

МІНІСТЕРСТВО КУЛЬТУРИ ТА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ  
**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ТЕАТРУ, КІНО І ТЕЛЕБАЧЕННЯ ІМЕНІ І. К. КАРПЕНКА-КАРОГО**

Інституту екранних мистецтв

Кафедра звукорежисури

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**на здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти  
на тему**

**«Аналіз та практичні аспекти звукозапису з використанням  
найпоширеніших в українському кіновиробництві вузьконаправлених  
мікрофонних систем»**

Студента 2-м курсу ЗВР групи  
Освітньої програми Звукорежисура  
Спеціальності 021 Аудіовізуальне мистецтво  
та виробництво

Галузі знань 02 Культура і мистецтво

Ступеня вищої освіти магістр

Муравйова Євгена Олексійовича

Науковий керівник: доцент, заслужений  
працівник культури України

(почесне, вчене звання, науковий ступінь)

Домбругова Наталія Михайлівна

(ПБ наукового керівника)

## Зміст

ВСТУП.....	3
Розділ 1. Історичні перспективи створення рушничних мікрофонів.....	7
Розділ 2. Поглиблений погляд на роботу мікрофонних систем “Гармата”.....	16
2.1. Основна функція мікрофона “Гармата”.....	16
2.2. Надсучасні гібридні мікрофони “Гармата”.....	18
2.3. Застосування моделі біжучої хвилі для пояснення роботи лінійного мікрофона.....	19
2.4. Двопортовий лінійний мікрофон.....	19
2.5.2.5. Розробка полярної діаграми N-портового мікрофона “Гармата”.....	24
2.6. Спрямованість.....	25
2.8. Коефіцієнт відстані (DSF), коефіцієнт спрямованості (DF або Q) і індекс спрямованості (D або DI).....	26
2.9. Ефективність мікрофонів “Гармата” в середовищі з високим рівнем реверберації.....	29
Розділ 3. Порівняння на практиці мікрофонних систем запису звуку.....	30
3.1. Опис техніки, матеріалу та місць проведення записів.....	30
3.2. Тест прослуховування.....	40
Висновки.....	41
Список використаних джерел.....	43

## ВСТУП

Обравши цю тему для дипломної роботи, я хотів у першу чергу для себе систематизувати та консолідувати знання та досвід у даній сфері звукорежисури.

Використання вузьконаправлених мікрофонних систем в українському кіновиробництві є важливою частиною процесу звукозапису. На жаль, значна кількість режисерів-початківців і досвідчених режисерів не розуміють першорядної важливості звуку у фільмі. Хоча деякі визнають важливість звуку, вони схильні вважати, що вирішальний звук походить з постпродакшену. Це твердження абсолютно хибне. Хоча постпродакшн - це етап, на якому оживає чарівність фільму, але значна частина чарівності має бути спіймана на знімальному майданчику, коли актори повністю занурені у створення свого виняткового перформансу. Відтворити цей момент під час перезапису діалогів ADR (Англ. Automated Dialogue Replacement) дуже складно. Тому режисери повинні розуміти, що звук на виробництві відіграє не лише утилітарну роль. Звукооператор використовує численні мікрофони для запису різних чітких характеристик і відстаней звуку, подібно до того, як оператор-постановник (DP) кадрує кадр і використовує різні об'єктиви на камері. Звукооператор в основному відповідає за захоплення та маніпулювання звуковими елементами у фільмі.

**Актуальність** дослідження визначається тим, що із поширенням використання спеціальних мікрофонів у різних галузях, зокрема кіно і телебачення, аналіз практичних аспектів запису вузьконаправлених мікрофонів "Гармата" (англ. "Shotgun" microphone) набуває важливого значення, знаходиться у фокусі постійної уваги фахівців. Застосування вузьконаправлених мікрофонів дозволяє підвищити якість аудіозапису, мінімізувати вплив навколишнього шуму та забезпечити чіткий звуковий сигнал.

Крім того, розвиток технологій обробки сигналів і штучного інтелекту створює нові можливості для підвищення ефективності вузьконаправлених мікрофонів. Дослідження в цьому напрямку сприятиме вдосконаленню технік запису та створенню нових методів оптимізації для вузьконаправлених мікрофонів, що робить цю тему актуальною в контексті сучасних технологічних

перешкод.

**Мета роботи** полягає у виявленні і систематизації специфіки і особливостей різних моделей вузьконаправлених мікрофонних систем в різних акустичних умовах.

Для досягнення поставленої мети роботи визначив наступні завдання:

1. Опрацювати наукову та спеціально-технічну літературу, простежити етапи розвитку та сучасний стан наукової розробки аспектів використання вузьконаправлених мікрофонів.

2. Проаналізувати та систематизувати (узагальнити) практичний досвід в сфері звукозапису з використанням вузьконаправлених мікрофонних систем.

3. Здійснити експериментальний звукозапис (апробацію) в різних акустичних умовах одночасно кількома мікрофонними системами.

4. Порівняти отримані фонограми за суб'єктивними відчуттями прийняття мікрофонами акустичних відображень, прозорості, різницею амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) при мінімальному куті відхилення мікрофона, натуральності тембру та іншими основними критеріями. Змонтувати рекламно-демонстраційну версію для підтвердження основних положень представленого дослідження.

**Об'єктом** досліджень є використання мікрофонних систем у різних акустичних умовах.

**Предметом** досліджень є звуковий запис для використання в подальших етапах кіновиробництва, здійснений такими мікрофонними системами:

- Sennheiser МКН 416-P48U3;
- Sennheiser МКН 60-1;
- Sennheiser МКН 70-1;
- Sanken CS-3e;
- Rode M5;
- Rode NTG-1;
- Schoeps СМІТ 5;
- Schoeps МК 41.

### **Методи дослідження:**

Емпіричні – проведення спостереження (систематичне та докладно задокументоване), експерименту (встановлення причинно-наслідкових зв'язків), аналізу (збір даних), порівняння.

Теоретичні – формалізація, дедуктивний, індуктивний, узагальнення.

Емпірично-теоритичні – моделювання, аналіз.

**Наукова новизна** дослідження полягає в глибокому аналізі та практичних аспектах використання вузьконаправлених мікрофонів “Гармата” з урахуванням їхнього впливу на якість аудіозапису та здатність ефективно виділяти звуки у шумовому оточенні. Також, важливим елементом може бути розгляд аспектів практичного використання, таких як оптимальні конфігурації розташування мікрофонів та їхній вплив на різні сценарії запису. Ця робота має на меті оцінити та порівняти найбільш актуальні на сьогоднішній день мікрофонні системи запису звуку та на практиці порівняти між собою ті системи, які до нас не порівнювались між собою.

### **Інформаційною базою досліджень цієї роботи слугували такі роботи:**

- «A brief history of microphones» Х'ю Робджонс.
- «A Tubular Directional Microphone» Уоррен Перрі Мейсон.
- «Broadcast Audio Equipment» Каталог радіомовного обладнання RCA.
- «Handbook of Signal Processing in Acoustics» Девід Хейвлок, Соноко Кувано, Майкл Ворльондер.
- «Microphones: How They Work & how to Use Them» Мартін Кліффорд-
- «Refined acoustic modeling and analysis of shotgun microphones» Журнал

Акустичного Товариства Америки.

- «Sound Engineering Explained» Майкл Телбот-Сміт
- «Sound Engineer's Pocket Book» Майкл Телбот-Сміт
- «The Design of a Directional Slit Microphone» Уейлмер Когілл.
- «The location sound bible» Рік Вірс
- «The Microphone Book» Джон Ергл
- «The Science of Sound Recording» Джей Кадіс
- «The Sennheiser Tyre MD 82 AND ELECTRO VOICE Type 642 Microphones» Уоррен Перрі Мейсон.

## **Розділ 1. Історичні перспективи створення мікрофонів “Гармата”.**

У цьому розділі автор хоче коротко описати історію виникнення та розвитку запису вузьконаправлених мікрофонних систем (англ. “shotgun” microphone). Сучасний вузьконаправлений мікрофон на знімальному майданчику не є продуктом одного винаходу, він скоріше сукупний результат кількох розробок, що відбувалися протягом тривалого часу. Чотири помітні досягнення в історії рушничного мікрофона в себе включають:

- трубчастий спрямований мікрофон, розроблений Мейсоном і Маршаллом;
- електроакустичний апарат Олсона;
- MD 82 від Sennheiser;
- односпрямований мікрофон, створений Біверсоном і Ремсі.

**Першим лінійним мікрофоном був не “гарматний” мікрофон, а саме кластерно-трубний “кулеметний” (англ. “machine-gun” microphone) мікрофон.**

Уоррен Перрі Мейсон разом з Лабораторією Белла (Англ. Bell Telephone Laboratories) розробили кулеметний мікрофонний пристрій під назвою “Acoustic Impedance Element” (укр. “Елемент акустичного опору”) (патент США 1,795,874, поданий 22 вересня 1927 року і виданий 10 березня 1931 року). Значна частина глобальних досліджень у сфері комунікаційних технологій з виробництва телекомунікаційного обладнання та електротехніки на початку 20-го століття проводилася в Bell Telephone Laboratories, яка була відділена у 1925 році від корпорації Western Electric. Одним з найбільш плідних дослідників Bell Labs був Уоррен Мейсон.

“Елемент акустичного імпедансу” Мейсона був розроблений для забезпечення постійного акустичного опору в широкому діапазоні частот. Для цього він використовував кластер трубок різної довжини. Хоча в патенті Мейсона 1,795,874 перераховані різні потенційні застосування пристрою, спрямовані мікрофони не були серед них. Однак Мейсон, ймовірно, вже тоді зрозумів, що це може дозволити створити новий тип вузьконаправленого

мікрофона.

Таким чином, був вперше випущений у 1937 році кулеметний мікрофон E99098 корпорацією Western Electric (яка мала перші права на винаходи Bell Labs). E99098 був, по суті, насадкою для всеспрямованого мікрофона Western Electric 618A, який використовувався як елемент акустичного імпедансу Мейсона з кластерною трубкою. Для використання в кіноіндустрії 618A/E99098 просувався як спрямований мікрофон з великим радіусом дії. Цей мікрофон швидко отримав прізвисько "кулеметний мікрофон" зі зрозумілих причин. Western Electric 618A/E99098 був першим комерційним лінійним мікрофоном.



Рис.1.1. Кулеметний мікрофон Western Electric 618A/EV99098

У 1939 році Мейсон і Маршалл опублікували дуже цікаву статтю, в якій обговорювався новий спрямований мікрофон Western Electric 618A/E99098. У статті розглядалися як теоретичні аспекти, так і практичні характеристики цього інноваційного мікрофона. У цій роботі представлені формули для обчислення спрямованості цих мікрофонів, порівнюються їхні характеристики з параболічними тарілками і досліджуються практичні застосування.

