізолюючих навушників, заснований на використанні масиву мікрофонів. Так масив мікрофонів захоплює мовні сигнали, змішані з цільовим шумом, і вони обробляються синхронно за допомогою вдосконаленого методу оцінки затримки узагальненої крос-кореляції (GCC), що включає спектральне віднімання сигналів.

В статті [2] мікрофон використовується для оцінки шуму, який створюється внаслідок вібрації між обробним інструментом та заготовкою і такий аналіз проведено авторами роботи з використанням інструментів машинного навчання. Більше того, мікрофон в даному випадку виступає, як вимірювальний елемент реєстрації акустичних сигналів на етапі фрезерування деталі. На відміну від цього, дослідження в роботі [3] розглянуто MEMS-мікрофони в якості мікрофонів тиску для вимірювання коливань тиску на стінці в профільному елементі 30P30N.

Постановка завдання. Метою статті є експериментальна оцінка розрахункових співвідношень для визначення основних технічних параметрів трьох обраних моделей мікрофонів з подальшим проведенням їх порівняльного аналізу для практичного застосування в студіях аудіо- та звукозапису.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні завдання:

– визначення та класифікація основних технічних параметрів мікрофонів з розподілом їх на окремі групи;

– на основі розрахованих технічних параметрів проведення порівняльного аналізу мікрофонів;

– аналіз частотних характеристик та діаграм спрямованості для обраних трьох різних видів мікрофонів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Мікрофон за принципом функціонування є електроакустичним перетворювачем [4], і його технічні параметри можна умовно поділити на три групи за параметрами – електроакустичні параметри, акустичні параметри та електричні параметри. Такий поділ більш детально пояснює, яку характеристику більше визначає даний параметр – акустичну чи електричну. Зазвичай, у специфікації на мікрофон такого розділення не передбачено.

Електроакустичні параметри відображають взаємозв'язок між акустичними параметрами, що характеризуються параметрами звуку і його розповсюдженням у повітряному середовищі, та електричними параметрами, які визначають електричні «еквіваленти» (представлення) акустичних

параметрів. До цих параметрів відноситься чутливість, номінальний діапазон частот, частотна характеристика та її нерівномірність, рівень власних завад, динамічний діапазон.

Електричні параметри характеризують мікрофон з точки зору визначення електричних складових або електричних параметрів, приведених до акустичного параметра без урахування самого акустичного параметра, і саме ці параметри виражаються через напругу, опір, струм, потужність, а також дозволяють оцінити особливості включення мікрофона в електричні кола. До цих параметрів також можна віднести внутрішній опір мікрофона, повний коефіцієнт гармонічних спотворень.

Акустичні параметри відображають параметри мікрофона щодо його акустичних умов та акустичних параметрів сигналу, а саме, сприйняття мікрофоном акустичних сигналів. До цих параметрів відносять рівень максимального звукового тиску та характеристику або діаграму спрямованості.

Вимоги до параметрів мікрофонів та методи їх вимірювання зазначено у міжнародних стандартах IEC 60268 ч. 1, 4, 22 [5, 6, 7], IEC 60581 [8], IEC 61094 ч. 1, 4, 8 [9, 10, 11], IEC 61842 [12], тощо. Разом з тим, в міжнародних стандартах нормують тільки методи вимірювань, а параметри визначає сама фірма-виробник акустичного обладнання. В специфікаціях на мікрофони виробники зазвичай зазначають конструктивні особливості мікрофонів, зокрема, тип мікрофона (конденсаторний, динамічний, тощо), розміри, тип перетворювача (приймач тиску чи градієнта тиску, або комбінований); електричні параметри перетворювача, наприклад, напругу «фантомного» живлення для конденсаторних мікрофонів [13].

Чутливість мікрофона – параметр, який в першу чергу аналізується при визначенні якісних характеристик мікрофона. Чутливість мікрофона E визначається через напругу на виході мікрофона $U_{вих}$ при підведенні до нього деякого значення звукового тиску $p_{зв}$:

$$E = U / p_{зв},\ \text{мВ/Па}. \qquad (1)$$

В деяких популярних виданнях, наприклад в [13], чутливість визначають як параметр, який показує мінімальний рівень звуку, що приймає мікрофон. Але це не зовсім так. Щоб мікрофони можна було порівнювати між собою запроваджуються стандартні умови вимірювання чутливості і, відповідно, значення звукового тиску, при якому визначається чутливість. Зазвичай, при зазначенні чутливості мікрофона наводять рівень чутливості – чутливість, яка виражена в децибелах щодо величини 1 В/Па. Чутливість та рівень чутливості за своїм основним визначенням зазначає взаємозв'язок між акустичним параметром звукового сигналу (звуковий тиск) та електричним параметром – напругою. Чим більше значення чутливості мікрофона, тим він більш чутливий щодо тихих звуків і, відповідно, якісніший для певних умов застосування.

