

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет радіоелектроніки комп'ютерних систем та інфокомунікацій

Кафедра радіоелектронних і біомедичних комп'ютеризованих засобів і
технологій

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи

магістра

(освітній ступінь)

на тему «Дослідження діаграми спрямованості акустичної системи з декількома
випромінювачами»

ХАІ.502.560м.22о.172.13555529 ПЗ

Виконала: здобувачка 2 курсу групи №560м

Галузь знань 17 «Електроніка та
телекомунікації»

Спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка

(шифр і назва напрямку підготовки (спеціальності))

Освітньої програми: «Радіоелектронні
комп'ютеризовані засоби»

(назва освітньої програми)

Борщ А.А.

(прізвище й ініціали студента)

Керівник: Олійник В.М.

(прізвище й ініціали)

Рецензент: Невлюдов І.Ш.

(прізвище й ініціали)

Харків – 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ АЕРОКОСМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ім. М.С. ЖУКОВСЬКОГО
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет Радіоелектроніки, комп'ютерних систем і інфокомунікацій

Кафедра Радіоелектронних і біомедичних комп'ютеризованих засобів та технологій

Освітньо-кваліфікаційний рівень другий (магістерський)

Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»

Спеціальність 172 – „Телекомунікації та радіотехніка ”
(шифр і назва)

Освітньої програми Радіоелектронні комп'ютеризовані засоби
(назва освітньої програми)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувачка кафедри

О.В. Висоцька

(підпис)

(ініціали та прізвище)

« ___ » _____ 2022 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Борщ Анастасія Андріївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження діаграми спрямованості акустичної системи з декількома випромінювачами

керівник роботи Олійник Вячеслав Миколайович к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом Університету № 1815-уч від «29» листопада 2022 року.

2. Строк подання студентом роботи 15 грудня 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Характеристика динаміків високочастотної та середньочастотної ланки акустичних систем 2ГД36, 3ГД-2, 4ГД-6, 15ГД-11 Б, 25ГДШ-1а-4.

2. Діаграми спрямованості динаміків 2ГД36, 3ГД-2, 4ГД-6, 15ГД-11 Б, 25ГДШ-1а-4.

4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

4.1. Аналітичний огляд акустичних систем та їх характеристик.

4.2. Розробка експериментального стенду для дослідження акустичних систем з декількома випромінювачами.

4.3. Дослідження діаграм спрямованості акустичної системи з декількома випромінювачами.

4.4. Рекомендації до захисту від акустичних перенавантажень

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

5.1. Зовнішній вигляд вимірювального стенду акустичних досліджень (плакат, арк. А4).

5.2. АЧХ гучномовця високочастотної ланки ЗГД-2 (плакат, арк. А4).

5.3. АЧХ гучномовця середньочастотної ланки 15ГД-11Б (плакат, арк. А4).

5.4. Сумарна діаграма спрямованості акустичної системи (плакат, арк. А4).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Усі розділи	Олійник В.М., доцент	31.10.22	

Нормоконтроль _____ Олійник В.М. «12» грудня 2022 р.
(підпис)

7. Дата видачі завдання «31» жовтня 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний огляд акустичних систем та їх характеристик	31.10.22-07.11.22	
2	Розробка експериментального стенду для дослідження акустичних систем з декількома випромінювачами	09.11.22-14.11.22	
3	Дослідження діаграм спрямованості акустичної системи з декількома випромінювачами	15.11.22-25.11.22	
4	Рекомендації до захисту від акустичних перенавантажень	26.11.22-30.11.22	
5	Оформлення пояснювальної записки	01.12.22-06.12.22	
6	Подача кваліфікаційної роботи до перевірки	07.12.22	
7	Передзахист	13.12.22	
8	Захист	15.12.22	

Здобувачка вищої освіти


(підпис)

Борщ А.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Олійник В.М.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до науково-дослідної роботи магістра: 93 с., 66 рис., 11 табл., 5 дод., 20 джерел.

АКУСТИЧНА СИСТЕМА, АМПЛІТУДНО ЧАСТОТНА ХАРАКТЕРИСТИКА, ВИСОКОЧАТОТНА ЛАНКА, ГУЧНОМОВЕЦЬ, ДІАГРАМА СПРЯМОВАНОСТІ, ДИНАМІК, СЕРЕДНЬОЧАСТОТНА ЛАНКА.

Об'єкт дослідження – процеси формування діаграми спрямованості акустичної системи з декількома випромінювачами.

Мета роботи – дослідження діаграми спрямованості акустичної системи з декількома випромінювачами.

Методи дослідження – експериментальні методи дослідження амплітудно-частотних характеристик та просторових діаграм спрямованості гучномовців високочастотної та середньочастотної ланок акустичних систем.

В даній роботі досліджуються діаграми спрямованості акустичної системи з декількома випромінювачами. Запропоноване дослідження сумарної діаграми спрямованості, що будується завдяки розташуванню високочастотних динаміків під кутом 30° відносно середньочастотного динаміка.. Експериментальні дослідження проводились на вимірювальному стенді з високоякісним професійно-вимірювальним мікрофоном ВПМ-101 для досягнення отримання достовірної картини звуку.

Досягнуто розширення зони бокових пелюсток сумарної діаграми спрямованості за рахунок розташування високочастотних динаміків під кутом 30° відносно середньочастотного динаміка. Також за рахунок об'єднання діаграм спрямованості високочастотного динаміка ЗГД-2 на частотах 8000-14000 Гц сумарна діаграма спрямованості не має провалу в середині.

ABSTRACT

The explanatory note to the research work of the master contains: 93 pp., 66 pic., 11 tab., 5 add., 20 sources.

ACOUSTIC SYSTEM, AMPLITUDE-FREQUENCY CHARACTERISTICS, HIGH-FREQUENCY LINK, LOUDSPEAKER, DIRECTIVITY DIAGRAM, LOUDSPEAKER, MEDIUM-FREQUENCY LINK.

The object of research is the processes of forming the directional diagram of an acoustic system with several emitters.

The purpose of the work is to study the directional diagram of an acoustic system with several radiators.

Research methods – experimental methods of research of amplitude-frequency characteristics and spatial directional diagrams of loudspeakers of high-frequency and medium-frequency links of acoustic systems.

In this work, the directional diagrams of the acoustic system with several emitters are investigated. The proposed study of the total directional pattern, which is built due to the location of high-frequency speakers at an angle of 30° relative to the mid-frequency speaker. Experimental studies were carried out on a measuring bench with a high-quality professional measuring microphone VPM-101 to achieve a reliable sound picture.

An expansion of the area of the side lobes of the total directional diagram was achieved due to the location of the high-frequency speakers at an angle of 30° relative to the mid-frequency speaker. Also, due to combining the directional diagrams of the 3GD-2 high-frequency speaker at frequencies of 8000-14000 Hz, the total directional diagram does not have a dip in the middle.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД АКУСТИЧНИХ СИСТЕМ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	10
1.1 Основні характеристики звуку.....	10
1.2 Характеристики якості акустичних систем.....	12
1.3 Основні характеристики гучномовців.....	15
1.4 Діаграми спрямованості.....	17
1.5 Огляд сучасних акустичних систем з розширенням діаграми спрямованості.....	20
2 РОЗРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АКУСТИЧНИХ СИСТЕМ З ДЕКІЛЬКОМА ВИПРОМІНЮВАЧАМИ.....	30
2.1 Постановка задач дослідження.....	30
2.2 Параметри високочастотних динаміків.....	31
2.3 Параметри середньочастотних динаміків.....	35
2.4 Розробка експериментального стенду.....	38
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДІАГРАМИ СПРЯМОВАНOSTІ АКУСТИЧНОЇ СИСТЕМИ З ДЕКІЛЬКОМА ВИПРОМІНЮВАЧАМИ.....	44
3.1 Дослідження характеристик високочастотних динаміків і вибір динаміка.....	44
3.2 Дослідження характеристик середньочастотних динаміків і вибір динаміка.....	49
3.3 Побудова сумарної діаграми спрямованості.....	52
4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ЗАХИСТУ ВІД АКУСТИЧНИХ ПЕРЕНАВАНТАЖЕНЬ.....	69
ВИСНОВКИ.....	84
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	86
Додаток А Зовнішній вигляд вимірювального стенду акустичних досліджень.....	88

Додаток Б Плакат амплітудно-частотної характеристики високочастотного динаміка 3ГД-2.....	89
Додаток В Плакат діаграм спрямованості високочастотного динаміка 3ГД-2.....	90
Додаток Г Плакат амплітудно-частотної характеристики середньочастотного динаміка 15ГД-11 Б.....	91
Додаток Д Плакат діаграм спрямованості середньочастотного динаміка 15ГД-11 Б.....	92
Додаток Е Плакат сумарної діаграми спрямованості акустичної системи середньочастотного динаміка 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2.....	93

ВСТУП

Актуальність. Необхідно зробити ідеальну просторову картину для того, щоб була видна просторова структура. З'ясовується, чи вийде гарна просторова картина, якщо досліджувати акустичні системи з різними характеристиками, з різним розташуванням, під кутом.

Слух є одним із найважливіших органів чуття людини. Відтворити звуки, що чує людина в реальному світі можливо лише за допомогою високоякісних акустичних систем. Одним з параметрів, що суттєво впливає на достовірність просторової «звукової картини», де важливішим параметром є оцінка напрямку до джерела звуковідтворення, зверху чи знизу, далеко чи близько, зліва чи справа, а для стереосистеми – локалізація звукових джерел. Найбільший вклад в підвищення достовірності звуковідтворення в акустичних системах відіграють ланки середньочастотного та високочастотного спектрів. Середньочастотна частина спектру надає людині можливість сприймати краще інформаційний потік, а високочастотний спектр відповідає, як правило, за локалізацію просторової «звукової картини». Саме тому дана робота присвячена дослідженню методу поліпшення якості звуковідтворення в ланці середньочастотного та високочастотного спектру. Сучасні технічні можливості не дозволяють реалізувати широкополосний акустичний сигнал у вигляді єдиного гучномовця, тому високоякісні акустичні системи будують як двох- та трьохполосні.

Об'єктом дослідження є процеси формування діаграми спрямованості акустичної системи з декількома випромінювачами.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є дослідження діаграми спрямованості акустичної системи з декількома випромінювачами. Для досягнення поставленого завдання необхідно виконати наступне:

- зробити аналіз засобів побудови акустичних систем з високою вірністю просторової картини;

- розглянути технічні характеристики високочастотних та середньочастотних динаміків;
- дослідити характеристики високочастотних динаміків;
- дослідити характеристики середньочастотних динаміків;
- дослідити просторові діаграми спрямованості динаміків та обрати кращі;
- побудувати сумарну діаграму спрямованості для акустичної системи з декількома випромінювачами;
- зробити висновки з отриманих результатів.

Методи дослідження – експериментальні методи дослідження амплітудно-частотних характеристик та просторових діаграм спрямованості гучномовців високочастотної та середньочастотної ланок акустичних систем.

Наукова новизна отриманих результатів. При використанні динаміків з певними характеристиками та діаграмами спрямованості, варіюючи їх розташування та кути можна вплинути на характеристики звукової просторової картини. Це робиться для того, щоб побудувати колонку з таким просторовим звуком, щоб вона не відрізнялась від природного звуку.

Практична цінність отриманих результатів. Отримане акустичне поле дозволить покращити акустичні характеристики системи випромінювачів.

Пропонується дослідити сумарну діаграму спрямованості, що будується завдяки розташуванню високочастотних динаміків приблизно під кутом 30° відносно середньочастотного динаміка.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД АКУСТИЧНИХ СИСТЕМ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИК

1.1 Основні характеристики звуку

Звукова (акустична) хвиля – це механічна повздовжня хвиля з частотами від 20 Гц до 20 кГц. Звук поширюється в середовищі зі скінченною швидкістю, яка залежить від температури, густини, складу та інших характеристик середовища. Так, у рідинах звук поширюється швидше ніж у газах, і повільніше, ніж у твердих тілах.

Швидкість поширення звуку зазвичай збільшується зі збільшенням температури середовища (так 0 градусів С у повітрі швидкість поширення звуку дорівнює 330м/с, а за температури 20 С – 340 м/с). До того ж чим менша маса молекул середовища, тим швидше поширюється звук. Швидкість звуку у воді дорівнює 1400м/с, у сталі – 5000 м/с.

Джерелом звуку є тіло, що коливається. Такі коливання можуть бути вимушеними (дифузор гучномовця), вільними (струна гітари), автоколиваннями (струни смичкових інструментів). Звукові хвилі не поширюються у вакуумі. Під час поширення звуку не відбувається перенесення речовини, але відбувається перенесення енергії. Також вони можуть накладатись одна на одну (явище інтерференції), можуть огинати перешкоди (явище дифракції). Людина може чути звуки в діапазоні від 20 Гц до 20 000 Гц (20 кГц). Звуки вище і нижче цього діапазону, звичайно, існують, просто людина їх не чує. Звук може бути простим, тобто що складається з одного сигналу, або складним, що складається з декількох простих сигналів, звучних з різними амплітудами і частотами.

До основних характеристик звуку відносять такі параметри: звуковий тиск, нерівномірність за спектральним складом, акустична потужність (гучність).

Гучність звуку визначається насамперед амплітудою, потужністю звукової хвилі (а отже, й звуковим тиском), проте залежить і від частоти звукової

хвилі. Людське вухо погано сприймає звуки низьких частот (близько 20 Гц) і високих (близько 20 кГц), найкраще – середніх частот (1-3 кГц).

Висота звуку визначається в основному частотою звукової хвилі: чим більша її частота, тим вищий тон звуку. У разі збільшення інтенсивності звуку його висота здається більш низькою. Тембр звуку визначається складом звукової хвилі: крім основної частоти (за якою ми оцінюємо висоту звуку) будь-який звук містить кілька більш слабких і більш високих додаткових частот – обертонів.

Звук розподіляється нерівномірно на всіх поверхнях. Відбувається його спотворення через ревербераційний відгук, резонанс, змінюється тональність звуку, забираються післязвучання. Правильна акустика приміщень створюється за допомогою точного розташування базових звукоізолюваних панелей. Для гарного звучання потрібно враховувати матеріал поверхні та її розмір.