Патент Мейсона на винахід 2,225,312 був виданий 17 грудня 1940 року. Патент, поданий приблизно в той самий час, що й стаття Мейсона і Маршалла, розкриває вдосконалену версію кулеметного мікрофона. У цій конструкції, окрім довжини, було змінено площу поперечного перерізу трубок, щоб досягти більшого рівня спрямованості. Однак, такий мікрофон більше ніколи не вироблявся.



## Електроакустичний пристрій (англ. *Electroacoustical apparatus*) Гарі Фердінанта Олсона

Гарі Фердінант Олсон, дуже успішний інженер-винахідник, який працював в RCA Victor Corporation, доклав значних зусиль у розробці лінійного мікрофона. Американський патент 2,228,886 Олсона, поданий 31 жовтня 1938 року та виданий 14 січня 1941 року, розкрив ці інновації. На перших чотирнадцяти малюнках патенту Олсона були представлені вдосконалення кулеметного мікрофона. Деякі з цих удосконалень мали на меті полегшити використання мікрофонного елемента з градієнтом тиску, на відміну від притискного елемента, що використовувався в мікрофоні Мейсона. Для того, щоб мати задовільну частотну характеристику, важливо, щоб обидві сторони мікрофона з градієнтом тиску відчували постійний і незмінний акустичний опір у всьому робочому діапазоні мікрофона. Олсон продемонстрував багато методів досягнення цього.

Найпростіший з них полягав у прикріпленні трубки, наповненої демпфуючим матеріалом, до задньої частини мікрофона. Це гарантувало, що мікрофон зіткнеться з тим самим акустичним опором, що й кулеметна трубка.

Jan. 14, 1941.

H. F. OLSON

2,228,886

ELECTROACOUSTICAL APPARATUS

Filed Oct. 31, 1938

8 Sheets—Sheet 1

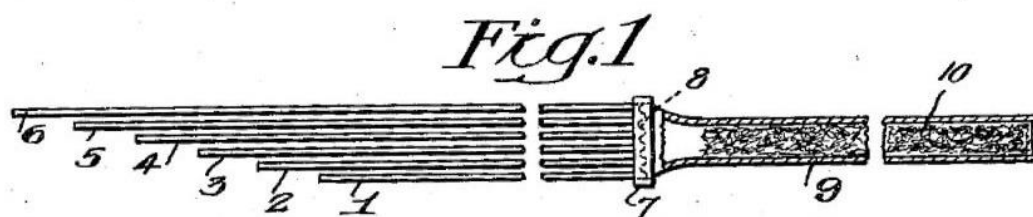


Рис.1.2. Кулеметний мікрофон з елементом градієнта тиску. Малюнок з патенту Олсона '2,228,886.

Олсон також описав спосіб, за допомогою якого можна цілеспрямовано обмежити низькочастотну характеристику кулеметного мікрофона, подовживши задню демпферну трубку на чверть довжини хвилі на бажаній частоті зрізу.

Пізніше він розвинув цю ідею можливо в найбільш значущому своєму патенті на лінійний мікрофон.

Постійна спрямованість була метою подальших удосконалень кулеметного мікрофона. Спрямованість кулеметного мікрофона залежить від частоти, як і у будь-якого іншого спрямованого акустичного пристрою, зі збільшенням частоти діаграма спрямованості звужується. Тому він може бути надмірно спрямованим на високих частотах (високочастотна характеристика може бути знищена навіть невеликою помилкою у напрямку мікрофона до джерела). Олсон продемонстрував низку способів зробити кулеметний мікрофон "коротшим" зі збільшенням частоти, тим самим вирівнявши залежність спрямованості від частоти. Однак неясно, чи були коли-небудь виготовлені кулеметні мікрофони з постійною спрямованістю.

Приблизно в 1960 році RCA випустила високочутливий різноспрямований мікрофон RCA MI-10006-A, який був принаймні одним з варіантів кулеметного мікрофона Олсона. У цього пристрою використовувався ламповий кластер Олсона, невідомо, який саме мікрофонний елемент було застосовано. Проте з вищезгаданого джерела є деякі інтригуючі технічні характеристики:

- Кластер трубок (який називався "MI-10008 Unidirectional Attachment") можна було від'єднати, щоб перетворити 10006-A на стандартну кардіоїдну діаграму спрямованості (звідси і назва "Varidirectional").

- Загальна довжина становила 22 дюйми з однонаправленим кріпленням.

- Вага пристрою становила 1 фунт і 12 унцій без односпрямованого кріплення. RCA забезпечив практичний діапазон, який у чотири рази перевищує діапазон стандартного мікрофона при використанні односпрямованого з'єднання.

Окрім MI-10006-A і раніше згаданого Western Electric 618A/E99098, не було інших мікрофонів кулеметного типу, які вироблялися б у значних кількостях для комерційного використання. Тим не менш, кулеметний мікрофон має явну перевагу з точки зору продуктивності в порівнянні з мікрофоном з інтерференційною трубкою. В інтерференційній трубці звуковий тиск, який

потрапляє через одну щілину, може виходити через іншу щілину, перш ніж досягне мікрофона. Однак це не стосується кулеметного мікрофона.

Кулеметний мікрофон є більш громіздким і дорожчим у виробництві порівняно з мікрофоном з інтерференційною трубкою. Отже, це ймовірно є причиною того, що вони вважаються застарілими.

### Мікрофон з інтерференційною трубкою Олсона

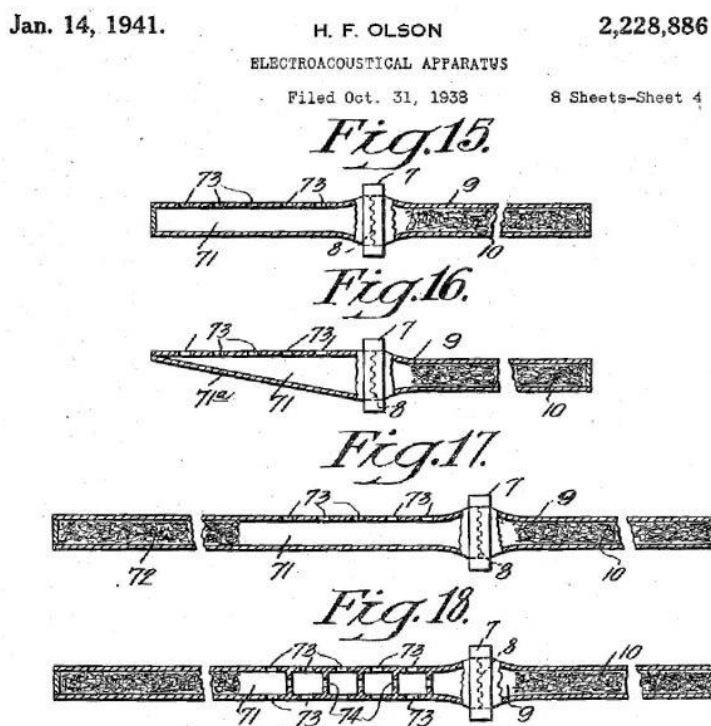


Рис. 1.3. Ранні мікрофони з інтерференційною трубкою. Малюнок з патенту Олсона 2,228,886.

Мікрофони з інтерференційною трубкою Олсона мають явні відмінності від сучасних ітерацій:

- Трубки Олсона (71) мають перфоровані отвори (73) замість щілин, які зазвичай зустрічаються в інтерференційних трубках сучасних рушничних мікрофонів.

- Подібно до його кулеметних мікрофонів, мікрофони з інтерференційною трубкою Олсона використовують мікрофонний елемент з градієнтом тиску, який ззаду навантажений демпфуючою трубкою (9).

- Передній кінець інтерференційної трубки (71) герметично закритий, на відміну від відкритого. Хоча спочатку це може здатися несподіваним, звук, спрямований по осі мікрофона, все ж таки може потрапляти до нього через отвори (73). Якби передня частина трубки була відкритою, звукові хвилі, що входять під кутом, могли б мати виразну амплітуду порівняно з хвилями, що входять через отвори. Це потенційно могло б зменшити зменшення інтенсивності звуку, спричинене деструктивною інтерференцією.

- Тим не менш, Олсон визнавав можливість внутрішніх відбиттів від закритого кінця трубки, які можуть призвести до утворення стоячих хвиль. Для вирішення цієї проблеми він представив альтернативні конструкції, що включають конічну інтерференційну трубку (рис. 16) і демпфовану інтерференційну трубку (рис.17).

- Олсон також визнав можливість з'єднання між отворами (73), що може поставити під загрозу відсіювання позаосьових сигналів. Він представив варіант (рис. 18), в якому використовувалися внутрішні перегородки і отвори (74) для розділення отворів (73).

Ці мікрофони так і не були виготовлені для продажу, але інноваційні акустичні концепції Олсона значно вплинули на конструкцію сучасних рушничних мікрофонів.

## **Sennheiser MD 82**

Sennheiser MD 82, представлений в 1956 році, здається, є першим функціональним рушничним мікрофоном, який працює без трубчастого кластера. На сторінці історії на сайті Sennheiser Ltd. стверджується, що MD 82 був першим рушничним мікрофоном комерційного виробництва.

На відміну від типових щілин, що зустрічаються в сучасних інтерференційних трубках, MD 82, схоже, використовував ряд ребер, щоб забезпечити проникнення позаосьового звуку. По суті, простір між кожною парою ребер слугував глибокою щілиною, а глибина щілини була навмисно підібрана таким чином, щоб резонувати на частоті, яка б підвищувала здатність MD 82 реагувати на високі частоти.

Немає жодних доказів щодо конкретного мікрофонного елемента, який використовувався в MD 82. Однак, судячи з фотографій, розміщених на eBaу, це,

схоже, елемент натискного типу з ізотропною характеристикою. Подібно до конструкції Олсона, MD 82 також забезпечував обмежене послаблення низькочастотних звуків, що надходили з напрямку на 180 градусів від передбачуваної осі. MD 82 був протестований ВВС, що задокументовано в їхньому звіті.

### Односпрямований мікрофон Біверсона і Ремсі, також відомий як Electro-Voice Cardiline

Останнім значним досягненням, яке проклало шлях до сучасного рушничного мікрофона, є "односпрямований мікрофон", описаний Вейном Біверсоном і Робертом Ремсі в американському патенті 3,095,484. Цей патент був поданий 22 жовтня 1959 року, а офіційно виданий 25 червня 1963 року. Важливим проривом, який вони зробили, було включення спеціалізованого кардіоїдного мікрофонного елемента для посилення спрямованості низькочастотних звуків. Тому цей пристрій можна вважати безпосереднім попередником сучасних рушничних мікрофонів, які містять інтерференційну трубку разом з кардіоїдним елементом.