Враховуючи, що мікрофон є елементом електричного кола, що має власний імпеданс і є, по суті, генератором електричних сигналів, то при проходженні через нього електричного струму в ньому генеруються сигнали, які спричинені тепловими шумами в електричній частині мікрофона, а також флуктуаціями частинок в навколишньому середовищі, навіть за відсутністю будь-якого акустичного сигналу поблизу мікрофона, і це у свою чергу, призводить до появи напруги на виході мікрофона. Цю напругу розглядають як напругу власних шумів мікрофона. Хоча рівень власних шумів характеризує електричну складову мікрофона, який є компонентом електричного кола, його частіше співставляють з акустичним сигналом, який би створював напругу на виході мікрофона, що відповідає електричному рівню шуму.

Напругу шумів мікрофона можна визначити як рівень напруги власних шумів яку на практиці приводять до рівня акустичного сигналу (рівня звукового тиску), який би створював саме такий рівень напруги при відсутності вхідного звукового сигналу. Способи вимірювання рівня власних шумів мікрофонів дещо відрізняються в різних стандартах, тому зазвичай в сучасних каталогах наводяться два значення еквівалентного рівня шумів: за стандартом DIN 45412 (IEC 651) і за стандартом DIN 45405 (CCIR 468-2). Для першого випадку у вимірюваннях застосовують фільтр, який обмежує частотний діапазон відповідно зваженої стандартної кривої А (рис. 1), яка відповідає характеристиці сприйняття людиною звукових сигналів із середнім рівнем гучності. У другому випадку використовують криву С, яка має більш широкий частотний діапазон і відповідає більш гучнішому сигналу, що сприймає людина. Рівень шуму при вимірюванні із шкалою С буде більшим чим при вимірюванні із застосуванням шкали А.

Наприклад, в студійних конденсаторних мікрофонів власний рівень шуму $L_{ш}$ може знаходитись в межах $L_{шА}$=10-20 дБА (IEC651) або $L_{шС}$=20-30 дБС (CCIR 468-3).

Для визначення власних шумів мікрофонів співвідношення «сигнал/шум» теж обчислюють двома способами:

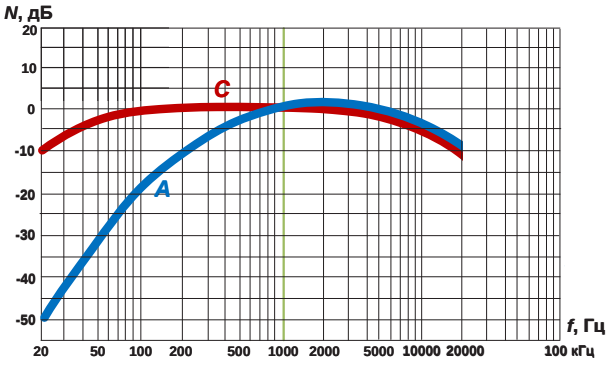

Рис. 1. Смуги пропускання вагових фільтрів A та C в звуковому діапазоні для визначення рівнів власних шумів мікрофонів

– *S/N* ratio (DIN / IEC651) – співвідношення «сигнал/шум», що обчислюється як різниця між опорним рівнем звукового тиску 94 дБ (1 Па) і еквівалентним рівнем шуму, виміряним за IEC 651;

– *S/N* ratio (CCIR 468-2) – співвідношення «сигнал/шум», яке обчислюється як різниця між рівнем 94 дБ і еквівалентним рівнем шуму, виміряним за CCIR 468-2.