З погляду фізики, звук – це механічні коливання, які поширюються у пружному середовищі: повітрі, воді, твердому тілі тощо. Здатність людини сприймати пружні коливання, слухати їх позначились у назві вчення про звук – акустика (від грецького *akustikos* – слуховий, чутний). [1]

Коливання від 16 до 20000 Гц сприймаються вухом людини. Коли періодичні зміни тиску досягають барабанної перетинки, вона здійснює вимушені коливання. Ці коливання аналізує за амплітудою та частоті внутрішнє вухо, що має форму равлика, рецептори якого налаштовані на різні звукові частоти. Потім коливання передаються у мозок по слуховому нерву і сприймаються як чутні звуки. [2]

Акустичні сигнали поділяються на:

- інфразвук – менше 16 Гц;
- чутний звук – від 16 Гц до 20 кГц;
- ультразвук – понад 20 кГц;
- гіперзвук – від 10^9 Гц до 10^{12} Гц.

Поширення звуку супроводжується змінами тиску Δp , які накладаються на атмосферний тиск, що дорівнює приблизно 10 в 5 ступені Па. Величину Δp

називають звуковим тиском. Від амплітуди звукового тиску залежить суб'єктивна якість слухового відчуття. Тому, як звукова хвиля поширюється у просторі, вона відбивається від об'єктів, що зустрічаються на її шляху, створюючи зміни у навколишньому повітрі.

1.2 Характеристики якості акустичних систем

1) Ефективний робочий діапазон частот – це діапазон частот, у межах якого рівень звукового тиску не нижче певної заданої величини.

2) Нерівномірність амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) – це параметр, що вказує на те, наскільки рівномірно по амплітуді відбувається відтворення різних частот сигналу. Ідеальною АЧХ є пряма лінія, але на практиці АЧХ має багато піків та провалів, які пов'язані з неідеальністю електричних компонентів, таких як динаміки, фільтри в акустичній системі, наявність зворотного зв'язку тощо, та неідеальністю акустичних властивостей корпусу акустичних систем (вібрація, резонанси, взаємодія дифузorzів динаміків з повітряним середовищем та ін.). Ступінь нерівномірності АЧХ характеризується відношенням величини максимального звукового тиску до величини мінімального звукового тиску і виражається в дБ (децибелах).

Найкращі акустичні системи Hi-Fi в діапазоні 100-8000 Гц мають нерівномірність АЧХ близько 2 дБ, якщо нерівномірність досягає 10-15 дБ і більше, це говорить про те, що звучання такої акустичної системи навряд чи нагадуватиме реальний звук. На краях робочого діапазону нерівномірність АЧХ більша, ніж у середині. Малі значення нерівномірності АЧХ для діапазону 100-8000 Гц ще означає, що це хороша акустична система.

3) Параметр характеристики спрямованості дозволяє оцінити рівень звукового тиску залежно від кута повороту акустичної системи довкола своєї робочої осі. Вона представляється як діаграми спрямованості. Це дозволить вибрати напрямок акустичної системи для ефективнішого озвучування, тобто

найбільший звуковий тиск буде відчуватися в межах певного кута. Тому, наприклад, для збільшення рівня гучності сателіти (СЧ/ВЧ акустичні системи) іноді встановлюються на штативах.

4) Чутливістю називається рівень звукового тиску, що розвивається гучномовцем на відстані 1 метра від акустичної системи при подачі на неї електричного сигналу частотою 1000 Гц та потужністю 1 Вт. Вимірюється чутливість в дБ (1Вт/1м). Чим вище чутливість акустичної системи, тим більшу гучність можна отримати при однаковому рівні потужності, що підводиться. Від значення чутливості залежить динамічний діапазон акустичної системи, або іншими словами її здатність відтворювати звуки різної гучності.

5) Коефіцієнт нелінійних спотворень – це параметр, що визначає ступінь спотворення вихідного сигналу через появу в ньому додаткових спектральних складових. Впливати на це може довжина, матеріал і переріз проводів від підсилювача до акустичної системи, фільтри та динаміки в акустичній системі, наведення та ін. якість звуку залежить саме від акустичної системи, а не від підсилювача потужності, коефіцієнт нелінійних спотворень якого – десяті та соті частки відсотка.

6) Потужність акустичної системи – це параметр, що визначає рівень звукового тиску та динамічний діапазон. Тобто це електричний параметр, який визначає, яку провідну потужність може витримати дана акустична система. Невеликий динамічний діапазон зменшує різницю між різними рівнями гучності, які часто зустрічаються, наприклад, у симфонічній та важкій музиці, коли раптово мають бути виконані дуже гучні звуки, тому ефект відтворення цих звуків буде втрачено.

Потужність пов'язана з силою струму, тому збільшення провідної потужності до акустичної системи збільшує струм, що протікає у проводі котушці динаміка, що призводить до його нагрівання. Отже, якщо подача потужності на акустичну систему, тобто збільшення гучності на підсилювачі, підніметься вище за максимальний рівень, обмотка котушки динаміка через

певний проміжок часу перегріється і згорить (замкне). Щоб уникнути подібних ситуацій, акустичні системи оснащують схемою захисту від перевищення рівня сигналу та тепловідведеннями для потужних котушок низькочастотних динаміків. У практичній діяльності найчастіше використовують номінальну потужність (RMS), яка дозволить акустичній системі працювати довго без будь-яких наслідків.

7) Опір, або повний електричний опір акустичної системи, має стандартизовані значення - 4, 8 та 16 Ом. Цей параметр безпосередньо впливає на вибір підсилювача потужності. Потрібно дивитися, щоб опір акустичної системи дорівнював або більше (але не менше!) вихідного опору підсилювача потужності.

Підсилювач потужності – це сильнотоківий пристрій, який, на відміну від малопотужних, або слаботокових, пристроїв, що мають запас за основними параметрами – сила струму, потужність розсіювання та ін. – кратним (4-5 разів). Такий запас потужності неможливо забезпечити в підсилювачах потужності, адже чим більша потужність, тим дорожчі за ціною елементи, тобто вартість підсилювача буде дуже високою при закладеному запасі 4-5 разів. Тому запас підсилювача потужності за основними параметрами відносно невисокі, а його потужний вихідний каскад розрахований на роботу з певними струмами, потужністю розсіювання і, відповідно, певним навантаженням, наприклад, 8 Ом.

Якщо опір акустичної системи менше вихідного опору підсилювача, необхідно послідовно з'єднати кілька акустичних систем так, щоб загальний опір навантаження було одно або більше вихідного опору підсилювача потужності.

На практиці навантаження підсилювача – це така комплексна величина, яка залежить від частоти сигналу, його рівня, стану з'єднувальних кабелів та багато іншого, в результаті чого опір навантаження може зменшуватися нижче від номінального значення вихідного опору підсилювача потужності. Саме з цієї причини дуже важливо вжити всіх заходів, щоб захистити підсилювач від цього та інших моментів, оскільки це матиме прямий вплив на надійність його роботи.

Якщо опір акустичної системи буде більшим за вихідний опір підсилювача потужності, то останній не зможе розвинути необхідну потужність для отримання потрібного рівня гучності, але акустичні системи працюватимуть у комфортному режимі. [3]

1.3 Основні характеристики гучномовців

Основними характеристиками гучномовців є:

1) Звуковий тиск – додатковий тиск, який виникає під впливом звукової хвилі при русі останньої в газоподібному середовищі, що обумовлено створенням додаткових по відношенню до середнього значення тиску в цьому середовищі змін тиску за рахунок згущувань і розріджень, що формуються при поширенні звукової хвилі. Або можна сказати так, звуковий тиск – це коливання тиску усередині цього середовища відносно середнього значення, або змінна частина тиску. Частота таких коливань відповідає частоті поширюваної в середовищі звукової хвилі.

Звуковий тиск є основною кількісною характеристикою звуку (сучасна одиниця виміру цього параметра в системі одиниць СІ – Н/м^2). В деяких випадках зручнішим є представлення відношення величини звукового тиску до порогового значення – така характеристика звуку називається рівнем звукового тиску і виражається в децибелах. Межі зміни звукового тиску визначаються середовищем поширення звукової хвилі. Так, в повітрі звуковий тиск може змінюватися в діапазоні $10^{-5} \text{ Н/м}^2 - 10^3 \text{ Н/м}^2$; [4]

2) Нерівномірність АЧХ. Умова відсутності лінійних спотворень в частотній області означає постійність модуля передатної функції (тобто рівня АЧХ) на усіх частотах і лінійну пропорціональність частоті її аргументу, тобто ФЧХ. При цьому зберігається форма такою, що огинає спектр вхідного сигналу, що має важливе значення для збереження тембру музичного і мовного сигналу, відтворного через гучномовців. Слід зазначити, що для неспотвореної передачі

тимчасової форми сигналу ці умови повинні виконуватися в повному частотному діапазоні.

Проте оскільки усі перетворювачі мають обмежений відтворний діапазон частот, то у будь-яких акустичних системах мають місце лінійні спотворення, навіть якщо усередині діапазону відхилення АЧХ і ФЧХ від цих вимог мінімальні. При розробці будь-яких акустичних перетворювачів стоїть завдання максимального наближення до цих вимог, тобто забезпечення постійності рівня АЧХ і лінійності ФЧХ.

Оцінка лінійних спотворень гучномовців по рівню їх амплітудно-частотних спотворень (тобто міри відхилень АЧХ від постійного значення) упродовж усього багаторічного періоду виробництва є основним методом оцінки їх якості. Значною мірою це пов'язано з тим, що амплітудно-частотні спотворення суб'єктивно сприймаються як спотворення тембру, до яких слух дуже чутливий.

3) Акустична потужність. RMS (Root Mean Squared) – середньоквадратичне значення потужності, обмеженої заданими нелінійними спотвореннями. Потужність заміряється синусоїдальним сигналом на частоті 1 кГц. Вона обчислюється, як набір середньоквадратичних значень напруги і струму при еквівалентній кількості теплоти, що створюється постійним струмом. Тобто, ця потужність чисельно дорівнює квадратному кореню з добутку квадратів усереднених величин напруги і струму. Для синусоїдального сигналу середньоквадратичне значення менше за амплітудне.

1.4 Діаграми спрямованості

Діаграма спрямованості – це залежність амплітуди акустичного поля в дальній зоні від кута між акустичною віссю та напрямом конкретного променя.

Акустична вісь – пряма, проведена через акустичний центр у напрямку максимуму діаграми спрямованості.

За одиницю масштабу приймається амплітуда тиску акустичної осі.

$$|I| = (S_A/r\lambda)\Phi, \quad (1.1)$$

$$\Phi = (2J_1/aksin\theta), \quad (1.2)$$

$$sin\theta = \left(\frac{\lambda}{a}\right)n, \quad (1.3)$$

де S_A – площа перетворювача;

X – довжина хвилі;

r – відстань;

Φ – функція, що характеризує спрямованість поля випромінювання;

J – функція Бесселя першого порядку;

k – хвильове число;

θ – кут розбіжності;

n – коефіцієнт, для круглого перетворювача $n = 0,61$.

Кордоном поля умовно вважається геометричне місце точок, де амплітуда падає у 10 раз в порівнянні з її значенням на осі, тобто на 20 дБ. Модуль функції Бесселя першого порядку, що визначає вид функції спрямованості поля випромінювання, має вигляд наведений на рис. 1.1. Для круглого перетворювача 85% випромінювання знаходиться в межах основної пелюстки діаграми спрямованості. Характерний вид діаграми спрямованості наведено на рис. 1.2. Зазвичай ця характеристика наводиться у паспорті перетворювача.

Для всіх типів сучасної високоякісної акустичної апаратури (акустичних систем категорії HI-FI, студійних контрольних агрегатів, концертно-театральної апаратури) надзвичайно інформативними параметрами, що значною мірою визначають якість звучання їх у реальних приміщеннях прослуховування, є

характеристика спрямованості та АЧХ акустичної потужності, на ці параметри введено більшість міжнародних та національних стандартів.

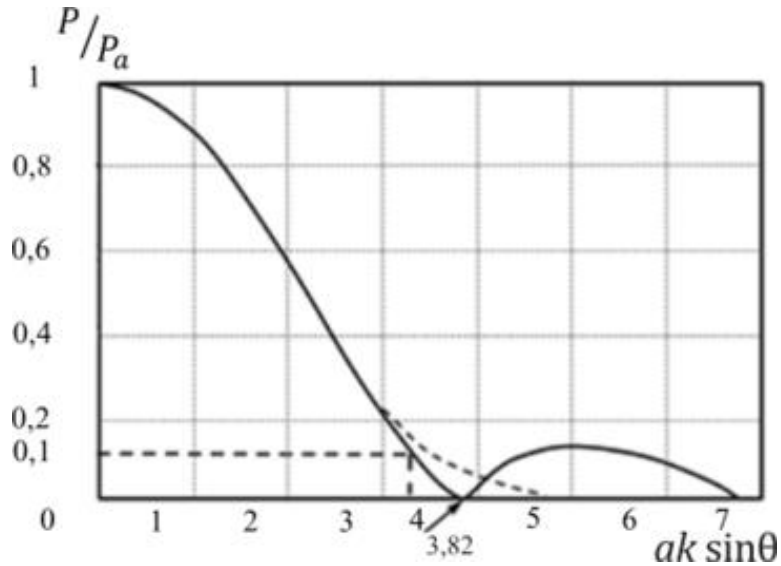


Рисунок 1.1 – Модуль функції Бесселя першого порядку, вид функції спрямованості поля випромінювання

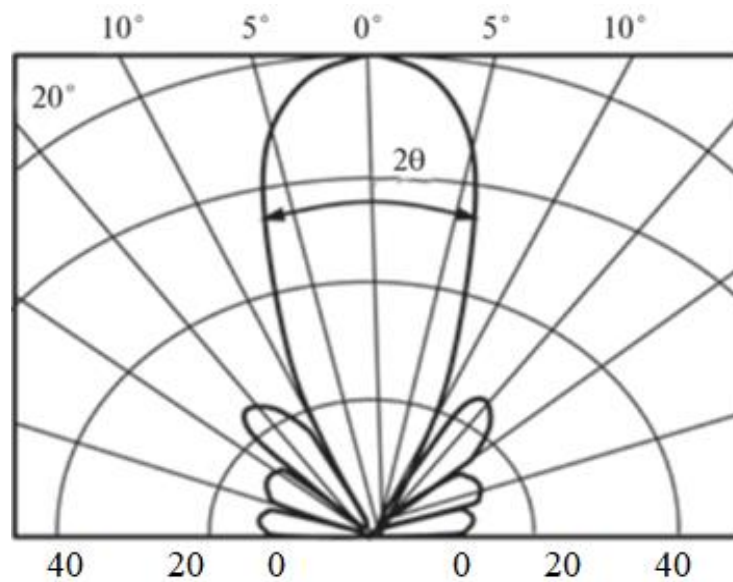


Рисунок 1.2 – Діаграма спрямованості круглого перетворювача

Характеристика спрямованості визначається залежністю рівня звукового тиску від напрямку випромінювання звуку на заданій частоті (або у смузі частот).

