

## СПОСІБ ПОКРАЩЕННЯ ДІАГРАМИ СПРЯМОВАНOSTІ ЛІНІЙНОЇ ГРУПИ МІКРОФОНІВ

Запропонований спосіб покращення діаграми спрямованості лінійної групи мікрофонів шляхом застосування спеціальної схеми акустичної системи (розміщення мікрофонів з різним кроком групи) та електричної схеми з частотним розділенням каналів.

**Ключові слова:** мікрофон, діаграма спрямованості, лінійна група.

Предложен способ улучшения диаграммы направленности линейной группы микрофонов путем применения специальной схемы акустической системы (размещение микрофонов с разным шагом группы) и электрической схемы с частотным разделением каналов.

**Ключевые слова:** микрофон, диаграмма направленности, линейная группа.

Method of improvement of directional diagram of microphones linear group by use of the special scheme of the acoustic system (placing of microphones is with the different step of group) and by use of the frequency-division channels electric scheme

**Keywords:** microphone, directional diagram, linear group.

Говорячи про направлені мікрофони, мають на увазі перш за все акустичний контроль джерел звуків на відкритому просторі. Такі просторові направляючі системи (спрямовані мікрофони) застосовують у випадках коли співвідношення сигнал/шум на виході мікрофону (в подальшому і на виході попереднього підсилювача) буває недостатнім. На відміну від звичайних, спрямовані мікрофони повинні мати:

- високу граничну акустичну чутливість, як гарантію того, що ослаблений звуковий сигнал перевищить рівень власних шумів приймача;

- високу спрямованість дії (забезпечення просторової вибіркової акустичних хвиль), як гарантію того, що ослаблений звуковий сигнал перевищить рівень залишкових зовнішніх завад.

Перше досягається застосуванням підсилювачів низької частоти з низьким рівнем шуму. Друге напряму залежить від конструкції та принципу роботи спрямованого мікрофону. Вдале поєднання електричної частини схеми та акустичної системи дозволяє збільшити індекс спрямованості. Інформативна смуга частот людської мови складає від 0,3 до 3,4 кГц. Тому достатньо здійсню-

вати підсилення акустичних і електричних сигналів саме в цій смузі частот, що додатково підвищує співвідношення сигнал/шум за рахунок фільтрації шумових компонент, які лежать за межами даного діапазону.

Одним з перспективних видів спрямованих мікрофонів є групові, які складаються з мікрофонів, що зазвичай розташовуються в ряд по прямій горизонтальній лінії так, щоб їх осі були паралельні один одному (рис. 1) [1, 3]. Електричні виходи акустичних приймачів послідовно сполучають у спеціальному змішувачі. Такого типу мікрофони зазвичай застосовуються для специфічних задач. Наприклад, в адаптивних методах, що призначені для виявлення джерела звуку у просторі (напрямку на джерело, відстань, акустична локація), де точність встановлення позиціонування залежить від діаграми спрямованості (ДС). Відмінність її від кардіоїди призводить до додаткового сприймання бокових шумів, внаслідок чого погіршується співвідношення сигнал/шум, та приход відбитої хвилі в якусь з бічних пелюсток вводить додаткову похибку у визначення положення джерела звуку. Використовуються такі мікрофони у системах, що зменшують шум при запису голосу (в телефонах, систе-

мах розпізнавання мови, в слухових апаратах); високоякісного запису "об'ємного" звуку тощо.

Діаграма спрямованості створюється за рахунок різниці приходу в часі акустичної хвилі, яка приходить під деяким кутом до осі групи, до кожного з мікрофонів групи. Отримані сигнали матимуть різницю фаз, що залежатиме від кута падіння звукової хвилі відносно до осі групи.

Недоліком є зміна ширини основної пелюстки в залежності від довжини хвилі акустичних коливань. На низьких частотах вона широка і починає звужуватися близько 800 Гц. Крім того, якщо половина довжини акустичної хвилі більше відстані між мікрофонами, то основна пелюстка діаграми ділиться на декілька і рівень бічних пелюсток зростає. Ці недоліки впливають на співвідношення сигнал/шум на різних довжинах акустичних хвиль.