Наприклад, для студійних конденсаторних мікрофонів ці величини знаходяться в межах:

$$S / N_{ratio\,IEC\,651} = L_1 - L_{ш(A)} = 94 - L_{ш(A)} = 74...84 \text{ дБ-А};$$

$$S / N_{ratio\,CCIR\,468-2} = L_1 - L_{ш(C)} = 94 - L_{ш(C)} = 64...74 \text{ дБ}.$$

Серед параметрів, які важливі в роботі звукорежисера, і що зазвичай не зазначають в паспортних даних на мікрофон, можна зазначити такі: рівень чутливості (при відсутності у специфікації та наведення у паспортних даних лише значення чутливості), стандартний рівень чутливості при номінальному навантаженні та навантаженні, що відповідає вхідному опору мікрофонного підсилювача мікшерного пульта, напруга або рівень напруги при відповідному значенні звукового тиску, напруга або рівень напруги при розташуванні мікрофона на зазначеній відстані, динамічний діапазон, відношення сигнал/шум, нерівномірність частотної характеристики, числові значення чутливості при розташуванні мікрофона під кутом до джерела, максимальна напруга або рівень напруги при визначених спотвореннях, звуковий тиск, який необхідно підвести до мікрофона, щоб отримати рівень електричного сигналу $N_м$ на виході мікрофона, наприклад, $N_м$ =0 дБ, звуковий тиск $p_{зв\,гр}$ при граничному рівні сигналу, рівень звукового електричного сигналу на виході мікрофона при підведенні акустичного сигналу, що відповідає максимальному рівню звукового тиску, відповідність електричного рівня на виході мікрофона акустичному рівню на вході мікрофона.

Стандартний рівень чутливості враховує електричну складову чутливості, тобто електричні параметри – опір навантаження, напруга на відповідному навантаженні, стандартна потужність, що виділяється на навантаженні. В технічних параметрах, зазвичай, стандартний рівень чутливості не наводиться, але за необхідністю можна встановити рівень напруги на виході мікрофона при відповідному навантаженні, що є важливим при узгодженні мікрофона з вхідними колами мікрофонного підсилювача.

Напругу та рівень напруги на виході мікрофона при відповідних значеннях рівня акустичного сигналу (рівня звукового тиску) на відстані 1 м з урахуванням паспортної чутливості мікрофона, тобто відповідність рівня акустичного сигналу електричному рівню, можна знайти за формулами:

$$U = 0{,}775 \cdot 10^{0{,}05 N_м}, \text{ В};$$

$$N_м = 20\lg\frac{U}{U_0} = 20\lg\frac{E_{ос} \cdot p_{зв}}{U_0} = 20\lg\frac{E_{ос} \cdot p_0 10^{\frac{L_p}{20}}}{0{,}775} = 20\lg\frac{E_{ос} \cdot 2 \cdot 10^{-5} 10^{\frac{L_p}{20}}}{0{,}775} =$$

$$= 20\lg(2{,}58 \cdot 10^{-5} E_{ос} \cdot 10^{\frac{L_p}{20}}) \approx -92 + 20\lg(E_{ос} \cdot 10^{\frac{L_p}{20}}), \text{ дБн.}$$

де $N_м$ – рівень електричного сигналу на виході мікрофона; $E_{ос}$ – осьова чутливість мікрофона; $p_{зв}$ – звуковий тиск; p_0 – звуковий тиск, що відповідає порогу чутності та нормоване значення звукового тиску відносно якого визначають рівень акустичного сигналу; L_p – рівень акустичного сигналу за звуковим тиском.

Для порівняння паспортних параметрів та розрахованих додаткових параметрів у табл. 1 наведено параметри трьох мікрофонів різних виробників – AKG, модель C314, Neumann – TLM193, Shure – KSM44A. Загальний вигляд цих мікрофонів наведено на рис. 2. Параметри мікрофонів взято з офіційних сайтів AKG – C314 [14], Neumann – TLM193 [15], Shure – KSM44A [16]. Наприклад, якщо мікрофон має чутливість 20 мВ/Па (AKG C314), то при звуковому тиску в 1 Па на його виході буде напруга 20 мВ, виходячи зі співвідношення (1). Відповідно, для мікрофона Neumann TLM193 при звуковому тиску в 1 Па на його виході буде напруга 18 мВ, а для Shure KSM44A – 28 мВ.

Якщо мікрофон має чутливість 1 мВ/Па, що характерно для динамічних мікрофонів, то при підведенні до нього сигналу з акустичним рівнем 40 дБ (0,002 Па), напруга на його виході буде становити 0,002 мВ, а рівень, приблизно, -112 дБ, що є менше власного рівня шуму окремих підсилювачів, і такий сигнал не буде визначатись як корисний від мікрофона.