[5] Характеристика спрямованості вимірюється так само, як і АЧХ в заглушеній камері, тільки при цьому динамік, що вимірюється, або обертається на поворотному пристрої, або мікрофон зміщується на задані кути від робочої осі.

У першому випадку отримуються полярні діаграми спрямованості на ряді фіксованих частот, у другому – сімейство АЧХ, записане під різними кутами. Зразок запису діаграм спрямованості та АЧХ під кутами $\pm 15^\circ$ для високочастотного гучномовця дано на рис. 1.3.

Норми для апаратури HI-FI за цим параметром складають у діапазоні 100...8000 Гц - ± 4 дБ при зміщенні мікрофона на $\pm 5^\circ$ у вертикальній та на $\pm 25^\circ$ у горизонтальній площинах; для студійної апаратури - ± 2 дБ при зміщенні мікрофона на $\pm 15^\circ$ у вертикальній ($+2/-4$) дБ, при кутах $\pm 30^\circ$ у горизонтальній площині.

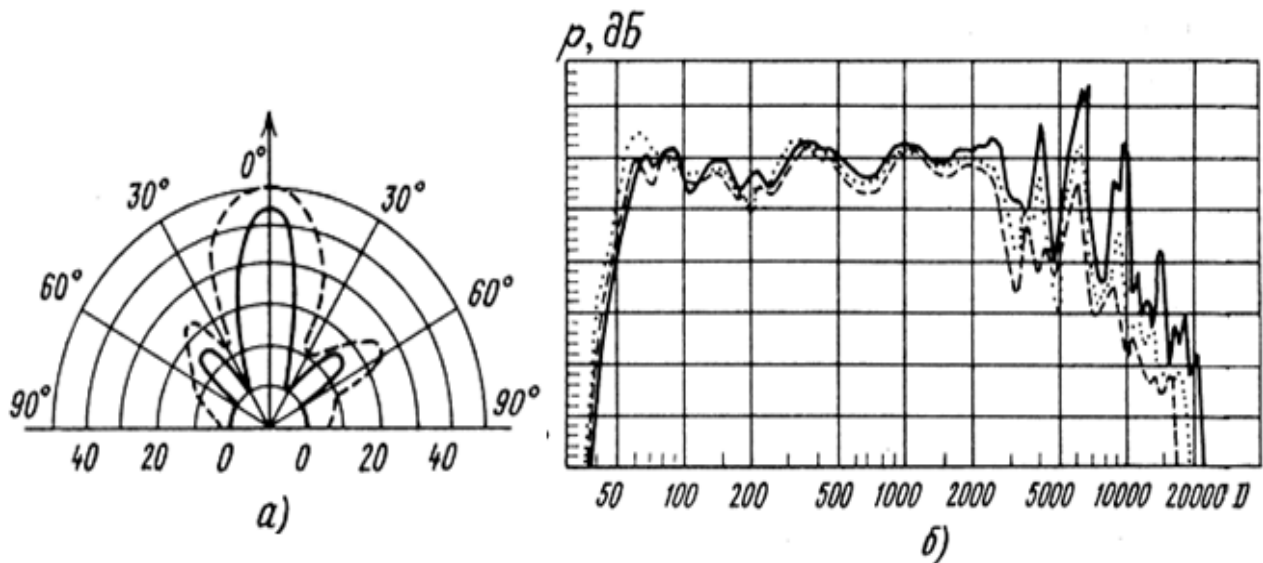


Рисунок 1.3 – Характеристика спрямованості АЧХ, виміряна під різними кутами (а), полярна діаграма (б)

Відповідно до ГОСТ 16122-88 акустична потужність випромінюваного гучномовця в навколишній простір сигналу розраховується за вимірним звуковим тиском:

$$P_a(f) = 4\pi l^2 / p_0 \cdot 1/n \sum_{i=1}^n p_i^2(f), \quad (1.4)$$

де $p_i(f)$ – звуковий тиск на заданій частоті, що розвивається гучномовцем у i -й точці;

n – число точок розташування мікрофона щодо гучномовця, при цьому точки повинні бути обрані рівномірно розподіленими по сфері з центром, що збігається з робочим центром ГМ;

P – щільність повітря;

c – швидкість звуку;

l – відстань від гучномовця до мікрофона.

Акустична потужність може вимірюватися і в умовах однорідного поля (ревербераційної камери). Форма частотної характеристики акустичної потужності нормується для різних видів акустичної апаратури.

1.5 Огляд сучасних акустичних систем з розширеними діаграмами спрямованості

Рішення задач досягнення високої вірності звуковідтворення може бути досягнуто різними засобами. Так, розробники акустичної системи (Японія) Technics SB-8000, що зображені на рис. 1.4, має будову, що дозволяє досягти фазолінійності.

Корпус складається з трьох блоків, у нижньому встановлений НЧ динамік і мідбасовий динамік (встановлений в окремий закритий корпус), на ньому стоїть один на одному два алюмінієві блоки з СЧ та ВЧ динаміком. Праворуч від мідбасу встановлені регулятори рівня. Корпус виготовлений із ДСП, бічні панелі вкриті натуральним деревом.

Особливістю цієї акустичної системи є те, що динаміки середньочастотного діапазону, розташовані у фронтальній площині та мають окремий корпус асиметричної форми з спеціальним демпфуванням тильної сторони дифузора.



Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд акустичної системи Technics SB-8000

Технічні характеристики Technics SB-8000: [6]

- 4-х смугова фазолінійна АС з резонатором;
- діапазон частот: 30 – 125 000 Гц;
- опір: 8 Ом;
- чутливість: 93 дБ/Вт/м;
- потужність (DIN RMS): 100 Вт;
- музична потужність: 200 Вт;
- НЧ динамік: 360 мм конусний;
- мідбас: 160 мм, конусний;
- СЧ динамік: 80 мм, конусний;
- ВЧ динамік: стрічковий;
- розділ частот: 300 Гц, 1100 Гц та 4000 Гц.

Зона стереоефекту розширюється у вигляді параїдальної діаграми спрямованості, яка розсіюється по всій кімнаті. Але треба мати підвищену

потужність для цієї мети. Тому що звук йде не безпосередньо на слухача, а вертикально вгору, потім відбиває, втрачає енергію і розходить перпендикулярно - втрачається енергія, тому потужності треба набагато більше.

Розглянемо ще одну акустичну систему з акустичною лінзою (дифракційна решітка). Вона має два басових динаміки знизу та потужний середньочастотний - посередині, це не дозволяє розширити діаграму спрямованості, але для високих частот є попереду твітера акустична лінза у вигляді нахиленої дифракційної решітки. Вона вирішує завдання розширення діаграми спрямованості високочастотного спектру частот. На рис. 1.5 зображена акустична система JBL 4350 з акустичною лінзою. [7]



Рисунок 1.5 – Акустична система з дифракційною решіткою JBL 4350

Є ще один засіб розширення діаграми спрямованості. Розглянемо рупорну систему JBL Studio Monitor 4429. Це трисмугова рупорна акустична система (рис. 1.6) потужністю 200 Вт з компресійними дифузорами. JBL Studio Monitor

4429 спроектований таким чином, що дозволяє отримати потужний звук із гарним, щільним басом без підключення сабвуфера. Ця модель заснована на попередній JBL 4425, в конструкції якої інженерами JBL вперше було використано компресійний дифузор з бірадіальним рупором (Bi-Radial) та великим 300-мм НЧ-динаміком.

Крім цього було привнесено ряд технологічних удосконалень, завдяки яким досягається студійне звучання високої якості за досить компактних розмірів.



Рисунок 1.6 – Рупорна акустична система JBL Studio Monitor 4429

Добитися більш детального, природного та чистого звуку в порівнянні з попередніми моделями допомогли такі нововведення, як покращений ВЧ-дифузор, УВЧ-випромінювач, покращена конструкція внутрішніх перегородок і новий кросовер.

У верхній частині корпусу монітора на всій ширині розташований потужний розтруб великого бірадіального рупора, виконаного з полімеру SonoGlass. Інший компресійний 19-мм УВЧ-динамік 138Nd ховається в мініатюрному бірадіальному рупорі. Мембрана супертвітера виготовлена з титану, що дозволяє досягти вершини АЧХ із вражаючим показником у 45 кГц – це вже недоступно для людського слуху, але буде корисно при відтворенні вінілових платівок або інших форматів HD-аудіо. Налаштувати ВЧ- та УВЧ-динаміки відповідно до особливостей приміщення можна за допомогою перемикачів, які знаходяться в нижній частині передньої панелі.

Характеристики JBL Studio Monitor 4429: [8]

- тип Підлоговий рупорний студійний монітор фазоінверторного типу, потужністю 200 Вт;
- діапазон відтворюваних частот 40 Гц – 45 кГц (-6 дБ) ;
- максимальна рекомендована потужність 100 - 300 Вт;
- чутливість (2.83 В/1 метр) 91 дБ;
- номінальний повний опір 6 Ом;
- частота розділу кросовера 800 Гц; 7 кГц;
- ВЧ динамік 19-мм, діафрагма з чистого титану, компресійне кільце, неодимовий кільцевий магніт, каптонова котушка намотана алюмінієвим обмедненим проводом; 138Nd;
- СЧ динамік 50-мм титановий компресійний драйвер з покриттям Aquarlas, потужною системою неодимових магнітів, Каптонова котушка намотана алюмінієвим дротом; 175Nd-3;
- НЧ динамік 300-мм паперовий Aquarlas НЧ армований дифузор кевларом з гумовим підвісом; 1200FE-8.

Розглянемо ще одну цікаву акустичну систему з розсіювачем – Mirage Omnisat Micro 6 [9] (рис. 1.7) – п'ять сателітів з круговою діаграмою спрямованості і активний сабвуфер. Набір складається з п'яти однакових сателітів (рис. 1.8) і одного активного сабвуфера.

Як нерідко буває в подібних випадках, виробник в комплекті з сателітами пропонує активний сабвуфер, який є повноцінним представником модельного ряду сабвуферів: такі апарати, як правило, продаються і окремо.

Таким чином виробник знімає з себе проблему розробки і виробництва спеціальної моделі сабвуфера, і при цьому навіть виграє: в комплекті з сателітами пропонується цілком серйозний апарат, і при цьому можна істотно заощадити на вартості всього комплекту, адже на розробку нового сабвуфера не витрачається грошей.



Рисунок 1.7 – Акустична система з розсіювачем Mirage Omnisat Micro 6

Комплект досить гнучкий в плані розстановки сателітів і сабвуфера. Розробники передбачили три варіанти розміщення сателітів (установка на горизонтальну поверхню, настінне і стельове) і два варіанти установки сабвуфера: горизонтальний і вертикальний. За задумом розробників такий комплект зможе рівномірно заповнити кімнату звуком, не привертаючи підвищеної уваги, особливо при стельовому розміщенні сателітів.

Конструкція сателіта (рис. 1.8) виконана з досить товстого пластика, у верхній частині якого кріпиться пластикова ж панель з двома динаміками. Акустичне оформлення це закритий корпус. Металевий гриль (захистна сітка) має форму купола і кріпиться до корпусу сателіта через гумові ущільнювачі. При установці гриля потрібно докласти певних зусиль, щоб щільно «посадити» його в посадочні гнізда. В іншому випадку триматися гриль буде дуже погано.



Рисунок 1.8 – Конструкція сателіта фірми Omnisat micro

Основною родзинкою в конструкції сателіта безумовно є концепція Omnipolar. Суть полягає в тому, щоб забезпечити максимально широку діаграму спрямованості за рахунок розсіювання звукових хвиль за допомогою «акустичного дзеркала», встановленого безпосередньо над дифузorzом динаміка. Самі динаміки «дивляться» вгору. Такими «дзеркалами» забезпечені обидва динаміка сателіта – і НЧ і ВЧ. Стійка, на якій кріпиться відбивач НЧ та ВЧ-динаміка, є за сумісністю і корпусом для ВЧ-динаміка, виготовлена з металу, щоб уникнути додаткових вібрацій і резонансів.

Низькочастотний і високочастотний динаміки мають дифузorz з поліпропілену з титановим напленням, виконаний з гуми середньої жорсткості. Амплітуда коливань дифузorzа динаміка щодо невелика. Магнітна система

динаміка має екранівку, що виключає наведення на кінескопні (CRT) телевізори. ВЧ динамік має дифузор з титанового композиту. Клеми дозволяють підключати як оголений кабель, так і роз'єми типу «банан» (в цьому випадку необхідно демонтувати заглушки). Кріплення до стіни або стелі реалізується за допомогою пластикової пластини, що прикріплюється до стіни, а сам сателіт пристібається до пластини.