Характеристика спрямованості такої лінійної групи  $R(\theta)$  із  $N$ -елементів визначається як добуток характеристики спрямованості одиночного приймача  $R_1(\theta)$  на характеристику групи [1].

$$R(\theta) = R_1(\theta) \left( \frac{\sin Nx}{N \sin x} \right), \quad (1)$$

де  $x = \pi(d/\lambda) \sin \theta$ , а  $d$  – відстань між окремими приймачами.

З аналізу формули можна зробити висновок, що діаграма спрямованості залежатиме від кількості мікрофонів у групі та відстані між ними. Чим менше відношення довжини

хвилі  $\lambda$  акустичного сигналу до довжини групи  $l=(N-1)d$ , тим вужчою буде основна пелюстка діаграми спрямованості і більшим індекс спрямованості.

Числове значення ширини основної пелюстки визначається із співвідношення [1]

$$\vartheta_1 = \arcsin(\lambda/l). \quad (2)$$

Наприклад, в літературі вказано, що для групового приймача, який складається з шести неспрямованих мікрофонів, розташованих на прямій лінії з кроком  $d=10$  см ( $l=50$  см) і прийнятою частотою сигналу  $f=1000$  Гц ( $\lambda=33$  см), ширина основної пелюстки складає величину  $\theta_1=41^\circ$  [1]. Розрахунок індексу спрямованості для цієї групи дає величину 8 дБ. Для такої групи проявляються вищезгадані недоліки (рис.2). На частотах вище 1000 Гц діаграма "розщеплюється".

Для усунення "розщеплення" основної пелюстки на декілька, зменшимо крок групи до 0,04 м (менше половини довжини акустичної хвилі на частоті 3400 Гц). Тоді діаграми набудуть вигляду на рис.3.

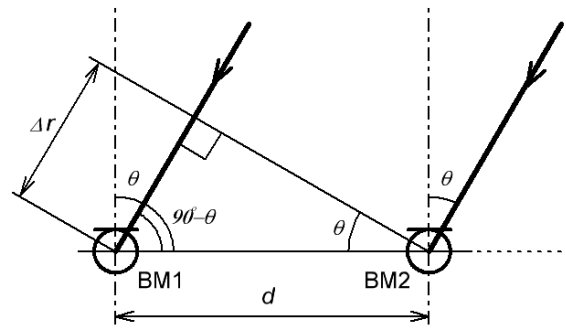


Рис.1. Лінійна група мікрофонів.

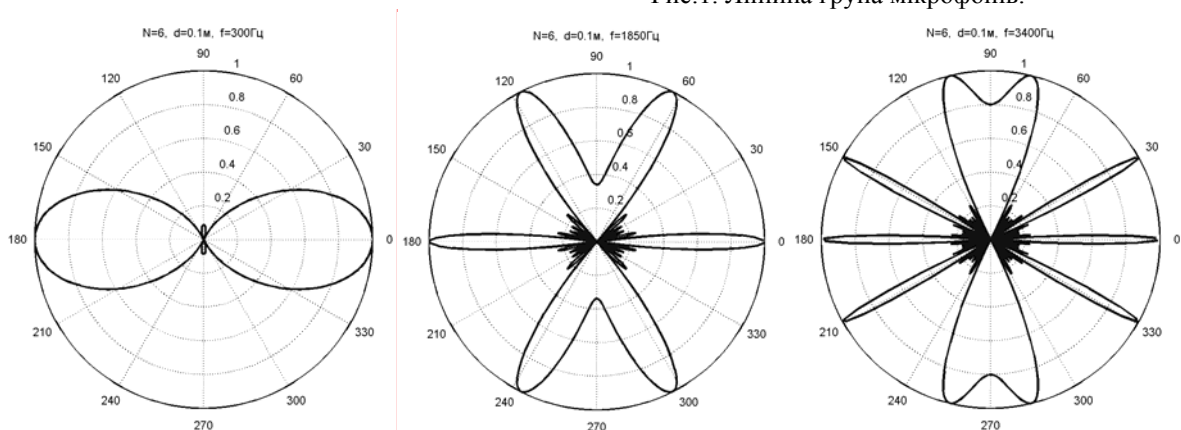


Рис.2. Діаграми спрямованості для групи із шести мікрофонів та кроком 0,1 м на частотах: 300 Гц (а), 1850 Гц (б), 3400 Гц (в).