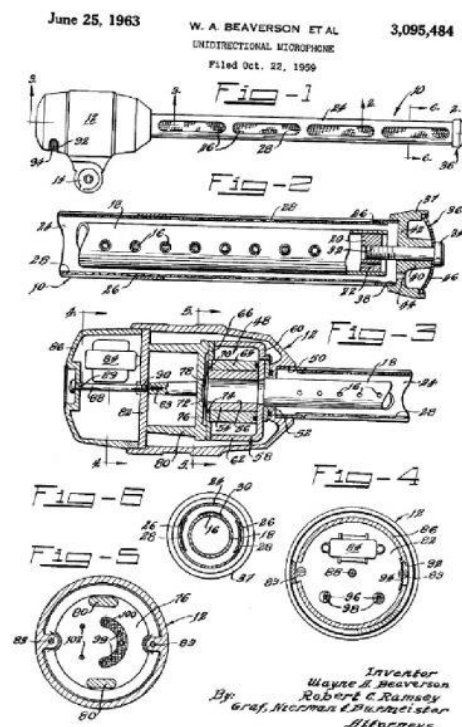


Рис. 1.4. Гібридний кардіоїдний/лінійний мікрофон. Малюнок з патенту 3,095,484 Біверсона та Ремсі.

Кардіоїдний елемент, розроблений Біверсоном і Ремсі, був новаторським, оскільки акустичний тракт з діафрагмою діяв як фільтр низьких частот, частота зрізу якого приблизно відповідала критичній частоті інтерференційної трубки. Таким чином, мікрофонний елемент працював як кардіоїдний мікрофон для низьких частот, але як всеспрямований елемент для більш високих частот, коли інтерференційна трубка ставала активною.

Компанія Electro-Voice, правонаступник патенту, випустила ряд рушничних мікрофонів "Cardiline" (Electro-Voice EV642, 643 і 644), які дуже нагадували пристрій, зображений на ілюстраціях до патенту. У книзі Mitchell's Microphones представлено всебічний огляд різних мікрофонів, а також візуальні зображення.

Які ж події відбулися за шість десятиліть, що минули після Карділіна? Безсумнівно, з моменту першого випуску Cardiline на початку 1960-х років прогрес в дизайні рушничних мікрофонів був значним, але він відбувався повільніше, ніж у попередні чотири десятиліття.

На перших етапах такі видатні діячі, як Мейсон і Олсон, зробили значні прориви в галузі акустики, а гібридний кардіоїдний/інтерференційний мікрофон Біверсона і Ремсі був справді інноваційним. Це були революційні досягнення.

Подальший розвиток був переважно поступовим і інкрементальним. Сучасні рушничні мікрофони мають кращі характеристики порівняно з лінійними мікрофонами 1960-х років, проте різниця не така значна, як можна було б очікувати. Для ілюстрації, будь ласка, зверніться до мого аналізу сучасних і традиційних рушничних мікрофонів в моїй всеосяжній статті про функціонування рушничних мікрофонів.

Тим не менш ми стоїмо на порозі чергового сплеску значних проривів, і все це завдяки досягненням в області цифрової обробки сигналів (DSP). Було зроблено дві спроби використати цифрову обробку сигналів (DSP) для покращення функціональності рушничних мікрофонів. Першим був Audio-Technica AT895, який був представлений приблизно у 2004 році, але більше не випускається. Другий - Schoeps SuperCMIT 2U, який був представлений у 2010

році і досі виробляється. Обидва мікрофони використовують технологію DSP у поєднанні з додатковими мікрофонними елементами, що значно покращує ослаблення звуку, який надходить з інших напрямків, ніж передбачувана ціль, перевершуючи можливості звичайного рушничного мікрофона. Обидва ці революційні мікрофони продемонстрували значне поліпшення характеристик рушничних мікрофонів завдяки використанню DSP. Проте їхня ефективність була обмежена обмеженнями, що накладалися доступною на той час технологією DSP. З вирішенням цієї проблеми, в найближчому майбутньому, з'явиться багато спрямованих мікрофонів з DSP-технологією.

## Розділ 2. Поглиблений погляд на роботу мікрофонних систем “Гармата”.

### 2.1. Основна функція вузьконаправленого мікрофона «Гармата»

Сучасний “гарматний” мікрофон є прямим нащадком “кулеметного” мікрофона, який був створений на ранніх стадіях виробництва розмовних фільмів. Режисерам потрібен був новий тип мікрофона, який мав би достатню спрямованість, щоб його можна було розмістити за межами поля зору камери. Крім того, він повинен був точно передавати голос з високою точністю, при цьому бути легко маневреним на знімальному майданчику. Нинішня мета рушничних мікрофонів залишається незмінною: послабити периферійні шуми, одночасно записуючи осьовий звук з високою точністю, в компактному, легкому і міцному корпусі.



Рис.2.1. Сучасний мікрофон “Гармата” (Англ. “Shotgun” microphone)

Як відомо рушничні мікрофони не підсилюють звук на осі. Їх велика дальність дії пояснюється лише більшою спрямованістю. Однак як спрямований мікрофон може мати більший радіус дії порівняно з неспрямованим, якщо він не підсилює звук по осі? Це неможливо, якщо тільки немає значної кількості шуму, що надходить з іншого напрямку.

Якщо є помітний позаосьовий шум, переміщення мікрофона подалі від джерела звуку призводить до зниження рівня звукового тиску (SPL) цього звуку. Однак рівень звукового тиску позаосьового шуму, як правило, залишається



незмінним. Результатом є зниження відношення сигнал/шум (SNR) на виході мікрофона, що охоплює як навколишні акустичні шуми, так і власні шуми мікрофона, що призводить до погіршення якості звуку.

Збільшення спрямованості мікрофона знижує рівень звукового тиску (SPL) шуму, а отже, покращує співвідношення сигнал/шум (SNR) на виході мікрофона. Однак, якщо шум не надходить з інших напрямків, крім передбачуваного джерела звуку, менш спрямований мікрофон не дасть жодних переваг.

Рушничний мікрофон - це добре відомий тип мікрофона, що належить до категорії лінійних мікрофонів. У лінійних мікрофонах звук захоплюється мікрофонним елементом через кілька портів, які розташовані вздовж лінії.

Порти розбивають падаючий звук на окремі компоненти, які згодом зливаються в мікрофонному елементі. У випадку осьового звуку компоненти надходять до мікрофона одночасно (синфазно), що призводить до конструктивної рекомбінації. Однак, коли мова йде про звук, який не знаходиться безпосередньо на одній лінії з мікрофоном, різні компоненти звуку досягають мікрофонного елемента в дещо різний час, що призводить до різних фаз. В результаті ці компоненти частково компенсують один одного через деструктивну інтерференцію.

Порти в мікрофонах першої лінії, які раніше називалися кулеметними, являли собою відкриті закінчення групи трубок різної довжини. У сучасних рушничних мікрофонах порти - це отвори або щілини, розташовані на боковій стінці окремої інтерференційної трубки. Крім того, передній кінець інтерференційної трубки може бути відкритим і служити додатковим портом.



Рис.2.2. “Гарматний” та “кулеметний” мікрофони

Сучасні рушничні мікрофони насправді є гібридними мікрофонами. Хоча інтерференційна трубка сучасного “гарматного” мікрофона є його найбільш помітною особливістю, більшість високопродуктивних рушничних мікрофонів, доступних сьогодні, насправді є двома мікрофонами в одному. Зокрема, вони працюють як лінійні мікрофони на високих частотах, але як звичайні кардіоїдні, суперкардіоїдні або гіперкардіоїдні мікрофони на низьких частотах.

Високоєфективні “гарматні” мікрофони використовують гібридну конфігурацію, оскільки спрямованість лінійного мікрофона залежить від його довжини хвилі, а лінійні мікрофони достатнього розміру забезпечують невелику спрямованість на низьких частотах. Ось тут і вступає в гру кардіоїдний капсуль.

Не всі мікрофони, які виглядають як “гарматні”, насправді мають характеристики “гарматних” мікрофонів. Через залежність спрямованості лінійного мікрофона від його довжини в довжинах хвиль, фізично короткий лінійний мікрофон не є особливо практичним.

Проте існує широкий вибір компактних мікрофонів типу "дробовик", доступних для придбання. Насправді це не лінійні мікрофони, а звичайні студійні мікрофони спрямованої дії, упаковані в трубчастий форм-фактор. Хоча ці мікрофони мають свої переваги, їм бракує чудової спрямованості, яка притаманна справжнім “гарматним” мікрофонним системам.

## **2.2. Надсучасні гібридні мікрофони “Гармата”.**

Цифрова обробка сигналів (Англ. Digital Signal Processing “DSP”) сприяла розробці більш досконалих ітерацій гібридних “гарматних” мікрофонів.

Цифрова обробка сигналів (DSP) дозволяє реалізувати просторово-часову адаптивну обробку (Англ. Space-Time Adaptive Processing “STAP”), метод, спочатку розроблений для військових радарів і гідролокаторів, який передбачає обробку виходів декількох датчиків, щоб значно підвищити співвідношення сигнал/перешкода за наявності позаосьового шуму.

В даний час більшість споживчих застосувань мікрофонів, оснащених технологією STAR, зосереджені на відеоконференціях або гучномовцях. Сьогодні існує лише два мікрофони з адаптивною просторово-часовою обробкою: Audio-Technica AT895 (який більше не випускається) і Schoeps SuperCMIT. Ці пристрої використовують лінійний мікрофон у поєднанні щонайменше з однією додатковою мікрофонною капсулою (одна допоміжна капсула для SuperCMIT і чотири допоміжні капсули для AT895). Вони також містять цифровий сигнальний процесор (DSP) для обробки мікрофонних виходів.

Визначальною характеристикою справжнього “гарматного” мікрофона, незалежно від того, чи використовується гібридна конфігурація, є його інтерференційна трубка.

### **2.3. Застосування моделі біжучої хвилі (Англ. Traveling Wave Model (TWM)) для пояснення роботи лінійного мікрофона.**

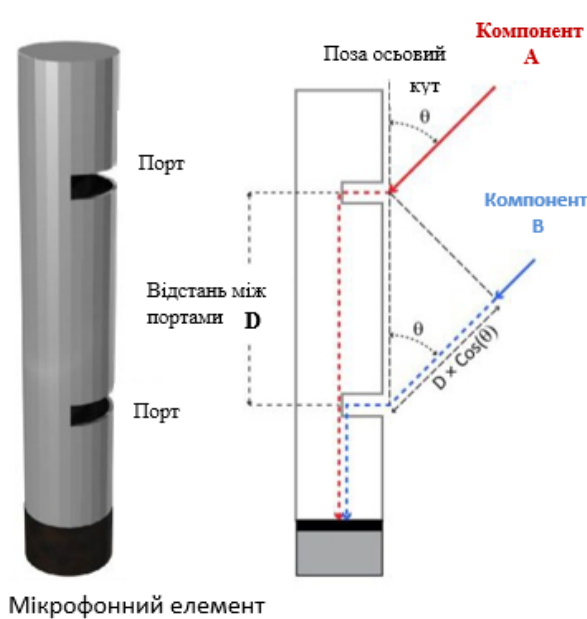
Модель біжучої хвилі дає корисну оцінку характеристик лінійного мікрофона. По суті, TWM розглядає кожен порт лінійного мікрофона як складову частину масивного мікрофона. TWM постулює, що звуковий компонент, який потрапляє в кожен порт, поширюється у вигляді біжучої хвилі, перш ніж досягне діафрагми мікрофона. Отже, вихідний сигнал мікрофона можна точно передбачити, враховуючи лише амплітуди і фази компонентів, коли вони досягають діафрагми. Ці фактори визначають ступінь деструктивної інтерференції, відповідно, діаграму спрямованості.