Завдання озвучування приміщення полягає в тому, щоб наповнити його рівномірним звуковим полем у всіх його точках без максимумів і провалів. Для вирішення цього завдання розглянемо акустичну систему кругової спрямованості Duevel Sirius (див. рис. 1.9). [10]

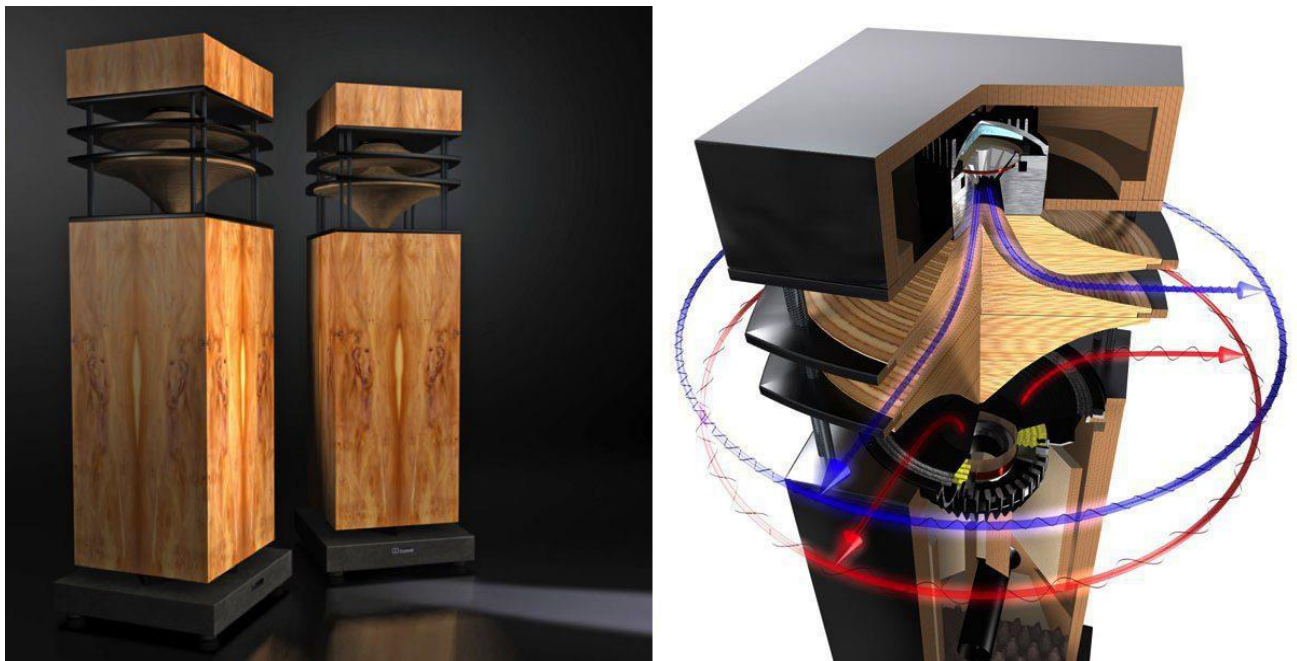


Рисунок 1.9 – Акустична система кругової спрямованості Duevel Sirius

Будова такої системи досить проста, вона має два динаміка, зазвичай високочастотний та низькочастотний, які направлені на конусний дефлектор. Він забезпечує рівномірне розповсюдження звуку навкруг колонки. Тому відмітна особливість даної системи в тому, що вона випромінює звуки на 360° навколо себе. Відбиваючись потім з усіх боків, вона створює об'ємну звукову середу.

З плюсів таких акустичних систем можна відмітити високу чутливість і, відповідно, ККД, пристойне музичне звучання, спрямовані властивості. З мінусів: конструктивна і технологічна складність.

Спеціальні конструкції для досягнення фазалінійних характеристик вслід за компанією Technics намагалися використати практично усі виробники акустики. Але тільки англійська фірма B&W розробила цікаву акустичну систему DM6 [11], яка показана на рис. 1.10.



Рисунок 1.10 – Акустична система DM6 фірми B&W з розширеною діаграмою спрямованості

Акустична система DM6 цікава тим, що в ній відділено низькочастотну секцію (фактично сабвуфер) від середньочастотної та верхньочастотної ланки. Вони, як окремі сателіти, розміщені зверху низькочастотної секції.

Для розширення діаграми спрямованості розробники вирішили застосувати декілька динаміків, розташованих під різними кутами (твіттер у фронтальній площині, але з сферичною діаграмою спрямованості, а для

середньочастотної ланки – по бокам, та й ще й під різними кутами). Кути становлять близько 30° .

Розглянуті сучасні акустичні системи усі відносяться до систем високої вірності звуковідтворення. Дорогі ексклюзивні системи, де добре попрацювали й конструктори, й технологи з новими технічними рішеннями та матеріалами.

Для розробників акустичних систем актуально обрати найкращий засіб розширення діаграм спрямованості, при цьому дослідити чого можна досягнути у реальних акустичних системах при використанні динаміків помірної вартості.

Роблячи висновки з розгляду сучасних акустичних систем можна побачити, що версія акустичної системи DM6 англійської фірми B&W з розширеною діаграмою спрямованості (див. рис. 1.10) найбільше гнучка, зручна і найменше затратна. Дані сателіти можна розташовувати в тому місці, де зручно, де дозволяє приміщення. Отже, так можна самостійно сформувати діаграму спрямованості, знаходячись в тому місці, де зручно слухати музику або дивитися фільм.

2 РОЗРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АКУСТИЧНИХ СИСТЕМ З ДЕКІЛЬКОМА ВИПРОМІНЮВАЧАМИ

2.1 Постановка задач дослідження

Було прийняте рішення зробити схожу конструкцію, як зробили в англійській фірмі Bowers & Wilkins акустичну систему DM6 з розширеною діаграмою спрямованості.

Але для цього немає динаміків, немає характеристик динаміків, необхідно робити дослідження, зробити сумарну діаграму спрямованості, щоб зрозуміти, чи виходить кругла діаграма спрямованості.

Високочастотні та середньочастотні динаміки мають свої діаграми спрямованості, які треба коригувати та розміщувати так, щоб до користувача доходили всі звуки ізлюбих зон приміщення, де використовується акустична система.

При експериментальному дослідженні, динаміки повинні розташовуватися під різним кутом – високочастотний динамік, середньочастотний динамік, високочастотний динамік.

Також необхідна басова секція, але вона дає широку діаграму спрямованості, тобто де її розташовувати немає значення – досліджувати сабвуфер немає потреби.

Виходячи з цього, необхідно зробити ряд експериментальних досліджень, а саме:

- дослідити характеристики високочастотних динаміків;
- дослідити характеристики середньочастотних динаміків;
- дослідити просторові діаграми спрямованості різних динаміків та обрати кращі;
- побудувати сумарну діаграму спрямованості для акустичної системи з декількома випромінювачами.

Акустична система складається з трьох полос – низькочастотні секції, середньочастотні секції та високочастотні секції.

Часто середньочастотні та високочастотні об'єднуються в одну секцію у вигляді сателіту. Краще всього використовувати динаміки високочастотні та середньочастотні.

2.2 Параметри високочастотних динаміків

Для досліджень було обрано високочастотні гучномовці з кращими технічними характеристиками, серед яких – твітери з куполообразним дифузором, електродинамічного та твітер з конусообразним дифузором.

Гучномовець 2 ГД-36 (ГДВ-1-8) зображений на рис. 2.1. [12] Особливості конструкції полягають у тому що головка гучномовця електродинамічного типу, широкопasmова, овальна, з екранованим магнітним ланцюгом. Технічні характеристики указані у табл. 2.1.



Рисунок 2.1 – Гучномовець 2 ГД-36 (ГДВ-1-8)

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики 2 ГД-36 (ГДВ-1-8)

Діапазон частот	3150-20000 Гц
Нерівномірність АЧХ	14 дБ
Чутливість	90 дБ
Робоча потужність	2 Вт
Коефіцієнт гармонічних спотворень в діапазоні частот 400-10000 Гц	3%
Опір	8 Ом
Паспортна потужність	3 Вт
Довговимірна потужність	3 Вт
Коротковимірна потужність	6 Вт
Частота основного резонансу	1200-2000 Гц

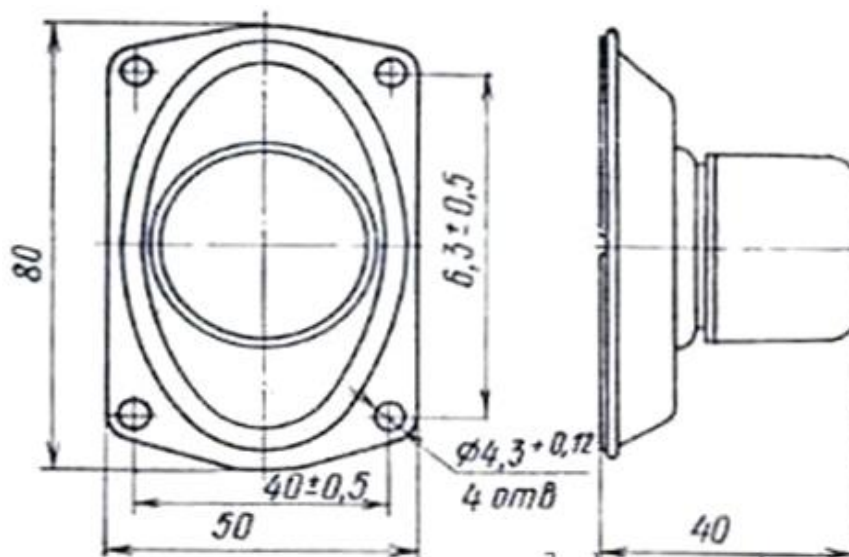


Рисунок 2.2 – Конструкція гучномовця 2 ГД-36

Магнітне коло гучномовця 2 ГД-36 має:

- керновий магніт марки ЮН14ДК24;
- kern діаметром 15 мм;
- верхній фланець з отвором діаметром 16,2 мм.

Висота повітряного зазору 2 мм, його радіальна ширина 0,6 мм, індукція у зазорі 0,9 Тл. Рухлива система включає:

- звукову котушку, намотану проводом марки ПЕВЛ діаметром 0,08 мм, намотування двошарове, загальна кількість витків 43, висота намотування 2,3 мм, омичний опір 7 ± 1 Ом. Каркас звукової котушки виготовлений із паперу арки К080 ГОСТ 23436-83 товщиною 0,08 мм. Висота звукової котушки 8,5 мм, внутрішній діаметр 15,4 мм, зовнішній (разом із намотуванням) 15,9 мм;
- дифузор конусний овальної форми з синусоїдальним підвісом, відлитий з паперової маси;
- центруючу шайбу, і ковпачок, виготовлені з тканини з просоченням.

Гучномовець 3ГД-2 (6 ГДВ-1-16). [13] Технічні характеристики гучномовця 3ГД-2 вказані у табл. 2.2.



Рисунок 2.3 – Гучномовець 3ГД-2

Гучномовець призначений для застосування у виносних акустичних системах вищої та першої групи складності як високочастотна ланка для роботи в приміщеннях. Випускається у двох модифікаціях з номінальним опором 15 та 25 Ом.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики ЗГД-2

Діапазон частот	5000-18000 Гц
Нерівномірність АЧХ	Більше 8 дБ
Чутливість	90 дБ
Коефіцієнт гармонічних спотворень в діапазоні частот 400-10000 Гц	3%
Опір	15 Ом або 25 Ом
Паспортна потужність	6 Вт
Довготривала потужність	6 Вт
Короткочасна потужність	6 Вт

Особливість конструкції заключається в тому, що головка електродинамічного типу, високочастотна, кругла з неекранованим магнітним ланцюгом. Наставний фланець та акустична лінза виконані з пластмаси.

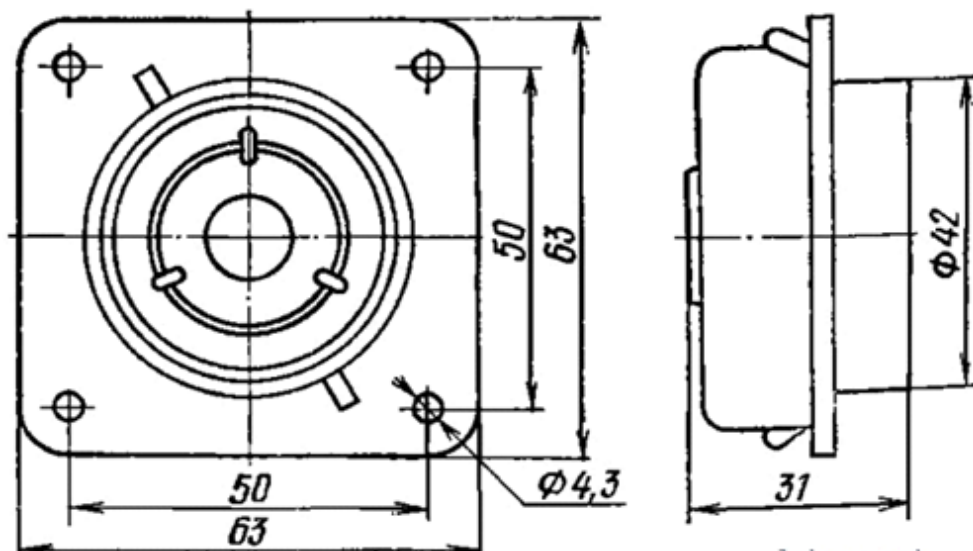


Рисунок 2.4 – Конструкція гучномовця 3 ГД-2

Магнітне коло гучномовця 3 ГД-2 складається з:

- кільцевого феритового магніту марки М16БА190 розміром К52х23х8 мм;
- керна діаметром 20 мм;

- верхнього фланця з отвором діаметром 21,2 мм;
- висота повітряного зазору 2,5 мм, його радіальна ширина 0,6 мм, індукція у зазорі 1 Тл.

Рухлива система включає:

- звукову котушку, намотану проводом марки ПЕВЛ діаметром 0,07 мм, намотування двошарове, у першому шарі 21 виток, у другому – 20, висота намотування 2 мм, омичний опір 12 ± 1 Ом;
- каркас котушки виготовлений із паперу марки ЕН-70. Висота ЗК 8 мм, внутрішній діаметр 20,3 мм, зовнішній (разом із намотуванням) 20,9 мм;
- куполоподібну діафрагму з підвісом, виготовленими з тканини з просоченням розчином бакелітового лаку.

2.3 Параметри середньочастотних динаміків

Динамік 15 ГД-11Б, що надано на рис. 2.5, має наступне призначення: для застосування в закритих і фазоінверсних акустичних системах першої і другої груп складності в якості середньочастотної ланки для роботи в приміщеннях. [14]



Рисунок 2.5 – Динамік 15ГД-11 Б



Рисунок 2.6 – Гучномовець 15ГД-11 Б з фазо корегувальною кулею

Технічні характеристики 15ГД-11 Б вказано в табл. 2.3. Динамік 15ГД-11 Б в рупорній системі і з фазо корегувальною кулею показано на рис. 2.6.

Голівка гучномовця електродинамічного типу, середньочастотна, кругла, з неекранованим магнітним ланцюгом. Кошик виготовлений з алюмінієвого сплаву литвом під тиском. Магнітна система побудована на кільцевому феритовому магніті. Дифузор конічної форми і ковпачок сферичної форми виготовлені з паперової маси. Підвіс тороїдальної форми з прогумованої тканини або гуми. Центруюча шайба з тканини з просоченням.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики 15ГД-11 Б

Діапазон частот	200 – 5000 Гц
Чутливість	90 дБ
Номінальний звуковий тиск	0,3 Па
Номінальний опір	8 Ом
Паспортна потужність	10 Вт
Довготривала потужність	25 Вт
Короткочасна потужність	30 Вт
Резонанс	110 Гц (± 50 Гц)
Розмір	Ø125x77 мм

Динамік 25ГДШ-1а-4 показано на рис. 2.7. Дифузор, рупор і пілозахисний ковпачок паперові. [15] Підвіс з пенополіуретану. Магнітна система побудована на кільцевому феритовому магніті. Технічні характеристики 25ГДШ-1а-4 надано в табл. 2.4.