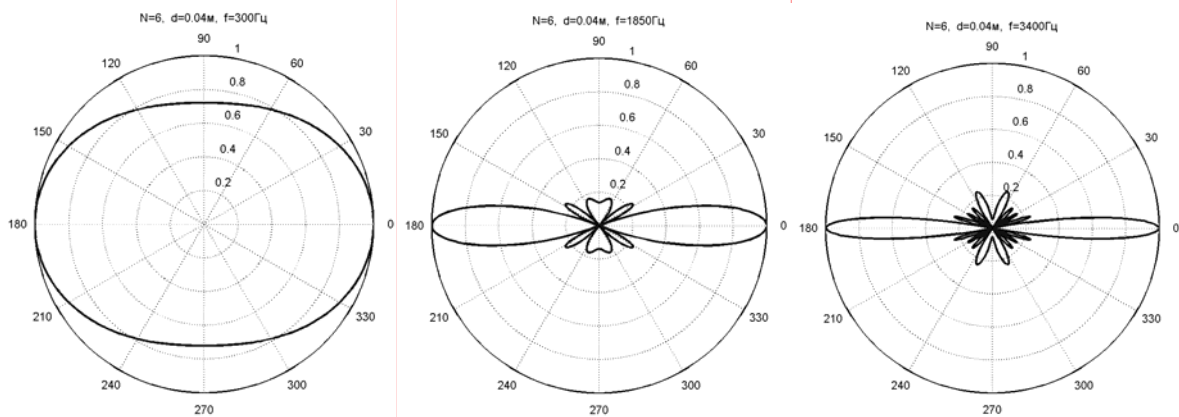


Рис.3. Діаграми спрямованості для групи із шести мікрофонів та кроком 0,04 м на частотах: 300 Гц (а), 1850 Гц (б), 3400 Гц (в).

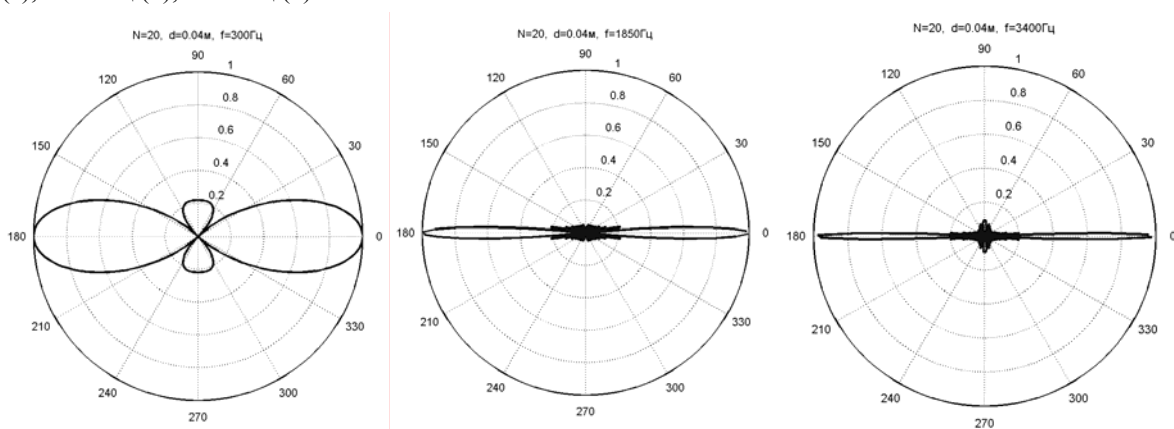


Рис.4 Діаграми спрямованості для групи із двадцяти мікрофонів та кроком 0,04 м на частотах: 300 Гц (а), 1850 Гц (б), 3400 Гц (в).