Таблиця 1

Розраховані технічні параметри мікрофонів

Технічні параметри мікрофонів	C314, AKG	TLM193, Neumann	KSM44A, Shure
Рівень чутливості при навантаженні, що відповідає вхідному опору мікрофонного підсилювача, наприклад, 2,2 кОм, дБн	-36,3	-38,3	-34,5
Рівень електричного сигналу $N_м$ на виході мікрофона при визначеному звуковому тиску на відстані 1 м від джерела при звуковому тиску $p_{зв}$=20 Па, дБн	-5,7	-6,7	-2,8
Рівень електричного сигналу на виході мікрофона при звуковому тиску, наприклад, $p_{зв\ дж}$=100 Па на відстані 20 м від джерела, що має сферичний фронт звукової хвилі, дБн	-17,8	-18,7	-15
Рівень електричного сигналу на виході мікрофона при звуковому тиску, наприклад, $p_{зв\ дж}$=10 Па на відстані 10 см від джерела, що має сферичний фронт звукової хвилі, дБн	8,2	7,3	11,2
Напруга на виході мікрофона при звуковому тиску, наприклад, $p_{зв\ дж}$=10 Па на відстані 10 см від джерела, що має сферичний фронт звукової хвилі, В	2	1,8	2,8
Звуковий тиск при рівні електричного сигналу на виході мікрофона $N_м$ =0 дБ $p_{зв\ 0дБ}$, Па	38,75	43,06	27,7
Звуковий тиск при граничному рівні сигналу $p_{зв\ гр.}$, Па	112,5	200	200
Стандартний рівень чутливості при $R_{ном}$= R_i	-27	-22	-18
Динамічний діапазон D, дБ	127	130	136 (127)
Нерівномірність частотної характеристики	±5 дБ	+2/-5 дБ	+3/-5 дБ
Діапазон частот при нерівномірності ±3 дБ (-3 дБ)	20…6000 Гц	30…20000 Гц	20…18000 Гц
Перепад чутливості "фронт / тил" на частоті 1000 Гц, дБ	-17	менше, -23	менше, -25

а) б) в)

Рис. 2. Загальний вигляд мікрофонів C314 (AKG) (а), TLM193 (Neumann) (б) та KSM44A (Shure) (в)

Порівняння мікрофонів за технічними параметрами можна провести при включеній діаграмі спрямованості мікрофонів C314 (AKG) та KSM44A (Shure) в режимі кардіоїди. Обрані мікрофони, згідно даних таблиці 1 мають порівняно однакові параметри з невеликою різницею у значеннях. За чутливістю, порівнюючи наведені мікрофони найкращу чутливість має мікрофон KSM44A (Shure). Разом з тим, при достатньо гучних сигналах, або при наближенні цього мікрофона до джерела, вихідний рівень буде більше ніж у інших мікрофонів, і це може призвести до появи спотворень у сигналі, або сприйнятті сторонніх звуків, шумів, появи акустичного зворотного зв'язку у системах звукопідсилення, тощо. Враховуючи ці обставини мікрофон TLM193 (Neumann) може бути кращим варіантом серед обраних. Щодо узгодження за опором «імпеданс-вхідний опір підсилювача» найгіршим варіантом є мікрофон C314 (AKG), оскільки TLM193 (Neumann) та KSM44A (Shure) мають однаковий імпеданс. За рівнем власних шумів найкращим вибором буде мікрофон KSM44A (Shure), динамічний діапазон якого також достатньо великий.

За частотним діапазоном, відповідно специфікаціям, всі мікрофони мають однаковий частотний діапазон, але враховуючи найменшу нерівномірність у зазначеному діапазоні найкращим є мікрофон TLM193 (Neumann), і до речі, з нерівномірністю ±3 дБ схожий діапазон мають мікрофони TLM193 (Neumann) та KSM44A (Shure). Крім цього мікрофон TLM193 (Neumann) забезпечує більше ВЧ (до 20 кГц), у той час коли мікрофон KSM44A (Shure) забезпечує більше НЧ (до 20 Гц).

За формою частотної характеристики можна зазначити, що мікрофон C314 (AKG) дещо «підкреслює» сигнали у діапазоні 300…600 Гц (підсилення до +3 дБ), підсилює сигнали до +5 дБ у діапазоні 6…12 кГц, та приглушує сигнали у діапазоні 1…3 кГц (у межах -3 дБ), а також вище 15 кГц (до -5 дБ).