Рисунок 2.7 – Гучномовець 25ГДШ-1а-4

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики 25ГДШ-1а-4

Діапазон частот	60-20000 Гц
Чутливість	88 дБ
Опір	4 Ом
Номінальна потужність	25 Вт
Короткочасна потужність	75 Вт
Габаритні розміри	Ø130x77 мм

Динамік 4ГД-6. Дифузор виконаний з паперу. Кошик зроблений штампуванням з металу. Пілозахисний ковпачок сітчастий, з просоченої тканини. Каркас звукової котушки зроблений з паперу. Діаметр керна 20 мм. Магніт покритий пластмасовим кожухом. [16] В табл. 2.5 представленні технічні характеристики гучномовця 4ГД-6. Зовнішній вигляд динаміка 4ГД-6 показано на рис. 2.7.

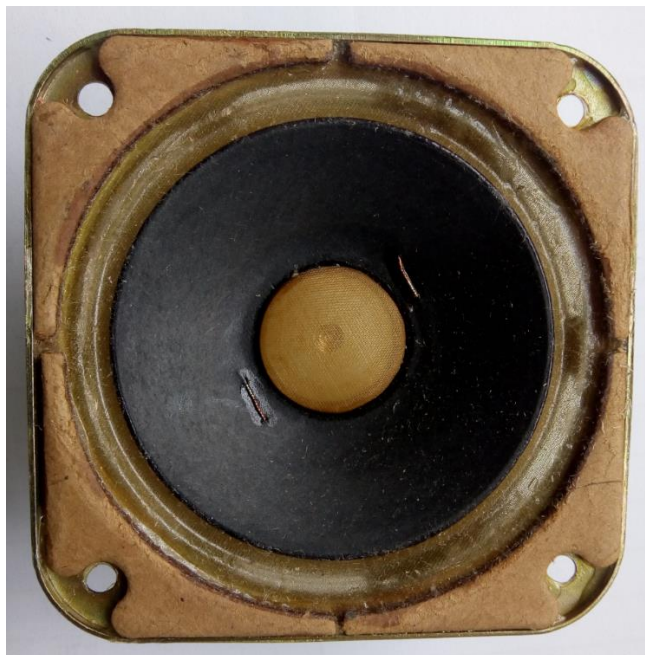


Рисунок 2.7 – Гучномовець 4ГД-6

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики 4ГД-6

Діапазон частот	200 – 5000 Гц
Чутливість	90 дБ
Номінальний звуковий тиск	0,2 Па
Номінальний опір	8 Ом
Паспортна потужність	4 Вт
Довготривала потужність	8 Вт
Резонанс	160 Гц
Розмір	80x80x36 мм

2.4 Розробка експериментального стенду

Для експериментальних досліджень, що уточнюють параметри реальних високочастотних гучномовців був зібраний вимірювальний стенд (рис 2.8) [17] до його складу входять:

- генератор звукових частот ГЗ-111;

- підсилювач сигналу звукових частот ГЗ-112(1);
- осцилограф С1-77;
- електронний вольтметр VC9805;
- вимірювач звукового тиску ВШВ-003-М2 з мікрофоном ВПМ101.

Плакат зовнішнього вигляду вимірювального стенду акустичних досліджень надано в додатку А.

Генератор сигналів низькочастотний ГЗ-111. Технічні характеристики якого представлені у табл. 2.6. Генератор РС-типу з плавною установкою частоти в межах кожного з п'яти піддіапазонів призначений для налаштування та випробування різної радіоапаратури.

Генератор є джерелом синусоїдального, додаткового режиму і прямокутного сигналу. Частоту генератора можна синхронізувати зовнішнім сигналом довільної форми.

У генераторі ГЗ-111 реалізована система стабілізації вихідної напруги, що забезпечує рівномірну ЛЧХ генератора та сталість рівня при впливі факторів, що дестабілізують. Регулювання напруги генератора ГЗ-111 плавне та дискретне в широких межах.

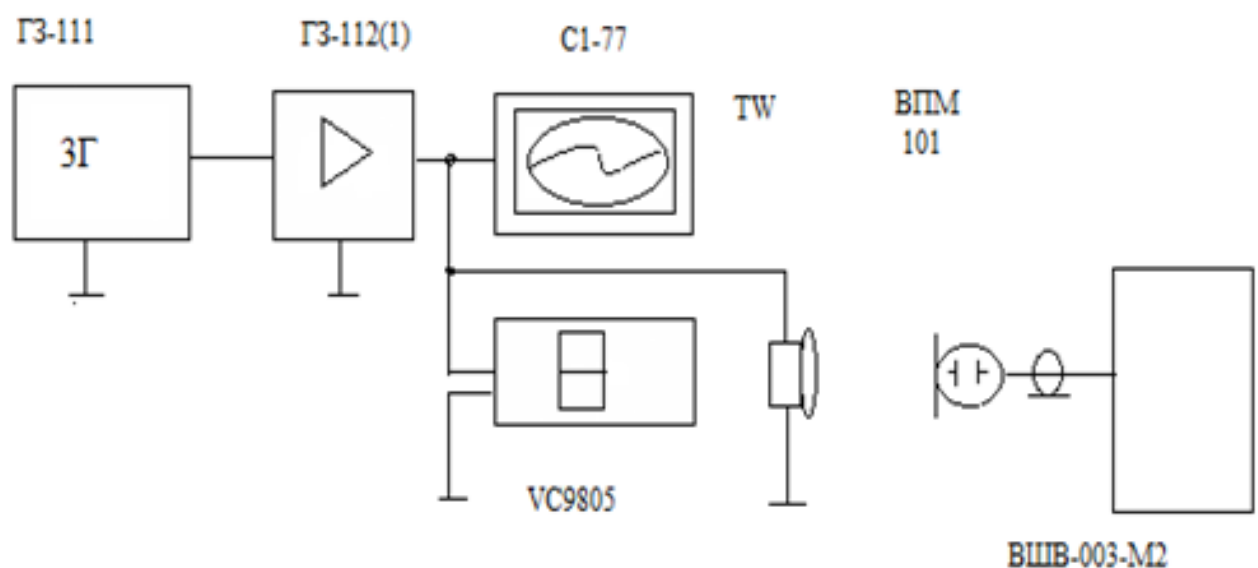


Рисунок 2.8 – Структурна схема вимірювального стенду

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики генератора сигналів низькочастотного ГЗ-111

Діапазон частот	20 Гц-2МГц (5 піддіапазонів)
Основна похибка встановлення частоти	$\pm[1+(50/f)] \%$
Вихідна напруга	5 (600 Ом)
Ослаблення вихідної напруги	0-60 дБ із дискретністю, через 20 дБ (з атенюатором), 22 дБ (плавно регульоване)
Зміна вихідної напруги при перебудові частоти (щодо рівня напруги на частоті 1 кГц)	$\pm 1,5\%$ (20 Гц -100 кГц) $\pm 5\%$ (понад 100 кГц)
Потужність	20 В

Генератор ГЗ-112/1. Технічні характеристики генератора ГЗ-112/1 та підсилювача показані у табл. 2.7. Генератор сигналів низькочастотний ГЗ-112/1 являє собою джерело синусоїдального та прямокутного сигналів і призначений для дослідження, налаштування та випробувань систем та приладів, що використовуються в радіоелектроніці, зв'язку, автоматиці, обчислювальній та вимірювальній техніці. У генераторі передбачено режим зовнішньої синхронізації синусоїдальним сигналом. Генерація прямокутного сигналу.

Таблиця 2.7 – Характеристики генератора ГЗ-112/1 та підсилювача

Діапазон частот	10 Гц ... 10 мГц 1 піддіапазон (10-100Гц) 2 піддіапазон (100-1000Гц) 3 піддіапазон (1-10кГц) 4 піддіапазон (10-100кГц) 5 піддіапазон (100кГц-1МГц) 6 піддіапазон (1-10МГц)
Номінальний вихідний опір	50 Ом

Продовження таблиці 2.7

Підсилювач Коефіцієнт гармонік	3% (10 Гц-1 мГц) 5% (1-10 мГц) Uвих 25 В (10 Гц-1 мГц); 20 В (1-10 мГц)
Розмах	не менше 10В на навантаженні 50Ом та 20В без навантаження
Шпаруватість	2+0.05 10Гц-100кГц 2+0.2 100кГц-1МГц
Живлення від мережі змінного струму	220В 50Гц 115/220В 400Гц
Потужність	генератором від мережі, не більше 60ВА підсилювачем від мережі, не більше 35ВА

Осцилограф універсальний С1-77 призначений для дослідження форми електричних сигналів у діапазоні частот 0 - 10 мГц, вимірювання розмахів у діапазоні від 0,01 до 200 В та часових інтервалів від $0,1 \cdot 10^{-6}$ до 0,4 с. Технічні характеристики осцилографа С1-77 наведені у табл. 2.8. Наявність двох каналів вертикального відхилення забезпечує одночасне дослідження двох сигналів однією розгортці. Режим роботи розгортки: автоколивальний, зовнішній сигнал.

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики осцилографа С1-77

Вертикальне відхилення	2 канали
Смуга пропускання	0 – 10 мГц
Час наростання перехідної характеристики	35 нс (40 нс - з виносним дільником)
Коефіцієнт відхилення	5 мВ / поділ - 10 В / поділ (ступінчасто відповідно до ряду чисел 1, 2, 5)
Плавне регулювання коефіцієнта відхилення	2,5 рази
Допустиме сумарне значення постійної та змінної напруги при закритому вході	300 В (200 - з виносним дільником)
Вхідний імпеданс	1 МОм / 30 пФ 1 МОм / 12 пФ (з дільником 1:10)

Продовження таблиці 2.8

Горизонтальне відхилення Коефіцієнт розгортки	0,1 мкс/діл - 0,05 с/справ (ступінчасто відповідно до ряду чисел 1, 2, 5)
Плавне регулювання коефіцієнта розгортки з перекриттям	2,5
Основна похибка	±4%

Мультиметр моделі VC9805A – універсальний вимірювальний прилад із розширеним функціоналом. Крім основних параметрів здатний вимірювати температуру, індуктивність, ємність та частоту. Присутнє підсвічування дисплея, автоматичне вимкнення. Пристрій має розширені можливості. Він здатний працювати з такими величинами:

- постійна напруга: до 1000 В;
- змінна напруга: до 700 В;
- постійний та змінний струм: до 20 А;
- опір: до 20 МОм;
- ємність: до 200 мкФ;
- температура: до 1000 ° С;
- індуктивність: до 20 Гн;
- частота: до 200 кГц.

Мікрофон ВПМ-101, мікрофонний підсилювач призначений для використання з капсулем мікрофонним конденсаторним М-101 у складі шумоміра ВШВ-003. Зовнішній вигляд вимірювального мікрофону ВПМ-101 на стійці, що регулюється показано на рис. 2.9.

Шумомір ВШВ-003-М2. Вимірювач шуму та вібрації ВШВ-003-М2 призначений для вимірювання рівня звукового тиску в діапазоні від 2 Гц до 18 кГц та октавних смугах у діапазоні частот від 2 Гц до 8 кГц у вільному та дифузному полях; рівня звуку із частотними характеристиками А, В, С; середніх квадратичних значень віброшвидкості та віброприскорення. Технічні характеристики шумоміра ВШВ-003-М2 зображені у табл. 2.9.



Рисунок 2.9 – Вимірювальний мікрофон ВПМ-101 на стійці, що регулюється

Таблиця 2.9 – Технічні характеристики шумоміра ВШВ-003-М2

Технічні характеристики:	Клас точності 1
Основна відносна похибка вимірювання віброшвидкості та віброприскорення	$\pm 10 \%$
Частотний діапазон	1 ... 18 000 Гц
Динамічний діапазон вимірювання рівня звуку	22 ... 140 дБ
Живлення: – від мережі змінного струму – від батарей	напруга 220 В напруга 5 ...7,5 В
Потужність: – від мережі – від батарей	5 Вт 1 Вт

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДІАГРАМ СПРЯМОВАНОСТІ АКУСТИЧНОЇ СИСТЕМИ З ДЕКІЛЬКОМА ВИПРОМІНЮВАЧАМИ

Для досліджень високочастотних та середньочастотних динаміків потрібно вивчити їх амплітудно-частотні характеристики та просторові діаграми спрямованості звукового тиску. Після цього вже можна обрати динаміки з найкращими характеристиками і працювати з ними для дослідження діаграм спрямованості.

Далі на основі діаграм спрямованості високочастотних та середньочастотного динаміків необхідно побудувати сумарну діаграму спрямованості.

3.1 Дослідження характеристик високочастотних динаміків і вибір динаміка

За допомогою генератора частоти формується сигнал, який передається на гучномовці через підсилювач потужності. Електронний вольтметр потрібен для контролю напруги при якій проводяться дослідження, потужність складає 1 Вт.

За допомогою високоякісного професійно-вимірювального мікрофона, що встановлений на відстані 1 м, від гучномовця, і приєднаний до ВШВ-003-М2, фіксується рівень звукового тиску, що відображується на індикаторній панелі пристрою ВШВ-003-М2. Дослідження відбуваються згідно до ГОСТ 16122-87. Згідно до ГОСТ 12090-80, проводяться зняття АЧХ за частотами від 2000...16000 Гц. [18]

Результати експериментальних досліджень надано в табл. 3.1.

На рис. 3.1 зображена АЧХ високочастотного динаміка 2ГД36. Максимальний звуковий тиск спостерігається на частоті 2000 Гц, при значенні 87 дБ.