Як видно з рис.3. рівень бічних пелюсток значно зменшився, але на нижчих частотах ширина головної пелюстки досить широка. Оскільки у багатьох оточуючих звуках (наприклад, гул машин) рівень спектральних складових більший саме на нижчих частотах, то рівень завад на виході спрямованого мікрофону в цьому діапазоні частот буде суттєвим. Тому важливо не тільки досягнути максимального коефіцієнта спрямованої дії, але й забезпечити його однаковість у діапазоні частот мови людини.

Зменшити ширину основної пелюстки діаграми на нижчих частотах можемо збільшивши число мікрофонів. Як показують розрахунки (рис.4) задовільна ширина головної пелюстки на нижчих частотах буде при 20 мікрофонах у групі. Але це призведе до звуження ДС на вищих частотах, і як результат, на великих відстанях спостереження стане неприйнятне через складність наведення об'єкту у фокус мікрофону.

Тому пропонуємо такий підхід: використаємо у групі 20 мікрофонів з кроком 0,04 м; для формування необхідної діаграми спрямованості на нижчих частотах використаємо сигнали зі всіх мікрофонів, але відфільтруємо їх в діапазоні частот від 0,3 до 1 КГц; для формування необхідної діаграми спрямованості на вищих частотах використаємо сигнали тільки з частини мікрофонів (6 штук, які розташовані симетрично відносно осі групи) і відфільтруємо ці сигнали в діапазоні частот від 1 до 3,4 КГц. Структурна схема для реалізації такого підходу наведена на рис.4.

Сигнали прийняті мікрофонами ВМ1÷ВМ20 підсилюються підсилювачами А1÷А20 з низьким рівнем шуму. Підсилені сигнали розділяються фільтрами НЧ (300÷1000 Гц) і ВЧ (1÷3,4 КГц) на два канали. В такий спосіб для виділення акустичних сигналів нижчих частот працюють всі мікрофони, а для вищих – шість. Цим забезпечується резуль-

туюча діаграма спрямованості з однаковою шириною головної пелюстки ДС в усьому діапазоні частот мови.

Незручністю такого підходу є застосування великої кількості мікрофонів. Зменшити їхню кількість можна дещо підкоректувавши запропоновану вище схему. Вигідніший варіант схеми наведено на рис.5.

Відстань між мікрофонами  $d_{\text{вч}}$ , які сприймають сигнали вищих частот, складає 0,04 м. Мікрофони, що сприймають складові нижчих частот рознесені на дещо більшу відстань  $d_{\text{нч}}$ . Якщо половина довжини акустичної хвилі на частоті 1 КГц складає 0,165 м, то приймемо відстань  $d_{\text{вч}}=0,12$  м. У такій схе-

мі довжина групи менша і складає 0,6 м в порівнянні з 0,8 м, кількість мікрофонів зменшена до 10.

Запропонована схема дозволяє забезпечити результуючу діаграму спрямованості з практично однаковою шириною головної пелюстки ДС в усьому діапазоні частот мови (0,3 до 3,4 КГц).

Вірно розрахована відстань між мікрофонами та підібрана їх мінімальна кількість зменшує рівень бічних пелюсток.

Розташування на лінії групи і за нею акустично поглинаючої поверхні, може додатково покращити ДС – її можна створити однонапрямленою.