### **2.4. Двопортовий лінійний мікрофон.**

Щоб отримати уявлення про функціонування лінійного мікрофона з точки зору TWM, давайте спочатку розглянемо найпростішу імплементацію. Це одноканальний мікрофон з двома портами (можуть бути у вигляді щілин у рушничного мікрофона або трубок у кулеметного мікрофона). Важливо зауважити, що у багатьох існуючих інтерференційних трубках порти мають

круглі отвори замість прямокутних щілин, проте принцип роботи залишається незмінним.

Як показано на схемі, порти розділяють вхідний звук на два окремі компоненти, кожен з яких досягає мікрофона незалежно. Залежно від напрямку, з якого надходить звук, компоненти можуть проходити однакову відстань, перш ніж досягти мікрофона (для звуку по осі), або дещо відрізнятись (для звуку поза осею).



- Звукові елементи **A** і **B** проходять різні шляхи, перш ніж досягти мікрофонного елемента
- Компонент **A** проходить більшу відстань всередині трубки
- Додаткова відстань, пройдена компонентом **A** всередині трубки, завжди дорівнює **D**
- Компонент **B** проходить більшу відстань за межами трубки
- Додаткова відстань, яку проходить компонент **B** за межами трубки, дорівнює  $D \times \cos(\theta)$

- Різниця у відстанях, яку долає  $\Delta d$  :
- $\Delta d = D - D \times \cos(\theta)$
- $\Delta d = D(1 - \cos(\theta))$

- Диференціальна відстань  $\Delta d$  викликає різницю фаз  $\psi$ , що залежить від довжини хвилі, коли компоненти досягають мікрофона
- $\psi = 2\pi \Delta d / \lambda$ , де  $\lambda$  довжина хвилі

- Диференціальна фаза  $\psi$  визначає чисту амплітуду **A**, коли компоненти об'єднуються на діаграмі мікрофона
- $A = \cos(\psi/2)$

Рис.2.3. Двопортовий лінійний мікрофон

Коли звук доходить до осі (коли поза-осьовий кут  $\theta$  дорівнює нулю), різниця в відстані, пройденій двома компонентами, також дорівнює нулю. Однак, для поза-осьового звуку компоненти проходять різну відстань до мікрофонного елемента. Наприклад, різниця у відстанях дорівнює між-щілинній відстані  $D$ , коли  $\theta$  дорівнює 90 градусам, і  $2D$ , коли  $\theta$  дорівнює 180 градусам. Різницю у відстанях, які долають два компоненти, можна узагальнити наступним чином:

Рівняння 1.  $\Delta d = D(1 - \cos(\theta))$

Припустимо, що падаючий звук є чистим тоном з довжиною хвилі  $\lambda$ . Далі ми можемо перетворити розбіжність у відстані  $\Delta d$  у розбіжність у фазі (виміряну в радіанах) між двома елементами, використовуючи наступний рівняння:

Рівняння 2.  $\Psi = 2\pi\Delta d/\lambda$

Визначивши різницю фаз, ми можемо розрахувати відносну амплітуду  $A$  (нормалізовану до одиниці) суми цих двох компонентів, коли вони возз'єднуються на мікрофонному елементі, використовуючи наступне рівняння:

Рівняння 3.  $A = \cos(\psi/2)$

Рекомбінована амплітуда на мікрофонному елементі може бути виражена як функція між-щілинної відстані  $D$ , поза-осьового кута  $\theta$  і довжини хвилі  $\lambda$  за допомогою трьох наведених рівнянь. Побудувавши графік залежності амплітуди від кута поза віссю  $\theta$ , можна отримати полярну амплітуду або діаграму спрямованості двопортового мікрофона. Якщо ми побудуємо графік квадрата амплітуди, то отримаємо полярну діаграму спрямованості, яка зазвичай використовується для опису характеристик спрямованості мікрофона.

На рисунку нижче показано графіки діаграми спрямованості в дБ (розрахованої як  $20\log A$ ) проти кута поза віссю  $\theta$ . Графіки відповідають чотирьом різним значенням  $D$ , в діапазоні від  $D=\lambda/8$  до  $D=\lambda$ .

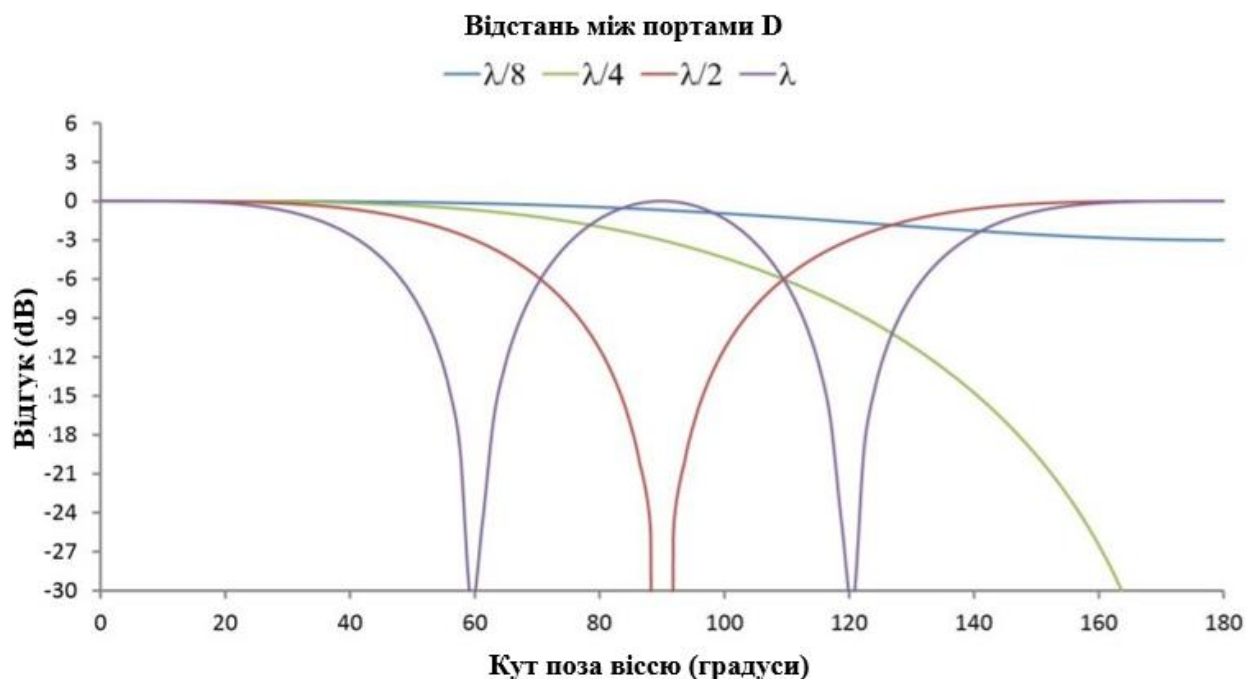


Рис.2.4. Залежність відгуку від кута поза віссю для простого двопортового мікрофона.

На графіках показано три важливі аспекти цього нескладного двопортового лінійного мікрофона:

- $D=\lambda/4$  - це єдина відстань, на якій існує одна основна пелюстка на осі. На цій відстані спостерігається повне згасання під кутом 180 градусів, але під кутом 90 градусів діаграма спрямованості має дуже мале відхилення - лише 3 дБ. Хоча така широка кардіоїдна діаграма спрямованості є корисною, її не можна вважати надспрямованою.

- Коли відстань зменшується до значення нижче  $D=\lambda/4$ , відгук під кутом 180 градусів зменшується і мікрофон починає втрачати свої характеристики спрямованості. На відстані  $\lambda/8$  відгук під кутом 180 градусів послаблюється лише на 3 дБ.

- Коли відстань перевищує  $D=\lambda/4$ , центральна пелюстка стає більш сфокусованою, але з'являються додаткові пелюстки рівної інтенсивності, що знижують спрямованість. Коли значення  $D$  дорівнює половині довжини хвилі ( $\lambda/2$ ), відгук стає двонаправленим, демонструючи пелюстки як під нулем, так і під кутом 180 градусів. Зі збільшенням відстані між об'єктами центральна область стає більш сфокусованою, але додаткові області під різними кутами від центру також стають видимими.

Цей базовий двопортовий мікрофон не є особливо корисним, оскільки він забезпечує чисту односпрямовану діаграму спрямованості лише на певній відстані/довжині хвилі ( $D=\lambda/4$ ), і ця діаграма спрямованості є широкою кардіоїдною діаграмою. Мікрофон демонструє характеристики спрямованості в обмеженому діапазоні частот у дві октави. Під кутом 180 градусів ослаблення становить лише 3 дБ, коли відстань між елементами мікрофона дорівнює одній восьмій довжини хвилі. Однак діаграма спрямованості змінюється на двоспрямовану, коли відстань дорівнює половині довжини хвилі.

Крім того, існує невирішена проблема, яку ми ще не розглянули: мікрофон з двома портами матиме дві окремі резонансні частоти, що вплине на його

частотну характеристику. Ще одна проблема, яка ще не була розглянута - це частотна характеристика двопортового мікрофона, на яку впливатимуть дві різні резонансні частоти. Вирішенням цієї проблеми є збільшення кількості портів.

Функціональний лінійний мікрофон, як правило, має кілька портів. Для ілюстрації, Sennheiser MKH 70-1, сучасний рушничний мікрофон, має приблизно 80 портів, в той час як Western Electric 618A/E99098, початковий кулеметний мікрофон, мав 50 трубок.

Щоб простежити вплив збільшення кількості портів, розглянемо мікрофон з  $N$  портами, розташованими вздовж лінії, де відстань між кожним портом позначимо як  $D$ . Для цілей цього аналізу вважатимемо, що  $D$  дорівнює одній чверті довжини хвилі. Вихід цього мікрофона можна розглядати як комбінацію виходів багатьох віртуальних двопортових мікрофонів, кожен з яких має певну ефективну відстань між портами. Всього буде  $(N-1)$  різних значень відстані між портами.

- Оптимальною відстанню між портами для максимальної ефективності є  $D=\lambda/4$ , в результаті чого віртуальний мікрофон має кардіоїдну діаграму спрямованості, що характеризується широкою пелюсткою при нульовому градусі.