Таблиця 3.1 – Зняття АЧХ для твітерів

Частота/ Гучномовець	2ГД36, дБ	3ГД-2 дБ
2000	87	67
2240	75	65
2500	77,5	70
2800	74,5	72
3150	76,5	82
3550	84	84
4000	82	78
4500	81	75,5
5000	78,5	75
5600	75,5	78,5
6300	78,5	78
7100	72,5	74
8000	72	78
9000	73	77,5
10000	77,5	75,5
11200	75	78
12500	74	75
14000	70,5	77
16000	67	72

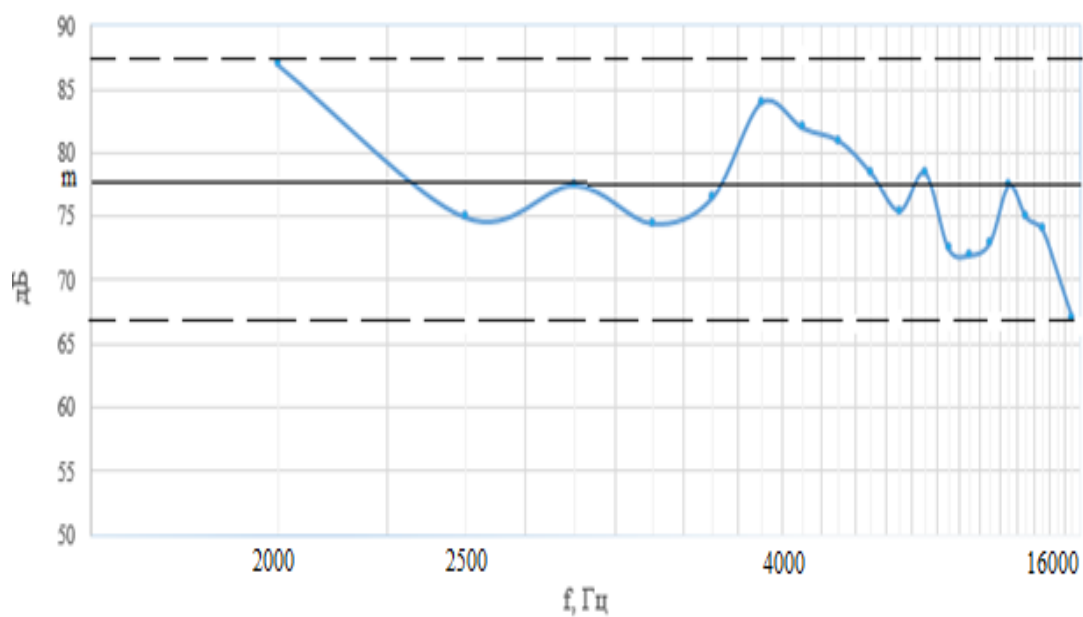


Рисунок 3.1 – АЧХ гучномовця 2ГД36

Із розглянутої АЧХ високочастотного динаміка ЗГД-2 (рис. 3.2) можна сказати що він має відмінну частотну характеристику, характеристика досить плоска, серйозних провалів або відхилень вгору або вниз не спостерігається. Плакат амплітудно частотної характеристики високочастотного динаміка ЗГД-2 надано в додатку Б.

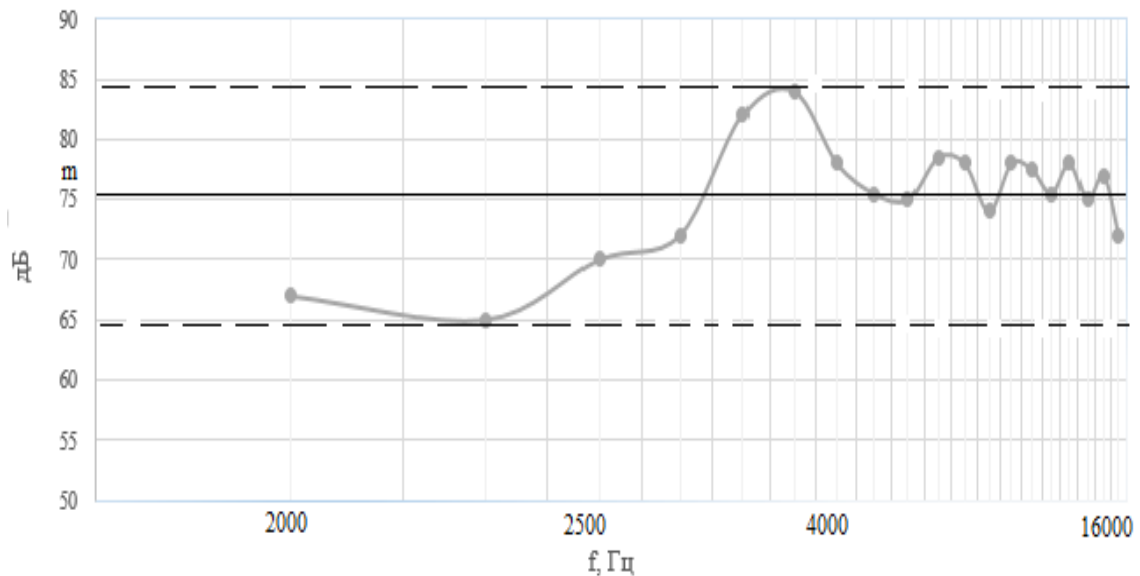


Рисунок 3.2 – АЧХ гучномовця ЗГД-2

Для високочастотної ланки акустичної системи необхідно розглянути частотний діапазон від 5000 Гц до 20000 Гц. Найкращим результатом за параметром нерівномірності звуковому тиску у вибраному діапазоні є динамік ЗГД-2, у якого ця нерівномірність складає 11,5 дБ. А за паспортом більше 8 дБ, що відповідає дійсності.

Тому можна вважати, що раціонально подальші експериментальні дослідження діаграм спрямованості гучномовця проводити на основі динаміка ЗГД-2.

Проведемо дослідження діаграми спрямованості гучномовця ЗГД-2, що відповідають зонам мінімальної (5000 Гц), зони близької до максимальної (14000 Гц) та центральної зони високочастотного спектру (8000 Гц). На потужності 1

Вт, на відстані 1 м до мікрофону вимірювалися значення звукового тиску в залежності від кута повороту між віссю мікрофону та віссю гучномовця в діапазоні від 0° до 180° з кроком у 15° .

Результати експериментальних досліджень у вигляді таблиць та діаграми спрямованості, які були побудовані у результаті підстановки отриманих значень, наведені в табл. 3.2 та на рис. 3.3, рис. 3.4, рис. 3.5.

Таблиця 3.2 – Дані експериментальних вимірювань гучномовця ЗГД-2

Градуси/ f	5000	8000	14000
0°	70	65	75
15°	65	67	74
30°	72	68	72
45°	70	70	70
60°	73	67	69
75°	69	72	67
90°	68	71	66
-15°	65	70	65

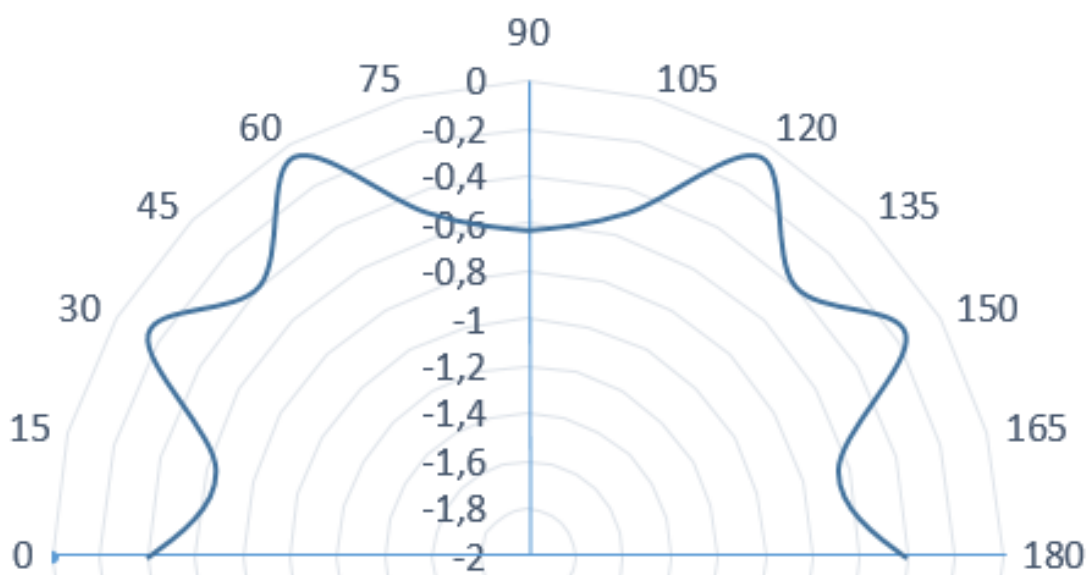


Рисунок 3.3 – ДС гучномовця ЗГД-2 на $f=5000$ Гц

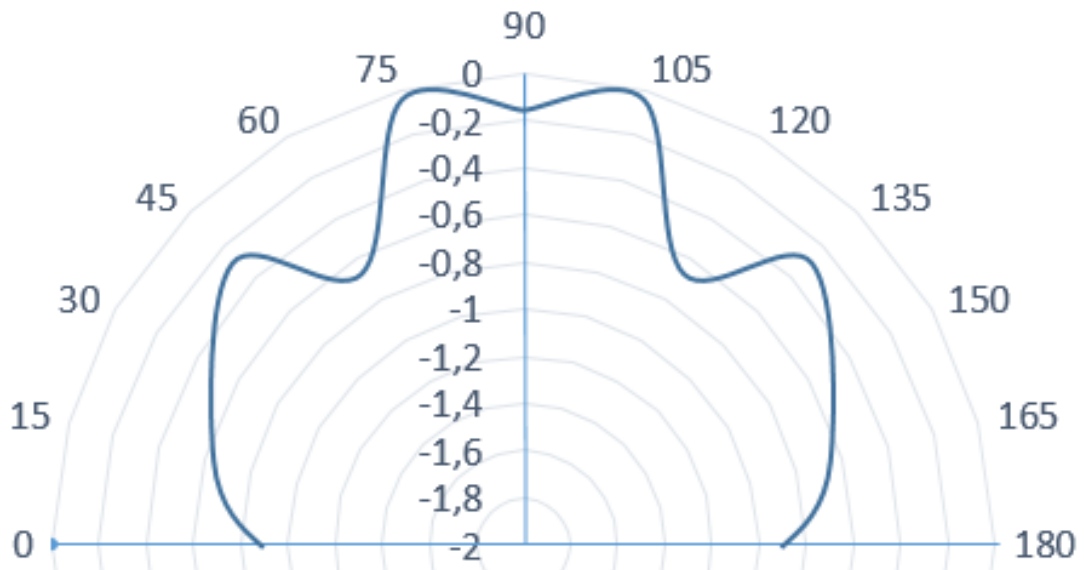


Рисунок 3.4 – ДС гучномовця 3ГД-2 на $f=8000$ Гц

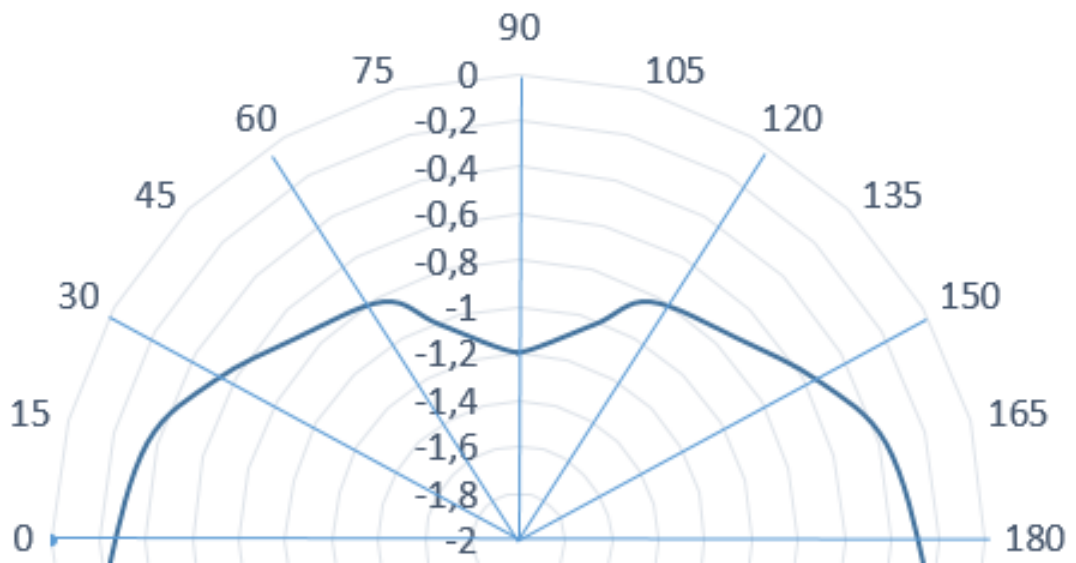


Рисунок 3.5 – ДС гучномовця 3ГД-2 на $f=14000$ Гц

Аналіз діаграм дає змогу зробити висновок, що найбільшу просторову нерівномірність має діаграма, отримана на частоті 5000 Гц – нижнього частотного інтервалу. Зі збільшенням частоти діаграма наближається до класичної полусферичної форми. Плакат діаграм спрямованості високочастотного динаміка 3ГД-2 надано в додатку В.

3.2 Дослідження характеристик середньочастотних динаміків і вибір динаміка

Згідно ДСТУ 3990-2000, частоти на яких проходять вимірювання відносяться до третього переважного ряду в діапазоні від 200 Гц до 8000 Гц, оскільки даний діапазон є найбільш інформативним.

Після проведення експерименту були встановлені результати дослідження значення звукового тиску в заданих точках гучномовців. Маючи проміжні значення за допомогою інтерполяційного поліному Лагранжа [19] було побудовано АЧХ гучномовців. На рис. 3.6, рис. 3.7 та рис. 3.8 приведені експериментально отримані АЧХ гучномовців 15ГД-11 Б, 25ГДШ-1а-4 та 4ГД-6 відповідно. Плакат амплітудно частотної характеристики середньочастотного динаміка 15ГД-11 Б надано в додатку Г.

