

**ВИЯВЛЕННЯ ПОТЕНЦІЙНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ
ВУЗЬКОСПРЯМОВАНИХ МІКРОФОНІВ**

Машура А.П.

e-mail: andrii.mashura@nure.ua

Науковий керівник – проф. Олейніков А.М.

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

Directional microphones are widely used in acoustic monitoring and surveillance systems for remote detection of speech signals. Their efficiency is mainly determined by the directivity index, which characterizes the ability to enhance signals from the main direction while suppressing noise from other directions. This paper analyzes the relationship between the directivity index and the effective distance of acoustic signal reception. Different types of directional microphones, including linear arrays, tubular microphones, and reflector systems, are considered to evaluate their potential capabilities in practical applications.

Системи акустичної розвідки широко застосовуються для дистанційного приймання та аналізу акустичних сигналів. Одним із найбільш ефективних технічних засобів добування акустичної інформації є вузькоспрямовані мікрофони, які забезпечують просторову селекцію корисного сигналу та пригнічення завадових джерел. Основною характеристикою, що визначає ефективність таких систем, є індекс спрямованості мікрофона, який безпосередньо впливає на максимальну дальність розвідувального контакту та якість приймання акустичної інформації. Мікрофон виконує функцію акустоелектричного перетворення та забезпечує просторову вибірність сигналів.

Основними характеристиками мікрофонів є чутливість, частотна характеристика, рівень власного шуму та характеристика спрямованості. Характеристика спрямованості визначає залежність чутливості мікрофона від кута між робочою віссю мікрофона та напрямком на джерело звуку. Для оцінки просторової вибірковості використовується коефіцієнт спрямованості, який характеризує співвідношення чутливості мікрофона до сигналу з осьового напрямку та до завад, що надходять з інших напрямків. Індекс спрямованості визначається у децибелах і є одним з основних параметрів вузькоспрямованих мікрофонів.

Ефективність використання вузькоспрямованих мікрофонів у системах акустичної розвідки визначається дальністю розвідувального контакту R , яка залежить від співвідношення сигнал/шум на вході акустичного приймача та індексу спрямованості мікрофона. Збільшення індексу спрямованості призводить до підвищення просторової вибірковості та дозволяє збільшити максимальну відстань приймання корисного сигналу.

Для оцінки ефективності технічних засобів акустичної розвідки часто використовують відносну оцінку дальності розвідувального контакту порівняно з можливостями слухової системи людини.

Сучасні вузькоспрямовані мікрофони поділяються на кілька основних типів: комбіновані, трубчасті, лінійні групи мікрофонів та рефлекторні (параболічні) системи. Їх характеристики спрямованості описуються відповідними математичними моделями. Для різних типів мікрофонів аналітичні вирази для розрахунку характеристики спрямованості $R(\theta)$ та їх узагальнені характеристики наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняльні характеристики вузькоспрямованих мікрофонів

Тип вузьконаправленого мікрофона (ВНМ)	Формула для характеристики спрямованості $R(\theta)$	Узагальнююча характеристика
Комбіновані мікрофони	$R(\theta) = 1 - C + C \cos(\theta)$ де $C = \frac{E_{\text{здо}}}{E_{\text{д}} + E_{\text{здо}}}$	Низьке значення просторової вибіркості, $Q_{\text{max}} \approx 6$ дБ
Трубчасті мікрофони	$R(\theta) = \frac{\sin\left(n\pi\frac{d}{\lambda}(1 - \cos\theta)\right)}{n \sin\left(\pi\frac{d}{\lambda}(1 - \cos\theta)\right)}$ де n – кількість трубок d – крок приросту трубок λ – довжина хвилі	При однакових габаритах поступається лінійній групі за всіма параметрами; існує обмеження за максимальною робочою частотою
Лінійна група мікрофонів	$R(\theta) = \frac{\sin\left(n\pi\frac{d}{\lambda}\sin\theta\right)}{n \sin\left(\pi\frac{d}{\lambda}\sin\theta\right)}$ де n – кількість мікрофонів d – відстань між мікрофонами λ – довжина хвилі	Індекс спрямованості Q на високій частоті нижчий, ніж у рефлекторного ВНМ; існує обмеження за F_{max} можливе застосування цифрової обробки сигналів
Рефлекторні (параболічні) мікрофони	$R(\theta) = \frac{J_1(\psi)}{\psi/2}$ Де $\psi = \frac{2\pi}{\lambda} \rho_0 \sin\theta$	Найкраща просторова вибіркості на ВЧ; на НЧ поступається лінійній групі; обмеження по F_{max} відсутнє

Аналіз наведених характеристик показує, що параметри вузькоспрямованих мікрофонів значною мірою залежать від їхніх геометричних розмірів та робочої частоти. При цьому рефлекторні мікрофони забезпечують найбільшу просторову вибіркості у високочастотному діапазоні,

тоді як у нижній частині частотного спектра більш ефективними можуть бути лінійні групи мікрофонів.

Проведений аналіз показує, що індекс спрямованості вузькоспрямованих мікрофонів визначається їхніми геометричними параметрами та частотною залежністю характеристики спрямованості. Оцінювання ефективності таких мікрофонів доцільно проводити у мовному частотному діапазоні ($\approx 300\text{--}3400$ Гц), де зосереджена основна інформаційна складова мовного сигналу. У цьому діапазоні значення індексу спрямованості $Q(f)$ безпосередньо впливає на співвідношення сигнал/шум та рівень розбірливості мовлення на виході акустичного приймача.

У роботі розглянуто різні типи вузькоспрямованих мікрофонів та проведено їх порівняльний аналіз за значенням індексу спрямованості у мовному частотному діапазоні. Результати аналізу показали, що при однакових габаритних розмірах акустичних систем у середньо- та високочастотній частині мовного діапазону найбільш ефективним є рефлекторний (параболічний) мікрофон, який забезпечує більше значення індексу спрямованості та, відповідно, краще співвідношення сигнал/шум.

Отримані результати свідчать, що вибір типу вузькоспрямованого мікрофона та його геометричних параметрів повинен здійснюватися з урахуванням робочого частотного діапазону та значення індексу спрямованості Q , який визначає ефективність просторової селекції сигналу та максимальну дальність приймання мовної інформації.

Список використаних джерел:

1. Олейніков А. М., Бородавка А. В. Основні напрями вдосконалення засобів акустичної розвідки // Радіотехніка : Всеукр. міжвідомчий наук.-техн. збірник. – 2017. – Вип. 189. – С. 189–194.
2. Олейніков А. М., Войтенко А. О. Порівняльна характеристика параметрів вузькоспрямованих мікрофонів // Радіотехніка. – 2013. – Вип. 173. – С. 224–231.
3. Jespersen C. T., Kirkwood B. C., Groth J. Increasing the Effectiveness of Hearing Aid Directional Microphones // Seminars in Hearing. – 2021. – Vol. 42, №3. – P. 224–236.