- Максимальна відстань між портами, яка дає оптимальні результати, дорівнює  $N \cdot D$ . Отже, віртуальний мікрофон з такою відстанню матиме вузьку діаграму спрямованості під нульовим кутом (з шириною, зменшеною в  $1/N$ ), зберігаючи при цьому такі ж тонкі пелюстки під кутами, відмінними від нуля градусів.

- Якщо значення  $N$  перевищує три, з'являється додатковий міжпортовий зазор, в результаті чого відповідний віртуальний мікрофон має різну ширину і структуру пелюсток.

Всі ці віртуальні двопортові мікрофони мають спільну характеристику: всі вони мають пелюстку під нульовим кутом у своїй полярній діаграмі спрямованості. Однак пелюстки, які не розташовані під нульовим кутом, не збігаються.

Коли компоненти з портів  $N$ -портового лінійного мікрофона об'єднуються в мікрофонному елементі, пік при нульовому куті залишається незмінним, але відгук при всіх інших кутах зменшується. Отже, зі збільшенням значення  $N$  центральна пелюстка під нульовим кутом стає все більш сфокусованою, тоді як пелюстки під іншими кутами зменшуються в розмірах. Крім того, розширюється діапазон частот, в якому мікрофон має ефективну спрямованість, і частотна характеристика стає більш рівномірною.

### 2.5. Розробка полярної діаграми $N$ -портового мікрофона “гармата”.

Коли кількість портів становить  $N$ , рівняння 3 не може бути використане для отримання відносної вихідної потужності мікрофона. Замість цього ми використовуємо наступне рівняння коефіцієнта масиву (Array Factor (AF)), яке дає величину комбінованої амплітуди  $N$  синусоїд зі змінною фазою  $\varphi$  (яка відповідає  $\varphi$  в рівняннях 1 і 2, згаданих раніше):

$$\text{Рівняння 4. } AF = \text{Abs}(\sin(N\psi/2)/N\sin(\psi/2))$$

Це ідентичне рівняння, яке використовується для розрахунку вихідного сигналу адитивної решітки мікрофона (або антенної решітки), що складається з  $N$  рівномірно розташованих елементів. AF представляє відносну характеристику напруги лінійного або масивного мікрофона, так як  $10\log(AF)$  представляє відносну характеристику напруги в дБ, в той час як  $20\log(AF)$  представляє відносну характеристику потужності в дБ (що є типовим на схемі мікрофона).

Для прогнозування відносного відгуку лінійного мікрофона з  $N$ -портами при певному куті поза віссю  $\theta$  і довжині хвилі  $\lambda$  для TWM потрібно лише два конструктивні параметри, визначені рівняннями 1, 2 і 4, згаданими вище:

-  $D$  - відстань між портами, яка може бути або відстанню між щілинами в інтерференційній трубці рушничного мікрофона, або найменшою варіацією довжин трубок у кулетному мікрофоні. Важливо враховувати, що ця формула передбачає рівномірний інтервал, тому є лише одне значення  $D$ .



-  $N$  - це кількість портів, яка може бути або кількістю щілин в інтерференційній трубці рушничного мікрофона, або кількістю трубок у кулеметному мікрофоні.

Очевидно, що цей простий підхід, який не враховує такі змінні, як розмір і форма щілини дробовика, діаметр кулеметної трубки і акустичний імпеданс мікрофона, не може запропонувати дуже точну оцінку характеристик лінійного мікрофона, але він є досить наближеним, щоб мати практичну цінність.

## 2.6. Спрямованість.

Спрямованість мікрофона можна визначити як співвідношення чутливості мікрофона по осі до його середньої чутливості у всіх напрямках. Індекс спрямованості (DI) зазвичай вимірюється в децибелах (дБ) і може бути розрахований як  $10 \log$  (спрямованість). Мікрофон з ізотропною полярною діаграмою спрямованості має індекс спрямованості (DI) 0 дБ, а гіперкардіоїдна студійна діаграма спрямованості має DI 6 дБ.

Індекс спрямованості (DI) мікрофона можна наближено визначити, виходячи з ширини його діаграми спрямованості. Проте, коли мова йде про лінійний мікрофон, існує більш простий підхід до визначення індексу спрямованості: при відстані між щілинами в чверть довжини хвилі і довжині лінії, що значно перевищує відстань між щілинами, індекс спрямованості (DI) можна розрахувати за формулою  $DI = 10 \log(4L/\lambda)$ , де  $L$  представляє довжину лінії, а  $\lambda$  - довжину хвилі. Щоб визначити спрямованість мікрофона "Гармата" з гіперкардіоїдною капсулою, порівняйте більше значення між 6 дБ і індексом спрямованості (DI) інтерференційної трубки.

$$\text{Рівняння 5. } DI = \text{Макс.}(6 \text{ дБ}, 10 \log(4L/\lambda))$$

**2.7. Коефіцієнт відстані (DSF), коефіцієнт спрямованості (DF або Q) і індекс спрямованості (D або DI).**

Коефіцієнт відстані (Англ. Distance Factor (DSF)) - це загальноживаний

показник для оцінки ефективності “гарматних” мікрофонів. Він вимірює здатність мікрофона збільшувати радіус дії порівняно з всеспрямованим мікрофоном, враховуючи при цьому наявність навколишнього шуму, що надходить з усіх боків. DSF можна визначити за допомогою індексу спрямованості (DI) за наступною формулою:

Рівняння 6.  $DSF = 10^{(DI/20)}$ , де **DSF** - лінійне розширення діапазону, а **DI** - індекс спрямованості, що вимірюється в децибелах (дБ)

Уявіть собі джерело звуку і мікрофон, розташовані у кімнаті. Припустимо, що відстань між джерелом звуку і всеспрямованим мікрофоном дорівнює одиниці. За таких умов кардіоїдний мікрофон можна розмістити на відстані в 1,73 рази більшій, ніж джерело звуку, щоб досягти еквівалентної рівноваги між прямим і розсіяним звуком, за умови, що обидва мікрофони мають однакову чутливість.

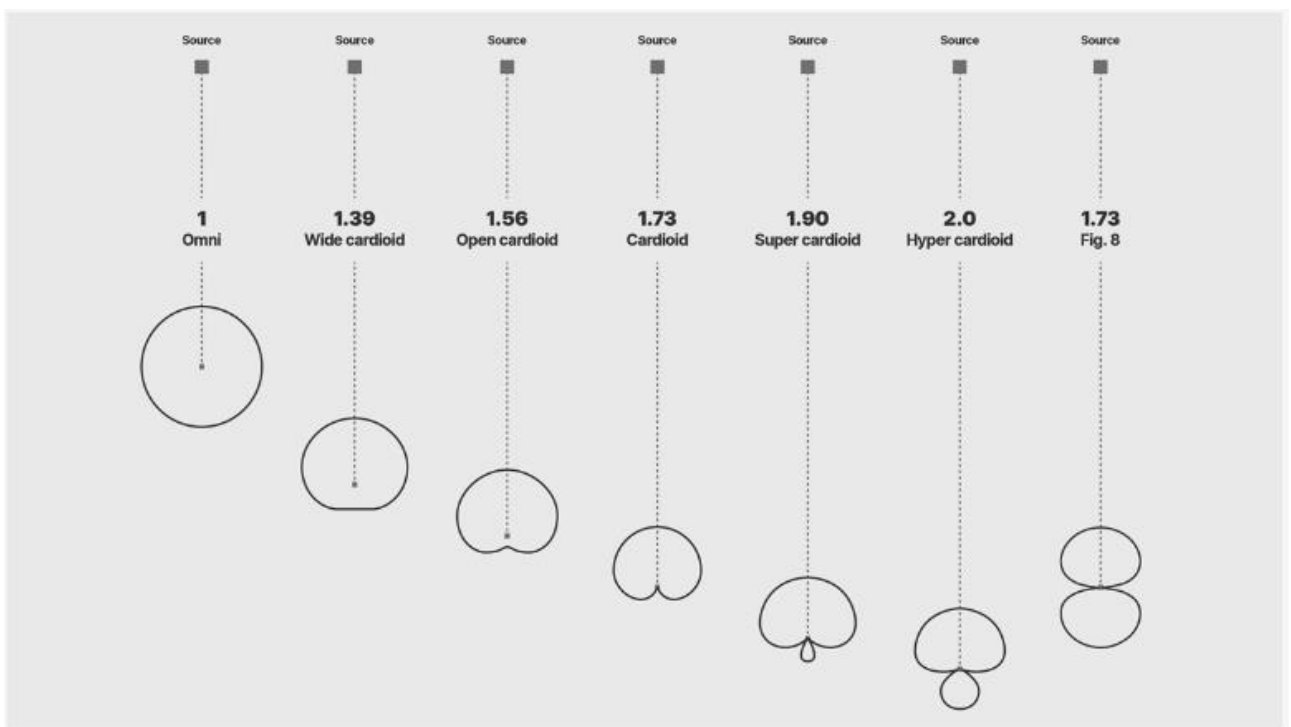


Рис2.5. Коefіцієнт відстані (DSF) мікрофонів 1-го порядку.

Коefіцієнт спрямованості (DF або Q) - це кількісна міра, визначається як

відношення енергії, отриманої на осі, до енергії, отриманої в усіх напрямках. Індекс спрямованості - це міра спрямованої чутливості пристрою або системи.

Полярний малюнок	Коефіцієнт відстані (DSF)	Коефіцієнт спрямованості (DF)	Індекс спрямованості (DI)	Кут прийому (-3 дБ)
Всеспрямований	1.00	1.00	0.0	360°
Широка кардіоїда	1.39	1.92	2.8	177° (±88.5°)
Відкрита кардіоїда	1.56	2.42	3.8	149° (±74.5°)
Кардіоїда	1.73	3.00	4.8	131° (±65.5°)
Суперкардіоїда	1.93	3.71	5.7	115° (±57.5°)
Гіперкардіоїда	2.00	4.00	6.0	105° (±52.5°)
Вісімка	1.73	3.00	4.8	90° (±45°)

Рис2.6. Назви полярної діаграми спрямованості разом із відповідними значеннями DSF, DF, DI та кута прийому.

Для прикладу, Sennheiser МКН 70-1, враховуючи його полярну діаграму, має коефіцієнт відстані приблизно 2.. Якщо для кругового мікрофона потрібно розміщувати його на відстані 1-го фути (30 см) від джерела, то мікрофон МКН 70-1 можна розташувати на відстані двох футів (60 см) від джерела. Проте відстань у два фути досить мала, враховуючи, що загальна довжина МКН 70-1, включаючи передпідсилювач, становить 42 см. Дійсно, довжина кожного “гарматного” мікрофона становить значну частину його очікуваного робочого діапазону по коефіцієнту спрямованості (DF).

З огляду на це, цілком природно, що деякі люди ставлять під сумнів, чи відповідає відстань, оцінена за допомогою DF, відстані між джерелом і передньою частиною інтерференційної трубки або між джерелом і мікрофонним елементом.