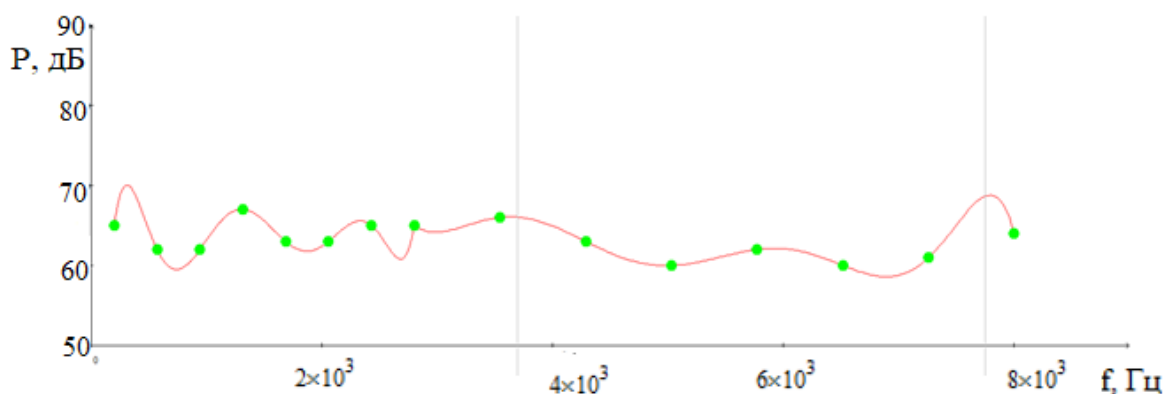


Рисунок 3.6 – АЧХ гучномовця 15ГД-11 Б

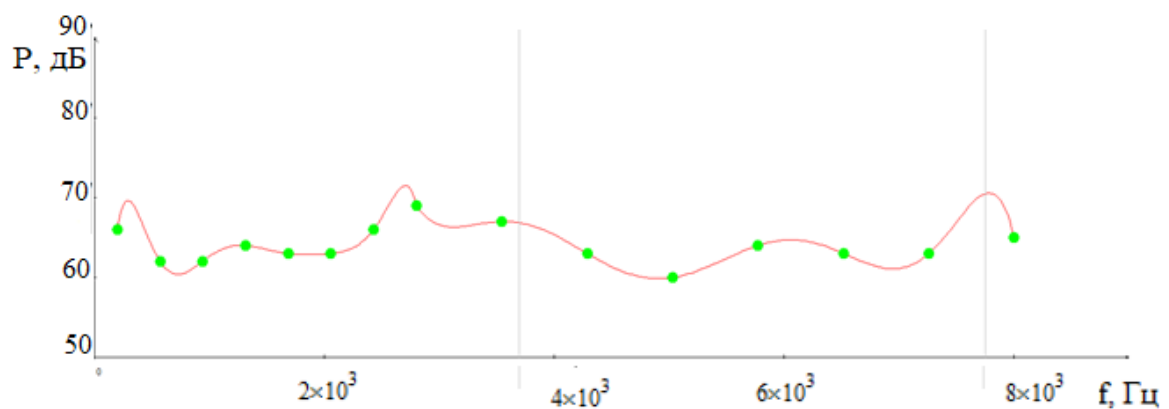


Рисунок 3.7 – АЧХ гучномовця 25ГДШ-1а-4

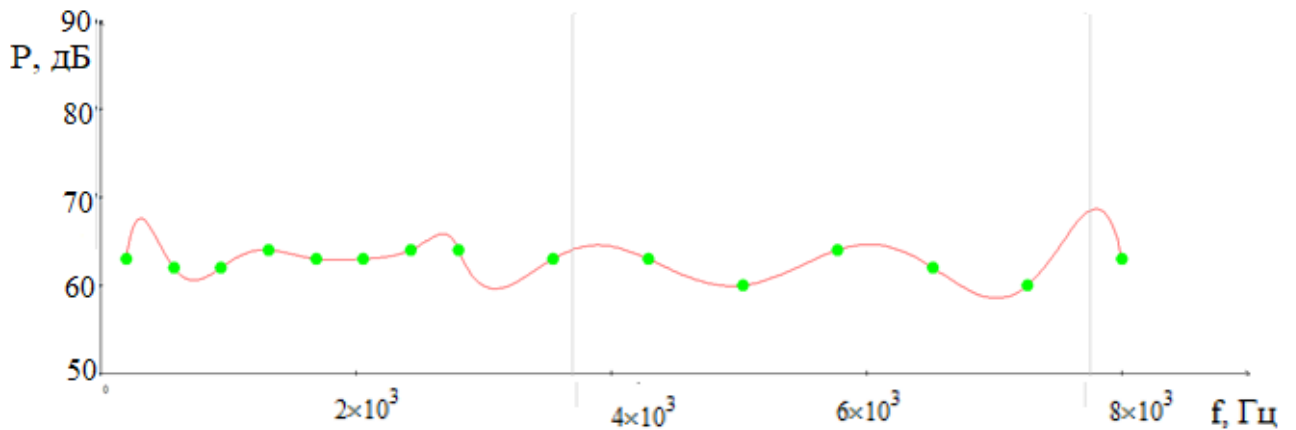


Рисунок 3.8 – АЧХ гучномовця 4ГД-6

Далі дослідження діаграми спрямованості середньочастотних динаміків, для цього на частотах вибраних з третього переважного ряду ДСТУ 3990-2000, що складають:

- 400 Гц,
- 1000 Гц,
- 2800 Гц,
- 5000 Гц.

На заданій потужності вимірювалися значення звукового тиску залежно від кута повороту в діапазоні від 0° до 180° з кроком у 15° .

Отриманні числові значення були оброблені за допомогою інтерполяційного поліному Лагранжа та отримано експериментальні діаграми спрямованості гучномовців 15ГД-11 Б, 25ГДШ-1а-4 та 4ГД-6, що зображенні на рис. 3.9, рис. 3.10, та рис. 3.11 відповідно.

Креслення діаграми спрямованості середньочастотного динаміка 15ГД-11 Б надано в додатку Д.

Також надано діаграми спрямованості гучномовця 15ГД-11 Б в рупорній системі і з фазо корегувальною кулею. Результати зображені на рис. 3.12.

Після дослідження та отримання характеристик високочастотних і середньочастотних динаміків, можна зробити висновок, який високочастотний та середньочастотний динаміки необхідні для розробки акустичної системи.

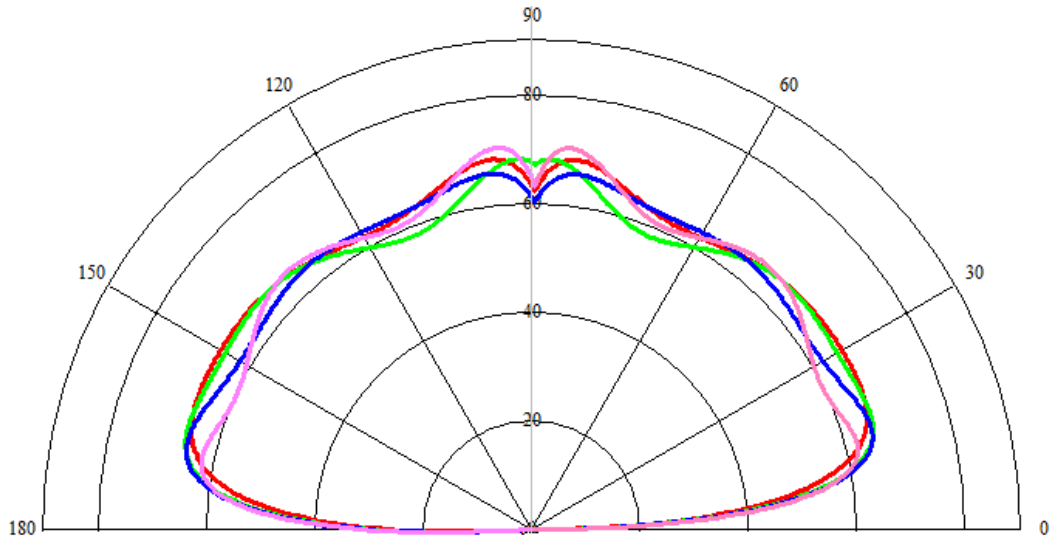


Рисунок 3.9 – Діаграма спрямованості гучномовця 15ГД-11 Б

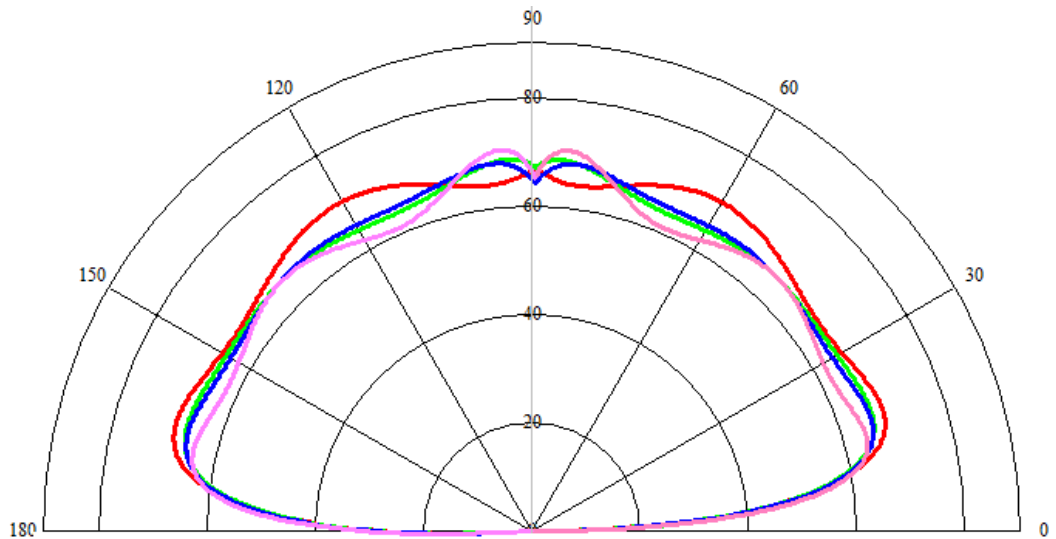


Рисунок 3.10 – Діаграма спрямованості гучномовця 25ГДШ-1а-4

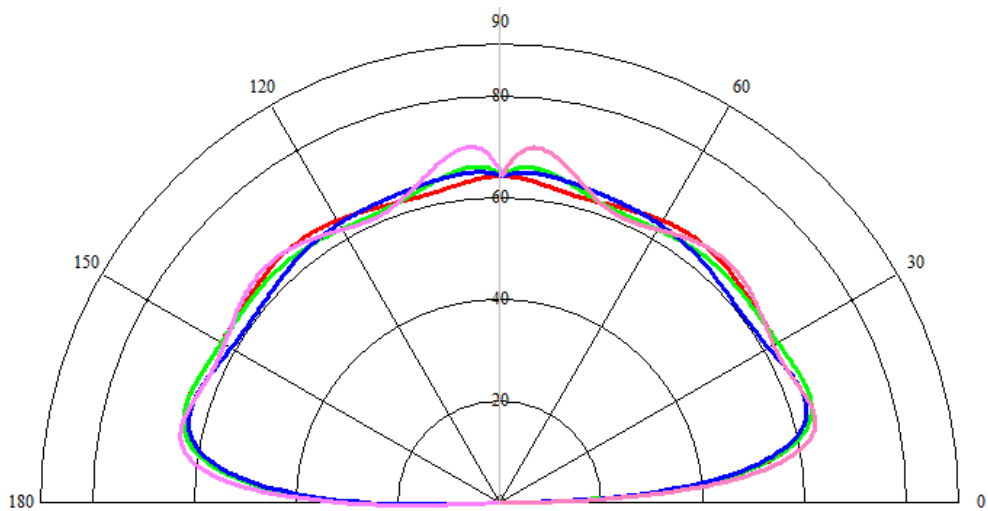


Рисунок 3.11 – Діаграма спрямованості гучномовця 4ГД-6

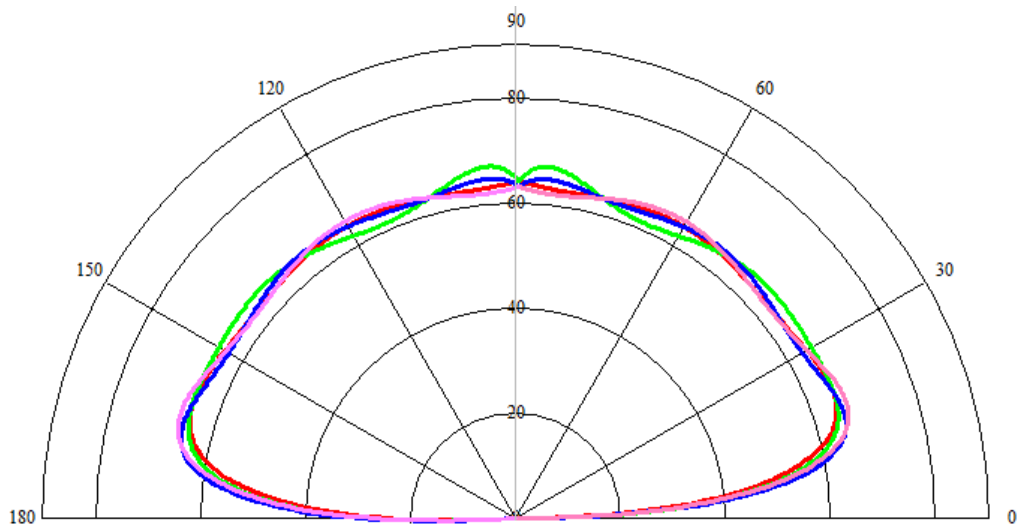


Рисунок 3.12 – Діаграма спрямованості гучномовця 15ГД-11 Б в рупорній системі з кулею

Таким чином, було прийняте рішення побудувати сумарну діаграму спрямованості. Це дасть можливість побачити, що використання трьох динаміків під різним кутом має покращену, більш гладку діаграму спрямованості, наближену до ідеальної круглої. За кращими характеристиками було обрано динаміки високочастотний ЗГД-2 та середньочастотний 15ГД-11 Б.

3.3 Побудова сумарної діаграми спрямованості

Вважається, що сателіти будуть розташовані в такому порядку: по середині буде стояти середньочастотний динамік 15ГД-11 Б, а з одного і з іншого боку на відстані 10 см від середньочастотного будуть стояти два високочастотні динаміки ЗГД-2 з розворотом від середньочастотного динаміка на 30° . Зовнішній вигляд розташування сателітів показано на рис. 3.13. Для отримання точного і якісного результату було вирішено зробити ряд досліджень, результати яких надано нижче. Результатом побудови діаграм має бути діаграма спрямованості, що наближена до плавної овальної форми з розширеними боковими пелюстками та без провалу або з незначним провалом в середині.



Рисунок 3.13 – Зовнішній вигляд розташування сателітів

На рис. 3.14 показано діаграму спрямованості середньочастотного динаміка 15ГД-11 Б.