Для мікрофона TLM193 (Neumann), який характеризується незначною нелінійністю коливань в області ВЧ (3…20 кГц) в межах ±2 дБ

і невеликим спаданням до -5 дБ нижче 40 Гц, що практично не впливає на характеристику звуку після перетворення.

Мікрофон KSM44A (Shure) має ідеальну лінійність для НЧ сигналів в області частот до 3 кГц (нелінійність практично 0 дБ), «підкреслює» сигнали у діапазоні 3…12 кГц (підсилення до +2…3 дБ) та приглушує сигнали вище 16 кГц на 3…5 дБ. На рисунку 3 наведено отримані частотні характеристики та діаграми спрямованості мікрофонів: C314 (AKG) у режимі діаграми спрямованості кардіоїда та без включеного фільтра; TLM193 (Neumann); KSM44A, Shure у режимі діаграми спрямованості кардіоїда.

Аналіз отриманих діаграм спрямованості для кардіоїдної форми діаграми спрямованості показав, що рівень сигналу на виході мікрофона C314 (AKG) при розташуванні джерела на відстані 1 м від мікрофона та під кутом 90º, на частоті 1 кГц становитиме -3 дБ відносно рівня на осі, незалежно від початкового рівня акустичного сигналу (рис. 3, а). Під кутом 180º, тобто, з тильної сторони на тій же частоті рівень буде становити -17 дБ відносно рівня на осі. На частоті, наприклад, 16 кГц рівень сигналу на виході мікрофона під кутом 90º становитиме -30 дБ відносно рівня на осі, а з тильної сторони на тій же частоті буде становити теж -15 дБ.

Для мікрофона TLM193 (Neumann), відповідно діаграми спрямованості, рівень сигналу на виході мікрофона при розташуванні джерела на відстані 1 м від мікрофона й під кутом 90º, на частоті 1 кГц