Очевидно, деякі люди вважають, що дальність, яку показує діаграма спрямованості (DF) “гарматного” мікрофона, відповідає відстані між джерелом звуку і мікрофонним елементом. Це пояснюється тим, що він відображає відстань, яку повинні пройти звукові хвилі, перш ніж перетворитися на електричний сигнал. Якби це твердження було правильним, воно, безсумнівно, знизило б ефективність рушничних мікрофонів.

На щастя, таке твердження не відповідає дійсності. Це пояснюється тим, що коли звук потрапляє в інтерференційну трубку, він не продовжує поширюватися так само, як у відкритому просторі і зменшення інтенсивності звуку з відстанню більше не підпорядковується закону оберненої квадратичної залежності. Відбувається незначна втрата сигналу вздовж трубки, але вона не має суттєвого впливу на функціональність DF.

**Коефіцієнт відстані (DF) рушничного мікрофона відноситься до відстані, виміряної від передньої частини трубки, а не від мікрофонного елемента в тилівій (або середній) частині трубки.**



Рис.2.7. Коефіцієнт відстані мікрофона “Гармата” вимірюється від передньої частини трубки, а не від мікрофонного елемента.

Отже, довжина інтерференційної трубки рушничного мікрофона не враховується в коефіцієнті відстані.

## **2.8. Ефективність мікрофонів “Гармата” в середовищі з високим рівнем реверберації.**

Відомо, що “гарматні” мікрофони не ефективні в умовах з високим рівнем реверберації. Фундаментальна перевага “гарматного” мікрофона полягає в його чудовій спрямованості. Подібно до інших спрямованих мікрофонів, спрямованість рушничного мікрофона змінюється обернено пропорційно довжині хвилі, як показано в рівнянні 6, згаданому вище. Ефективність роботи “гарматного” мікрофона в першу чергу визначається спектром навколишнього шуму.

Якщо навколишній шум має значну потужність на частотах, нижчих за критичну частоту рушничного мікрофона, він не забезпечить додаткової ефективності придушення цього шуму порівняно зі звичайним гіперкардіоїдним мікрофоном. У типовому ревербераційному шумовому полі спектр шуму

нижчий за частотою порівняно з прямим звуком. Крім того, інші фонові шуми в приміщенні, такі як шум від кондиціонера, зазвичай мають відносно низьку частоту.

Втім, це справедливо і для будь-якого іншого спрямованого мікрофона аналогічного розміру.

Таким чином, “гарматні” мікрофони дійсно спрямовані так, як передбачено. Найбільша дальність, на якій рушничний мікрофон може вловлювати звук певної якості, ймовірно, є найкориснішим показником для вимірювання його реальної ефективності. Максимальна дальність дії рушничного мікрофона, як і будь-якого іншого спрямованого мікрофона, визначається трьома елементами:

- рівнем звукового тиску і спектром, який потрібно вловити;
- необхідним співвідношенням сигнал/шум як функція частоти;
- рівнем звукового тиску і спектром навколишнього шуму.

### Розділ 3. Порівняння на практиці мікрофонних систем “Гармата” запису звуку.

#### 3.1. Опис техніки, матеріалу та місць проведення записів.

В цьому розділі автор хоче описати експеримент, який був проведений мною за допомогою декламатора та музиканта.

Метою експерименту було порівняти доступні мені рушничні мікрофонні системи запису звуку за такими суб’єктивними параметрами, як:

- Прозорість звучання фонограми
- Передача натуральності тембру
- Прийняття акустичних відображень
- Різницею амплітудно-частотної характеристики

Для експерименту була використана техніка:

Рушничні мікрофонні системи:



Рис.3.1. Зображення мікрофонів “Гармата”, які використовувалися в експерименті.

Мікрофон **Sennheiser MKH 70-1** призначений в першу чергу для запису на відстані. Оснащений високоточною діаграмою спрямованості, ефективно мінімізує сторонні фонові шуми, які не впливають на забарвлення звуку і концентрується тільки на передбачуваному джерелі звуку. Має вбудований атенюатор -10 дБ для регулювання чутливості під час роботи з джерелами з високим звуковим тиском. Інфразвуковий та ультразвуковий режекторні фільтри.

Характеристика спрямованості – суперкардіоїда.

Частотний діапазон мікрофона – 50 - 20,000 Гц.

Чутливість мікрофона 15 мВ/Па



Рис.3.2. Діаграма спрямованості та частотна характеристика **Sennheiser MKH 70-1**

Мікрофон **Sanken Cs-3E** вловлює цільові джерела звуку з винятковою чіткістю в широкому частотному діапазоні - навіть у шумному середовищі або в довгому просторі реверберації, відкидаючи небажані шуми та звуки, що надходять позаосяю. **CS-3e** практично усуває ефект близькості і зберігає чітку спрямованість, в той час як звукові характеристики не змінюються при різних відстанях між джерелами і мікрофоном.

Характеристика спрямованості – суперкардіоїда.

Частотний діапазон мікрофона – 50 – 20000 Гц

Чутливість мікрофона – 12.5 мВ/Па

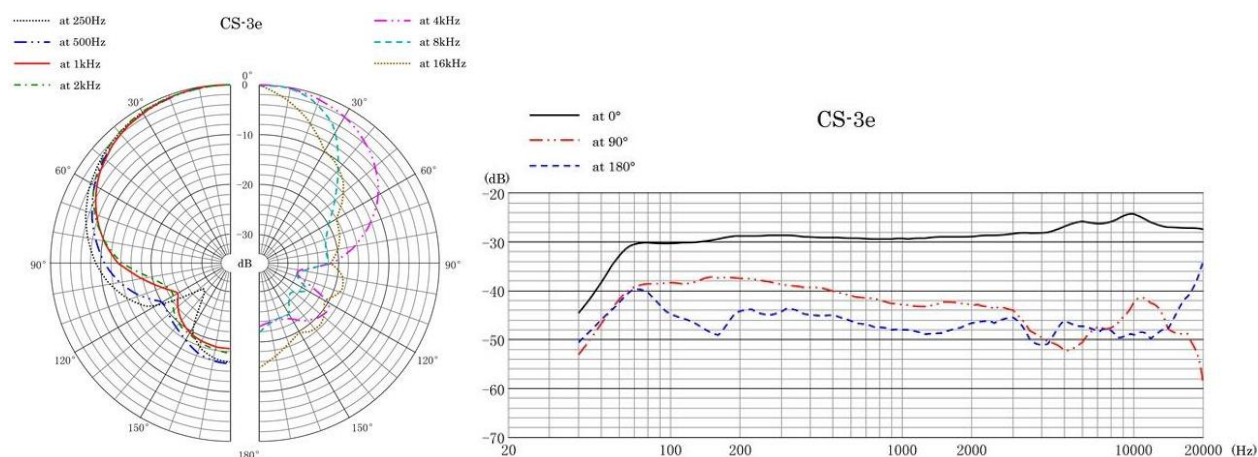


Рис.3.3. Діаграма спрямованості та частотна характеристика **Sanken Cs-3E**

**Rode M5** конденсаторний мікрофон з малою діафрагмою, розроблен для забезпечення виняткової продуктивності в широкому діапазоні студійного або живого звукозапису. M5 оснащений півдюймовим кардіоїдним конденсаторним капсулем, що вирізняється низьким рівнем шуму і повною частотною характеристикою. Він чудово підходить для запису широкого спектру акустичних інструментів, хорів та запису акторів на знімальному майданчику, коли потрібен конденсаторний мікрофон з малою діафрагмою.

Характеристика спрямованості – кардіоїда.

Частотний діапазон мікрофона – 20 – 20000 Гц

Чутливість мікрофона – 12.5 мВ/Па

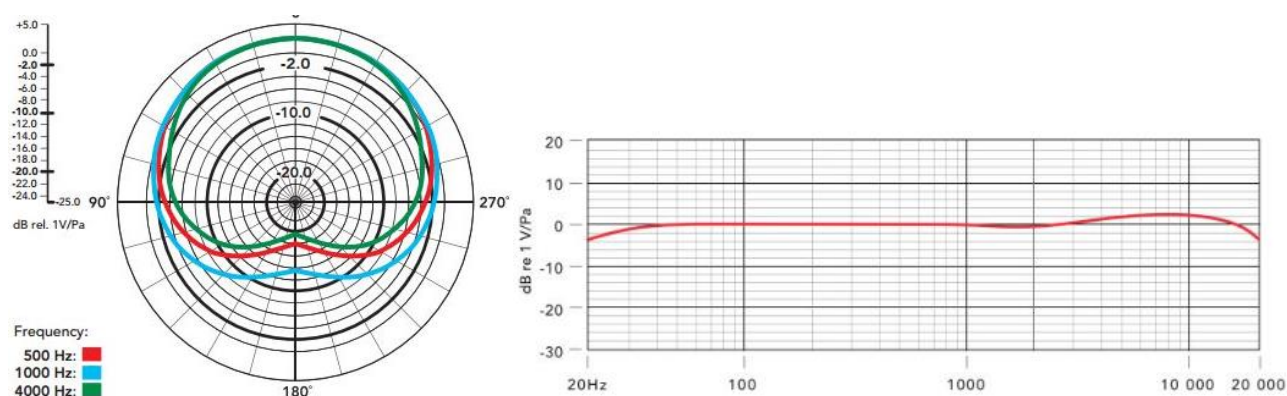


Рис.3.4. Діаграма спрямованості та частотна характеристика **Rode M5**

**Schoeps CMIT 5** мікрофон “Гармата”, в якого надзвичайно низьке забарвлення позаосьового звуку. За потреби CMIT 5 також можна



використовувати для музичних записів, наприклад записів опери або вокалу. Капсуль і підсилювач СМІТ 5 побудовані як єдиний блок. Наявний високочастотний підсилювач (+5 дБ на 10 кГц) підвищує розбірливість мови і компенсує високочастотні втрати, викликані вітровим склом; Низькочастотний фільтр (18 дБ/окт. нижче 80 Гц) пригнічує шум вітру та стріли; М'який низькочастотний фільтр (6 дБ/окт. нижче 300 Гц) компенсує ефект близькості.

Характеристика спрямованості – суперкардіоїда.