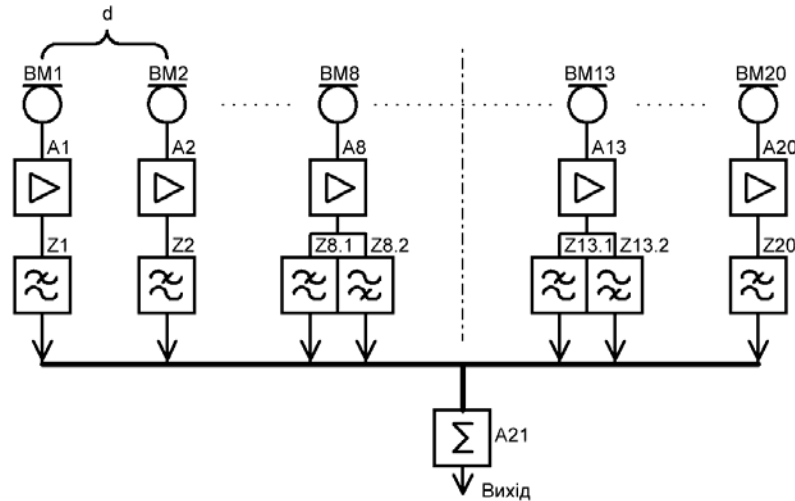


Рис.4. Структурна схема групового мікрофону з розділенням за частотою з постійним кроком групи:  $A1 \div A20$  – попередні підсилювачі,  $A21$  – суматор,  $BM1 \div BM20$  – мікрофони,  $Z1 \div Z20$ ,  $Z8.1 \div Z13.1$  – фільтри низької частоти,  $Z8.2 \div Z13.2$  – фільтри високої частоти.

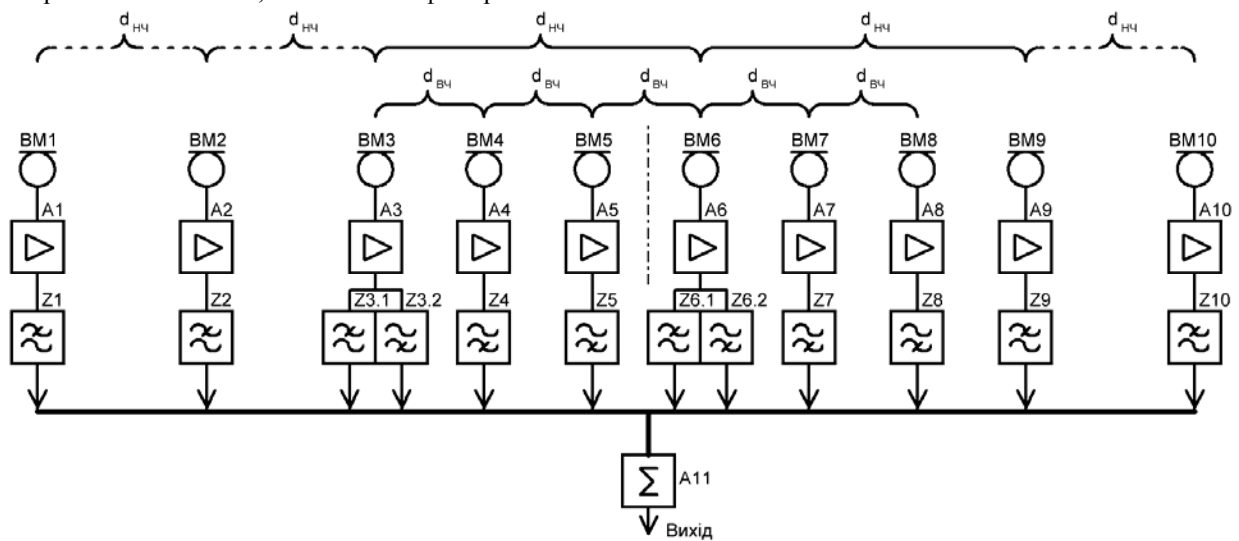


Рис.5. Структурна схема групового мікрофону з розділенням за частотою зі змінним кроком групи:  $A1 \div A10$  – попередні підсилювачі,  $A11$  – суматор,  $BM1 \div BM10$  – мікрофони,  $Z1, Z2, Z3.1, Z6.1, Z9, Z10$  – фільтри низької частоти,  $Z3.2, Z4, Z5, Z6.2, Z7, Z8$  – фільтри високої частоти.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Каторин Ю.Ф., Куренков Е.В., Лысов А.В, Остапенко А.Н. Энциклопедия промышленного шпионажа / Под ред. Е.В. Куренкова.— С.-Петербург: ООО "Издательство Полигон". — 2000.— 512с.
2. Абалмазов Э.И. Направленные микрофоны: мифы и реальность // Системы Безопасности. — 1996.— №4.
3. Общие сведения, классификация и технические характеристики микрофонов: Микрофоны. — Режим доступа: [http://rrt.neic.nsk.su/frrt/izd/rv\\_tv/](http://rrt.neic.nsk.su/frrt/izd/rv_tv/).