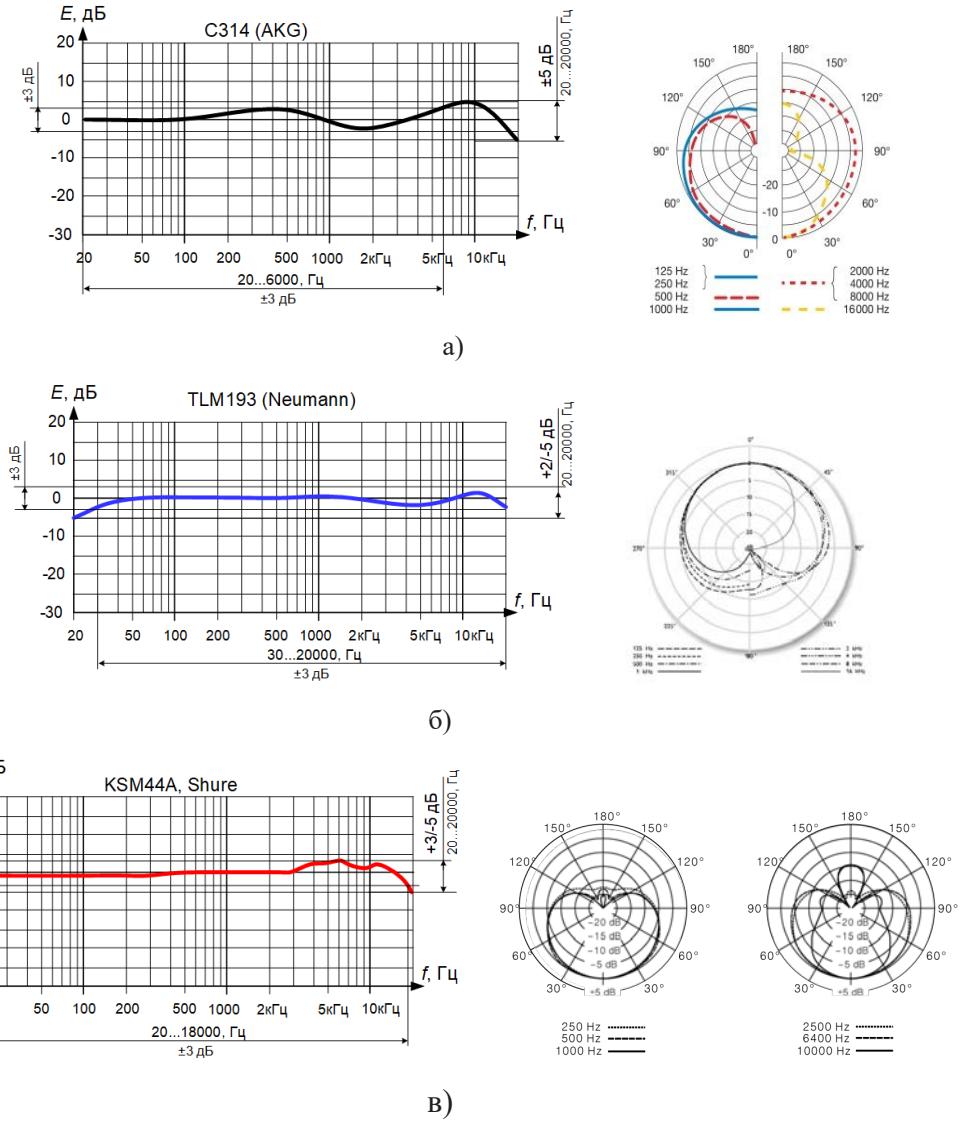

Рис. 3. Частотні характеристики та діаграми спрямованості мікрофонів C314 (AKG) у режимі діаграми спрямованості кардіоїда й без включеного фільтра (а), TLM193 (Neumann) (б) та KSM44A, Shure у режимі діаграми спрямованості кардіоїда (в)

становитиме -7 дБ відносно рівня на осі (рис. 3, б). Під кутом 180º, тобто, з тильної сторони на тій же частоті рівень буде становити приблизно -23 дБ відносно рівня на осі (що не зовсім чітко видно, адже діаграма обмежена рівнем -25 дБ). На частоті 16 кГц рівень сигналу на виході цього мікрофона під кутом 90º становитиме менше -25 дБ (на діаграмі -25 дБ найменше значення), а з тильної сторони на тій же частоті сигнал практично буде відсутній. На нижніх та середніх частотах мікрофон TLM193 (Neumann) має діаграму спрямованості у вигляді типової кардіоїди, а на 16 кГц спостерігається явне спрямування діаграми.

Мікрофон KSM44A (Shure) за отриманою діаграмою спрямованості для кардіоїдної форми створює рівень сигналу на виході мікрофона при розташуванні джерела на відстані 1 м від мікрофона й під кутом 90º, на частоті 1 кГц -7 дБ відносно рівня на осі (рис. 3, в). Під кутом 180º, тобто, з тильної сторони на тій же частоті мікрофон має невеликий «хвіст» і створює рівень приблизно -20 дБ відносно рівня на осі. На частоті 10 кГц рівень сигналу на виході цього мікрофона під кутом 90º становитиме -15 дБ, а з тильної сторони на тій же частоті додатковий «хвіст» створює сигнал з рівнем-10 дБ. Мікрофон KSM44A (Shure) має діаграму спрямованості не чисто кардіоїдної форми, а більше ця діаграма нагадує суперкардіоїду з різним перепадом чутливості «Фронт-тил».

Висновки. В статті наведено результати розрахунків основних параметрів трьох мікрофонів, і виконано розрахунки додаткових практичних параметрів та проведено порівняльний аналіз за їх окремими параметрами. На основі отриманих результатів, можна дійти висновку, що серед обраних для аналізу мікрофонів за акустичними параметрами кращим вибором є мікрофон KSM44A (Shure). За електричними параметрами кращим мікрофоном можна назвати TLM193 (Neumann). За електроакустичними параметрами встановлено, що мікрофон TLM193 (Neumann) є умовно «золотою» серединою за параметрами. Разом з тим, мікрофон C314 (AKG) буде забезпечувати краще звучання для вокалу, окремих інструментів у запису, а мікрофон KSM44A (Shure) ідеально підійде до загальнопланового, поверхневого запису сигналів, а мікрофон TLM193 (Neumann) для більш чіткого передавання сигналів.

Список літератури:

1. J. Liu, M. Li, N. Wang, “Speech Enhancement with Microphone Array for Active Soundproof Earmuffs,” Circuits Syst Signal Process, 44, 7966–7988, 2025, doi: 10.1007/s00034-025-03182-x

2. S. John, M. Alberts, J. Karandikar, “Predicting chatter using machine learning and acoustic signals from low-cost microphones,” Int J Adv Manuf Technol, 125, 5503–5518, 2023, doi: 10.1007/s00170-023-10918-z

3. R. Wei, Y. Liu, “Experimental study on the mode switching of strong-amplitude tones in slat noise,” Exp Fluids, 66, 25, 2025, doi: 10.1007/s00348-025-03956-8

4. Гребінь О. П., Швайченко В. Б., Левенець Н. Ф. Основи звукотехніки. Політехніка, 2023. 466 с.