Частотний діапазон мікрофона – 40 – 20000 Гц

Чутливість мікрофона – 18 мВ/Па

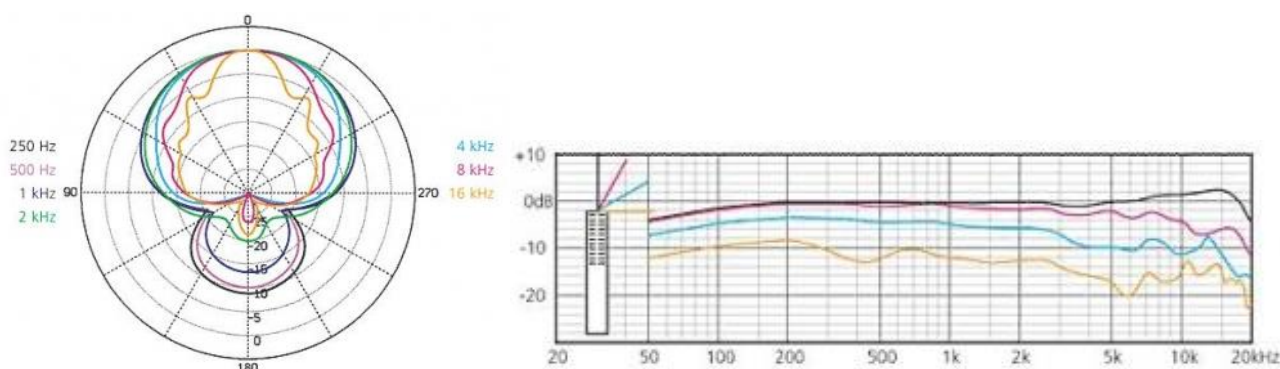


Рис.3.5. Діаграма спрямованості та частотна характеристика **Schoeps СМІТ 5**

### **Sennheiser МКН 60-1**

Мікрофон **Sennheiser МКН 60-1** менш чутливий до вологи, має високу чутливість і перемикання фільтрів компенсації загасання високих частот на відстані і фільтр підйому низьких частот при наближенні до джерела звуку. Також є вбудований атенюатор -10 дБ.

Характеристика спрямованості – суперкардіоїда.

Частотний діапазон мікрофона – 50 – 20000 Гц

Чутливість мікрофона – 12.5 мВ/Па



Рис.3.5. Діаграма спрямованості та частотна характеристика **Sennheiser MKH 60-1**

**Schoeps MK 41** має високу спрямованість на низьких і середніх частотах. Природний звук завдяки плоскій частотній характеристикі, яка залишається майже однаковою для всіх напрямків звукозапису. Це особливо важливо для запису в приміщенні.

Характеристика спрямованості – суперкардіоїда.

Частотний діапазон мікрофона – 40 – 20000 Гц

Чутливість мікрофона – 16 мВ/Па.

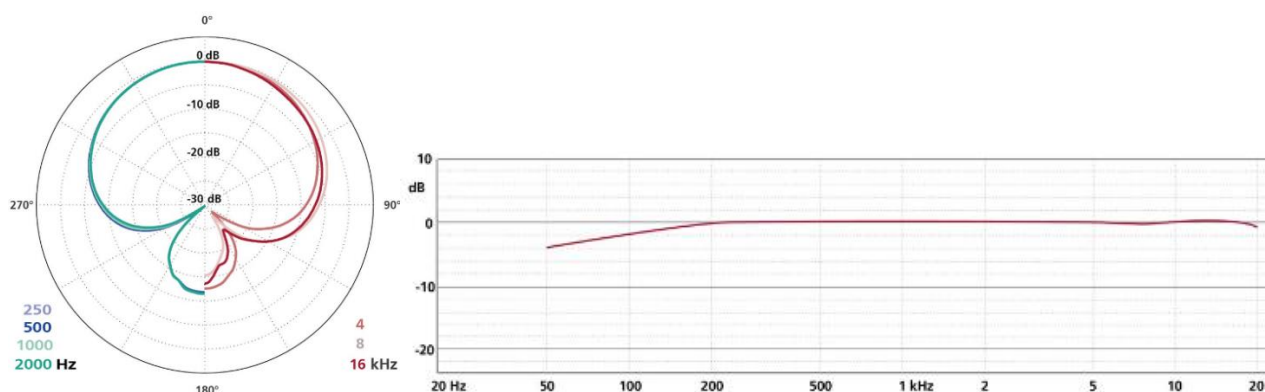


Рис.3.6. Діаграма спрямованості та частотна характеристика **Schoeps MK 41**

Мікрофон “Гармата” **Rode NTG-1** конденсаторного типу, має міцну металеву конструкцію, що забезпечує захист від пошкоджень як під час роботи в студії, так і в польових умовах. Низький власний рівень шуму і чутливий конденсаторний елемент дозволять відтворити чіткий прозорий звук, не обтяжений шипінням та іншими перешкодами.

Характеристика спрямованості – суперкардіоїда.

Частотний діапазон мікрофона - 20 - 20000 Гц .

Чутливість мікрофона – 13 мВ/Па

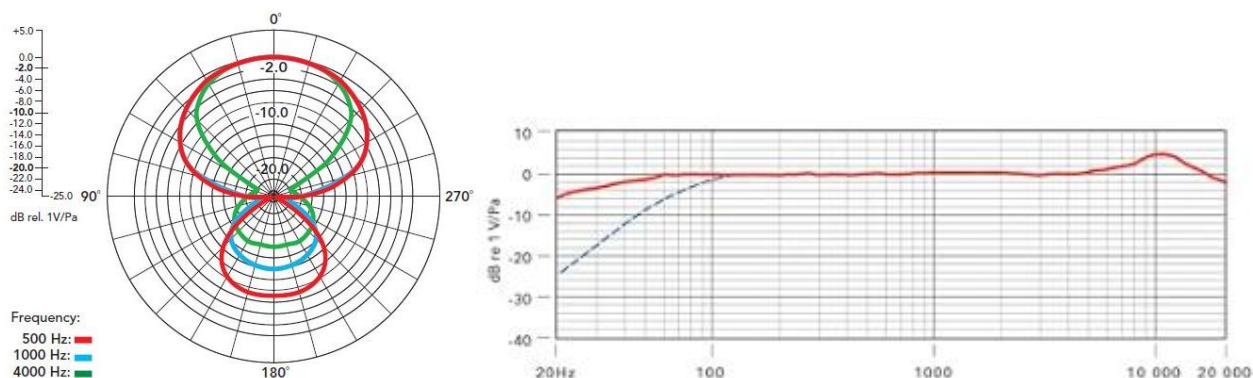


Рис.3.7. Діаграма спрямованості та частотна характеристика **Rode NTG-1**

Невеликий мікрофон “Гармата” **Sennheiser МКН 416-P48U3** оснащений радіочастотним конденсатором, що робить його дуже стійким до вологості. Мікрофон демонструє гіперкардіоїдну полярну діаграму спрямованості на низьких і середніх частотах і переходить на лобарну діаграму спрямованості на високих частотах. Це дозволяє знизити рівень звуку приблизно на 10 дБ у точках поза осю 90° у діапазоні частот від 125 Гц до 2 кГц. МКН 416-P48U3 дозволяє точно записувати діалоги, фолі та звукові ефекти, захоплюючи широкий діапазон динаміки та забезпечуючи чіткість. Це стало можливим завдяки широкій частотній характеристикі, покращеній артикуляції приголосних і здатності витримувати високий рівень звукового тиску (SPL).

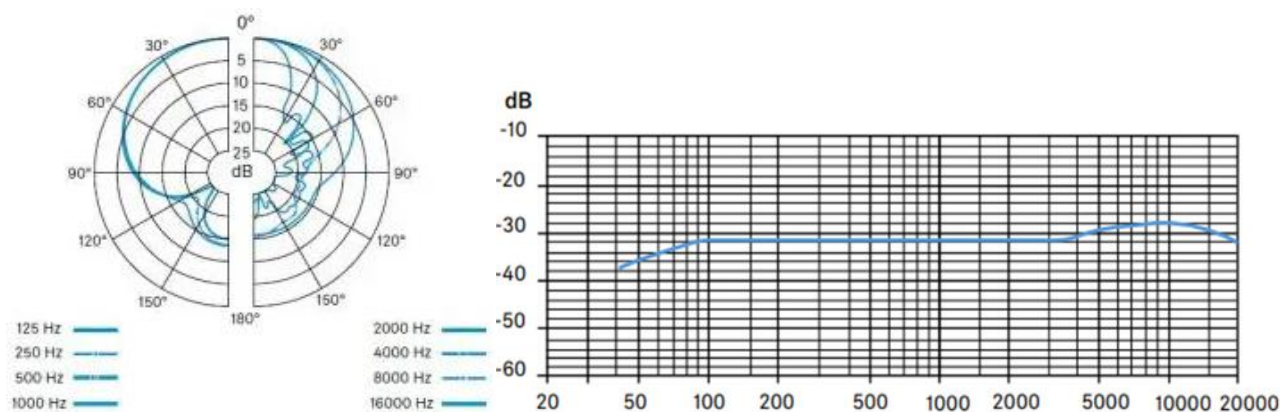


Рис.3.8. Діаграма спрямованості та частотна характеристика **Sennheiser МКН 416-P48U3**

Цифровий аудіо-рекордер:

## Sound Devices 788T-SSD



Рис.3.9. Зображення цифрового аудіо-рекордера, який використовувався в тесті.

Було проведено шість досліджень у шести різних локаціях, які включали в себе інтер'єрні та екстер'єрні локації: студію звукозапису, невеликий коридор у квартирі житлового будинку, під'їзд житлового будинку, підземний перехід, автомобільну дорогу з невеликим трафіком та локацію біля річки Ірпінь. Локації підбиралися таким чином, щоб найбільш різноманітно показати мікрофони в різних акустичних умовах, щоб адекватно оцінити сприйняття мікрофонними системами акустичного середовища.

Щоб порівняти амплітудно-частотну характеристику під кутами  $90^\circ$  та  $45^\circ$ , прозорість, прийняття акустичних відображень, натуральність тембру, як матеріал для запису була обрана поезія Василя Симоненка, яка виконувалася декламаторкою Соф'єю Василенко та музичний інструмент – труба, на якій грав професійний музикант Василь Панчук. Тим самим, на мою думку, цей експеримент може бути корисним звукорежисерам та звукооператорам, в розумінні того, чого можна досягнути при використанні рушничних мікрофонних систем запису звуку та який саме мікрофон підходить їм для вирішення задач.

### Перша локація

**«Студія звукозапису Інституту Екранних Мистецтв КНУТКТ імені І.К. Карпенка-Карого»**

За п'ять років мого навчання було чимало проведено записів дубляжу, тонування, переозвучення, виконання різних завдань з різними мікрофонними



системами саме на цій студії звукозапису. Ця локація була обрана, як мінімум, за мінімальний рівень реверберації та тренову тишу. Тому було цікаво провести запис саме там і послухати відмінність амплітудно-частотної характеристики різних мікрофонів під різними кутами, мікрофонного шуму, прозорості на прикладі вірша Василя Симоненка “Задивляюсь у твої зіниці”. Розташування мікрофонів було в районі 15-20 см від виконавиці, як показано на рис.3.1.0.



**Рис.3.1.0. Розташування мікрофона на студії звукозапису.**

### **Друга локація**

#### **«Автомобільна дорога з невеликим трафіком»**

Ця локація була обрана, щоб більш детально почути різницю поглинання навколишніх шумів у мікрофонних системах з різною довжиною інтерференційної трубки. Невеликий трафік та несприятливі умови на дорозі дали змогу записати та почути різнобарвні записи.

Матеріалом для запису було обрано вірш Василя Симоненка “Є в коханні і будні, і свята”.

Розташування мікрофонів було біля 20 см від виконавиці, та в п’яти метрах від дороги, як показано на рис.3.1.1.



**Рис.3.1.1. Розташування мікрофона біля автомобільної дороги.**

### **Третя локація**

#### **«Під'їзд житлового будинку»**

Довгий час реверберації та помітну затримку демонструє ця локація за рахунок конструктивних особливостей. Вона була ідеальна для того, щоб почути, наскільки мікрофон працює в полі ревербераційного шуму, та як це впливає на окрас звуку.

Матеріалом для запису було обрано вірш Василя Симоненка “Я...”.

Розташування мікрофонів було 15-20 см від виконавиці, як показано на рис.3.1.1.



**Рис.3.1.2. Розташування мікрофона у під'їзді житлового будинку.**

## Четверта локація

### «Квартира житлового будинку»

Однією з найпоширеніших інтер'єрних локацій в кіно є саме квартира житлового будинку. Ця локація була обрана саме за її невеликі розміри. Тест у цьому приміщенні показав, наскільки відрізняється поглинання мікрофонів в себе мінімального ревербераційного шуму та як це впливає на окрас тембру.

Розташування мікрофонів було в районі 15-20 см під кутом  $45^\circ$  відносно виконавиці, як показано на рис.3.1.3.

Матеріалом для запису було обрано вірш Василя Симоненка “В букварях ти наряджена і заспідничена”.



Рис.3.1.3. Розташування мікрофона у квартирі житлового будинку.

## П'ята та шоста локація

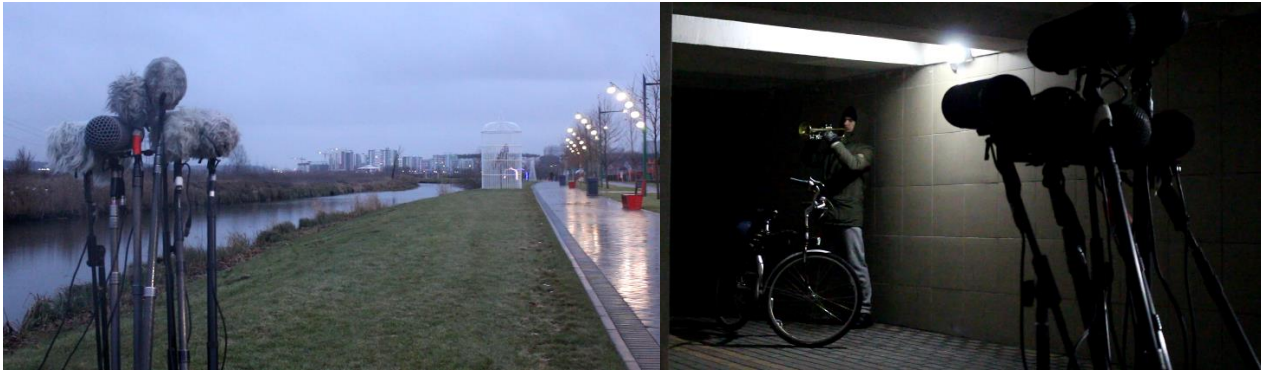
### “Набережна річки Ірпінь” та «Підземний перехід»

Локація була вибрана через те, що перед звукооператором часто постають задачі записати атмосферні шуми або музичні інструменти. Такі локації дають нам змогу почути різне забарвлення мікрофонних систем.

Матеріалом для запису було обрано композицію “Strangers in the night” Френка



Сінатра виконаній на музичній трубі.



**Рис.3.1.4. Розташування мікрофона на набережній річки Ірпінь та у підземному переході.**

### **3.2. Тест прослуховування.**

Після сеансів запису вся зібрана інформація була ретельно впорядкована та перевірена, щоб визначити записи, які найкраще підкреслюють відмінні якості використовуваних мікрофонів. Після того, як весь матеріал був відібраний, всі файли були узгоджені за рівнями між собою без використання частотних та динамічних обробок. Було проведено шість сеансів прослуховування (сеанси прослуховування були поділені за принципом на одна локація — один сеанс)



## Висновки

Використання рушничних мікрофонних систем в українському кіновиробництві має вирішальне значення для досягнення чудового звукозапису під час знімального процесу. Системи запису пройшли довгу дорогу розвитку і на цьому не збираються зупинятися, перший та другий розділ в достатній мірі мені це показали. Зібравши історичну інформацію та проаналізувавши конструкцію мікрофонних систем, я вирішив порівняти найпоширеніші мікрофони, які добре зарекомендували себе протягом тривалого часу. За допомогою експерименту тепер я можу вибрати ті мікрофони, які дають найбільші шанси на вирішення як технічних, так і художніх задач, що можуть виникнути під час запису акторів або навколишнього середовища на знімальному майданчику.

Вміле використання вузьконаправлених мікрофонних систем вимагає від звукорежисерів глибокого розуміння технічних аспектів, складнощів акустичного оточення, а також вміння вибирати та налаштовувати обладнання для досягнення оптимальної якості звуку. Враховуючи ці критерії, українське кіновиробництво має потенціал для досягнення професійного рівня аудіовиробництва та дотримання суворих стандартів якості міжнародної кіноіндустрії.

**Sennheiser МКН 70-1** в першому дослідженні (студія звукозапису), на мою думку, в частотному діапазоні підвищена нижня середина, через що чутно невеликий гул та присутня неясність голосу, нерозбірливість. Така проблема, тільки збільшеного характеру, присутня у дослідженні 3 та 4 за рахунок ревербераційного шуму (під'їзд та кімната). Дослідження 2 показало, що **МКН 70-1** краще за все використовувати на натурі. В порівнянні з іншими мікрофонами, у дослідженні 2, цей мікрофон був найяскравішим, дуже точно та об'ємно вирізняв голос, та при цьому відбивав середовище, розмальовуючи тільки високі частоти на проїзній частині дороги.

З цієї ж лінійки **Sennheiser МКН 60-1** зовнішньо відрізняється від **МКН 70-1** зменшеною інтерференційною трубкою. Так само за звучанням більш

прозорий, в нього не настільки завищена нижня середина, але все ж відчувається. В порівнянні з іншими мікрофонами глухе звучання.

**Sennheiser MKH 416-P48U** популярний бюджетний мікрофон в українському кіновиробництві. Досить прозорий. За рахунок завищених верхніх частот не в повній мірі відчувається натуральність тембру, досить значна проблема з сибілянтами. В дослідженні 3 поглинає в себе всю проїзну частину, окрім низьких частот.

**Rode M5** за рахунок кардіоїної діаграми спрямованості, вирізняється від інших мікрофонів меншим поглинанням ревербераційного шуму. Ліпше його використовувати в інтер'єрі, але зарахунок меншої дальності спрямованості, запис реплік треба проводити на близькій відстані, для більш об'ємного звучання.

**Schoeps SMIT 5** у дослідженні 4 вирізняється натуральністю тембру, доволі об'ємний частотний діапазон у нижньому регістрі. З мінімальним ревербераційним шумом. У дослідженні 2 **SMIT 5**, в порівнянні з іншими мікрофонами, відчувається вся проїзна частина, але з меншою мірою високих частот.

**Schoeps MK 41** у дослідженні 4 ревербераційного шуму майже не чути, за рахунок відсутності інтерференційної трубки та вузькій спрямованості. В інших дослідженнях показав себе стримано, більш-менш рівною АЧХ, яскравим та об'ємним тембром.

## Список використаних джерел

Електронні ресурси:

1. How Does A Shotgun Microphone Work? Режим доступу:  
<https://www.speechrecsolutions.com/guides/Shotgun%20Mic%20Tutorial.pdf>
2. How Shotgun Microphones Work & When To Use One. Режим доступу:  
<https://audiouniversityonline.com/how-shotgun-microphones-work-when-to-use-one/>
3. Mason's U.S. patent 2,225,312. Режим доступу:  
<https://patents.google.com/patent/US2225312A/en>
4. Microphones, Oral History, and that "Radio" Sound in the Field: Shotgun Microphones. Режим доступу: <https://digitalomnium.com/microphones-oral-history-and-that-radio-sound-in-the-field-shotgun-microphones/>
5. Milestones of 75 Years Sennheiser. Режим доступу:  
<https://newsroom.sennheiser.com/our-history-296425>
6. NTG1. Режим доступу:  
<https://rode.com/en/microphones/shotgun/ntg1>
7. Official Sennheiser online store in Ukraine. Режим доступу:  
<https://sennheiserstore.com.ua/>
8. Olson's U.S. patent 2,228,886. Режим доступу:  
<https://patents.google.com/patent/US2228886A/en>
9. RODE M5 Compact 1 2 Cardioid Condenser Microphones Instructions. Режим доступу: <https://manuals.plus/rode/m5-compact-1-2-cardioid-condenser->

[microphones-manual](#)

10. SANKEN CS-3E SHOTGUN MIC. Режим доступа:

<https://www.trewaudio.com/product/sanken-cs-3e/>

11. SANKEN MICROPHONE. Режим доступа:

<https://sanken-mic.com/>

12. Schoeps CMC5-U with MK41 supercardioid condenser capsule. Режим

доступу: <https://www.coutant.org/cmc5u/index.html>

13. Schoeps CМIT 5 Shotgun Microphone. Режим доступа:

<https://prosoundeurope.com/products/schoeps-cmit-5-shotgun-microphone>

14. SCHOEPS Microphones. Режим доступа:

<https://schoeps.de/en/>

15. SCHOEPS MK 41 SUPERCARDIOID MICROPHONE CAPSULE. Режим

доступу: <https://www.trewaudio.com/product/schoeps-mk-41/>

16. Shotgun Microphones: Sennheiser Moves the Market. Режим доступа:

<https://www.sportsvideo.org/2013/03/08/shotgun-microphones-sennheiser-moves-the-market>

17. Sennheiser. Режим доступа:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Sennheiser>

18. SENNHEISER MKH416 P48. Режим доступа:

<https://kytary.ie/sennheiser-mkh416-p48-opened/HN234103/>

19. Sennheiser МКН 60-1 manual. Режим доступа:

<https://www.manual.nz/sennheiser/mkh-60-1/manual>

20. Sennheiser МКН 70-1 Specification. Режим доступа:

<https://www.manual.nz/sennheiser/mkh-60-1/manual>

21. The МКН Story. Режим доступа:

[https://assets.sennheiser.com/global-downloads/file/11061/МКН-Story\\_WhitePaper\\_en.pdf](https://assets.sennheiser.com/global-downloads/file/11061/МКН-Story_WhitePaper_en.pdf)

22. What Is a Shotgun Mic?. Режим доступа:

<https://www.hollyland.com/blog/tips/what-is-a-shotgun-microphone>