5. Інтернет ресурс “Sound system equipment. Part 1: General”. URL: https://standardsclub.com/product/iec-60268-1-amd-1-ed-2-0-b1988/

6. Інтернет ресурс “Sound system equipment – Part 4: Microphones (IEC 60268-4:2018)”. URL: https://standardsclub.com/product/din-en-iec-60268-4/

7. Інтернет ресурс “Sound system equipment – Part 22: Electrical and mechanical measurements on transducers. IEC 60268”. URL: https://standardsclub.com/product/din-en-iec-60268-22/

8. Інтернет ресурс “High fidelity audio equipment and systems: Minimum performance requirements. Part 1: General. IEC 60581”. URL: https://standardsclub.com/product/iec-60581-1-ed-1-0-b1977/

9. Інтернет ресурс “Measurement microphones – Part 1: Specifications for laboratory standard microphones. IEC 61094”. URL: https://standardsclub.com/product/iec-61094-1-ed-2-0-b2000/

10. Інтернет ресурс “Measurement microphones – Part 4: Specifications for working standard microphones. IEC 61094”. URL: https://standardsclub.com/product/iec-61094-4-ed-1-0-b1995/

11. Інтернет ресурс “Measurement microphones – Part 8: Methods for determining the free-field sensitivity of working standard microphones by comparison (IEC 61094-8:2012)”. URL: https://standardsclub.com/product/din-en-61094-8/

12. Інтернет ресурс “Microphones and earphones for speech communications”. URL: https://standardsclub.com/product/iec-61842-ed-1-0-en2002/

13. Гребінь О. П., Швайченко В. Б., Левенець Н. Ф. Електроакустика. КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 145 с.

14. Інтернет ресурс “AKG – C314”. URL: https://www.akg.com/microphones/condenser-microphones/C314.html

15. Інтернет ресурс “Neumann – TLM193”. URL: https://www.neumann.com/en-us/products/microphones/tlm-193

16. Інтернет ресурс “Shure – KSM44A”. URL: https://www.shure.com/en-US/docs/guide/KSM44A

Grebin O.P., Levenets N.F., Trapezon K.O., Tron I.V. COMPARISON OF ELECTROACOUSTIC SIGNAL CONVERTERS IN THE CONTEXT OF SOUND ENGINEERING

The paper analyzes the main parameters of microphones and evaluates their numerical values, in particular with regard to the electrical parameters and electroacoustic characteristics of the latter. These parameters include microphone sensitivity, internal resistance, frequency range, directional pattern, etc. However, as practical experience shows, these parameters do not fully characterize the practical characteristics of the device and do not fully reveal the capabilities of the microphone for professional use. Parameters have been identified that can be calculated as a supplement to the main parameters under various practical conditions of microphone use. Moreover, in the practical application of microphones, there is always a need to compare the acoustic parameters of natural sound signals received by the microphone, both in terms of the direct parameter and the level of this parameter, with the corresponding parameters of the electroacoustic transducers of the microphones.

Mathematical calculations of microphone parameters are considered, the results of which can be used by specialists as a basis for the further selection of microphones for their practical application, for example, in recording studios.

To confirm the practical application of the calculated parameters, the article provides an analysis of the parameters of studio microphones and calculates additional practical parameters for microphone models from AKG, Neumann, and Shure. It was found that among the microphones selected for analysis based on acoustic parameters, the KSM44A (Shure) microphone may be the best choice. In terms of electrical parameters, the TLM193 (Neumann) can be called the best microphone. In terms of electroacoustic parameters, it was established that the TLM193 (Neumann) microphone is conditionally the "golden" middle ground in terms of parameters. At the same time, the C314 (AKG) microphone provides better sound for vocals and individual instruments in recording, while the KSM44A (Shure) microphone is ideal for general, surface recording of signals. The TLM193 (Neumann) microphone is the best among those considered for clearer signal transmission.

Key words: *transducer, sensitivity, microphone, resistance, sound pressure, frequency response, acoustic signal.*

Дата надходження статті: 17.11.2025
Дата прийняття статті: 04.12.2025
Опубліковано: 30.12.2025