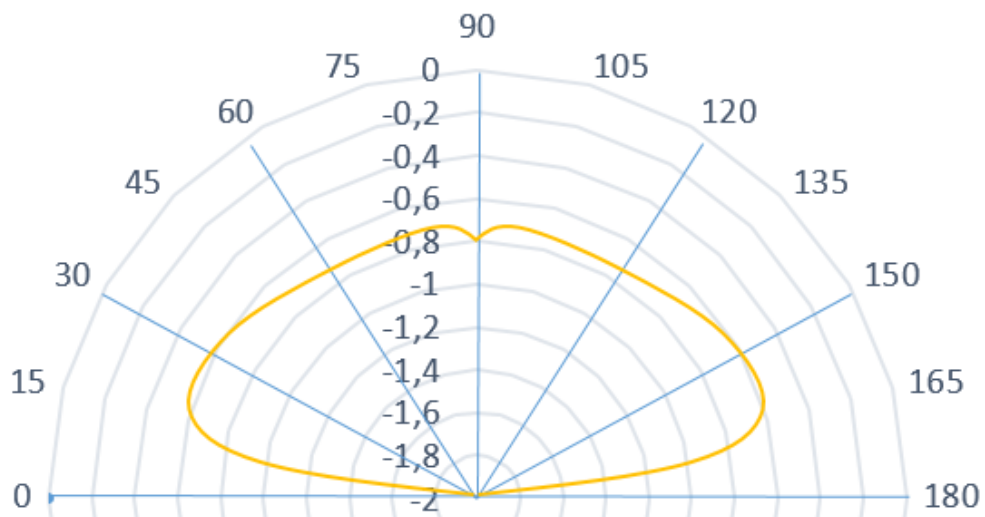


Рисунок 3.14 – Діаграма спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11 Б

Проведено дослідження, де високочастотні динаміки 3 ГД-2 поставлено прямо (без розвороту на 30°) на частоті 5000 Гц, результати показано на рис. 3.15. Зеленим та блакитним кольором побудовано діаграми направленості високочастотного динаміка 3ГД-2, жовтим кольором побудовано діаграму спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11 Б. Після було зроблено розворот високочастотних динаміків під кутом 30° . Результат показано на рис.

3.16. Об'єднання діаграм спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 з розворотом на частоті 5000 Гц показано на рис. 3.17. Сумарна діаграма спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 з розворотом 30° на частоті 5000 Гц зображено на рис. 3.18.

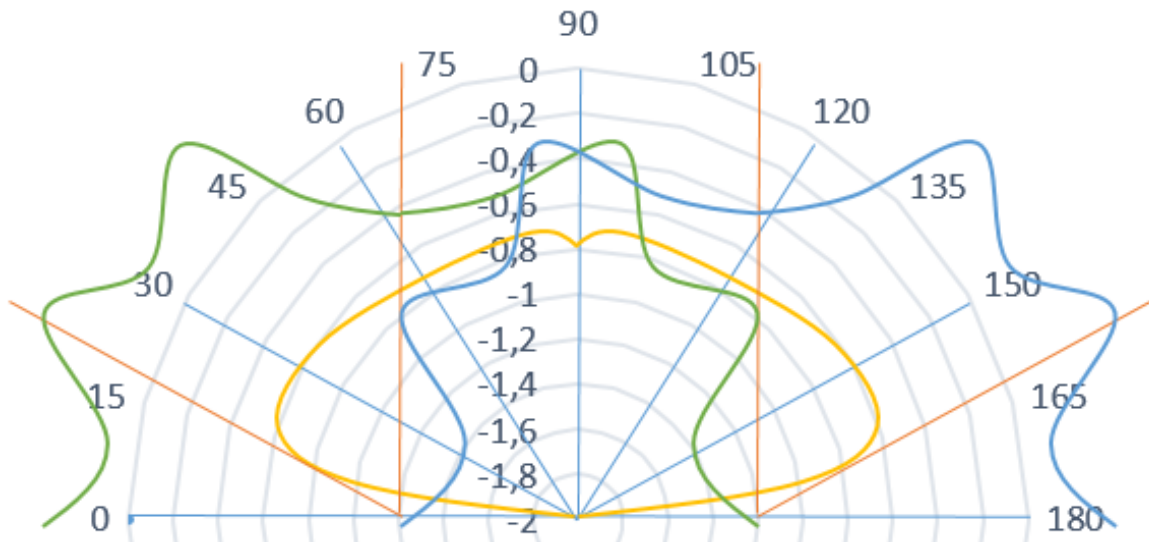


Рисунок 3.15 – Діаграми спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 без розвороту на частоті 5000 Гц

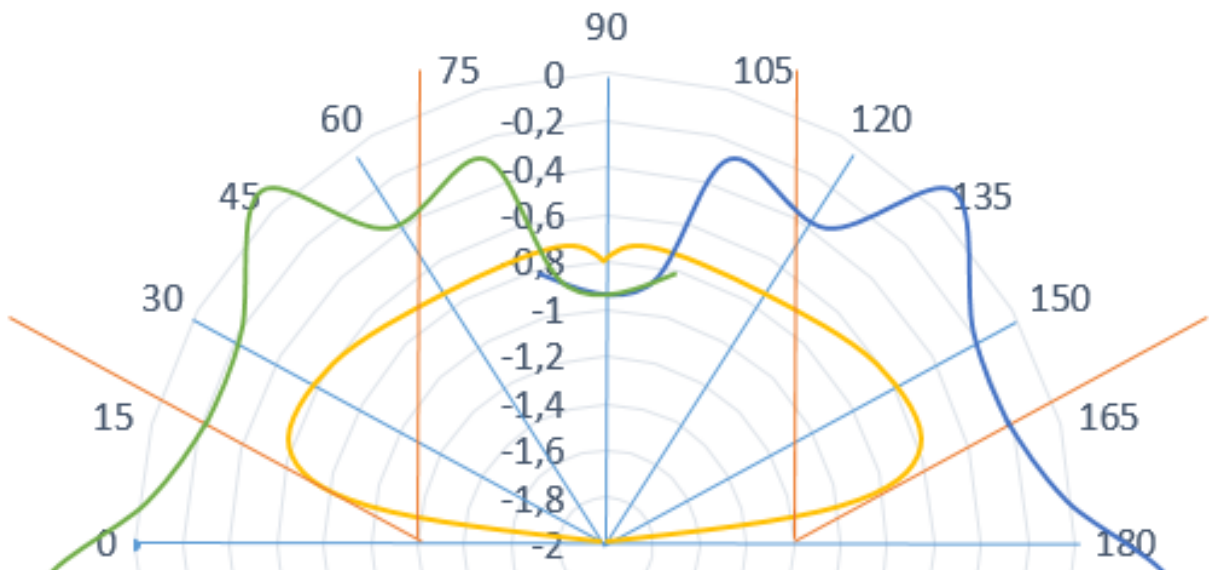


Рисунок 3.16 – Діаграми спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 з розворотом 30° на частоті 5000 Гц

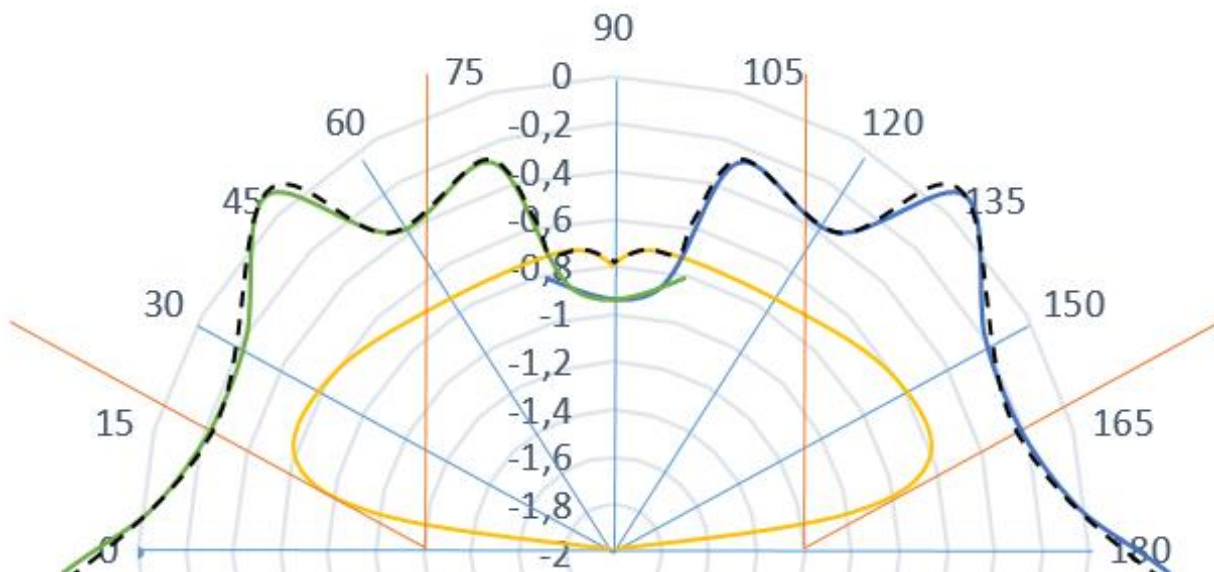


Рисунок 3.17 – Об'єднання діаграм спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 з розворотом 30° на частоті 5000 Гц

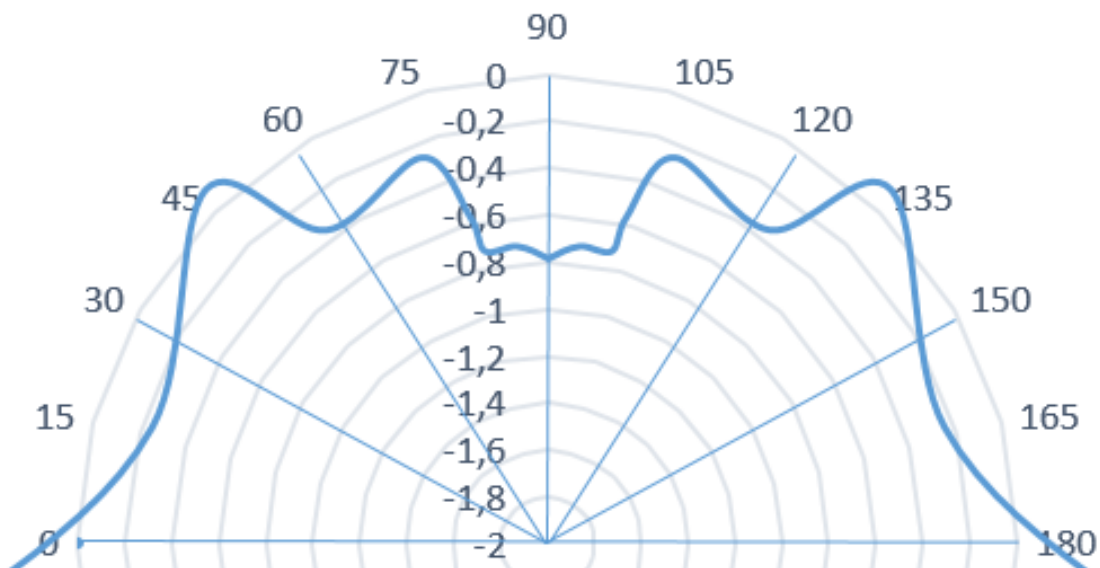


Рисунок 3.18 – Сумарна діаграма спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 з розворотом 30° на частоті 5000 Гц

Проаналізувавши сумарну діаграму спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 з розворотом 30°

на частоті 5000 Гц можна побачити, що дана діаграма має напіврозширені бокові пелюстки та значний провал в середині. Бокові пелюстки мають різкі обриви.

Наступне дослідження було з варіантом, коли високочастотні динаміки 3 ГД-2 поставлено прямо (без розвороту на 30°) на частоті 8000 Гц, результати показано на рис. 3.19.

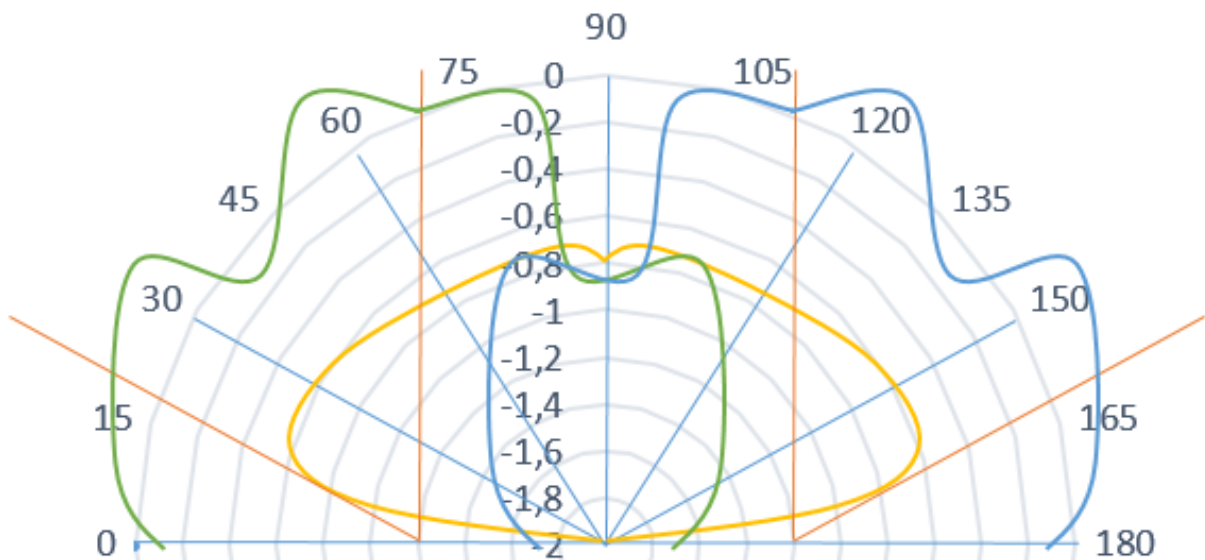


Рисунок 3.19 – Діаграми спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 з розворотом 30° на частоті 8000 Гц

Далі зроблено розворот високочастотних динаміків під кутом 30° . Результат показано на рис. 3.20. Об'єднання діаграм спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 з розворотом на частоті 8000 Гц показано на рис. 3.21.

Сумарна діаграма спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 з розворотом 30° на частоті 8000 Гц зображено на рис. 3.22.

Така сумарна діаграма спрямованості наближена до необхідного результату, але тут також є свою нюанси.

Бокові пелюстки розширені, форма плавна та нагадує приплюснутий овал, але плавного переходу від провалу до пелюсток в середині нема – є значний

провал, який не дозволяє назвати цю сумарну діаграму спрямованості наближеною до необхідної.

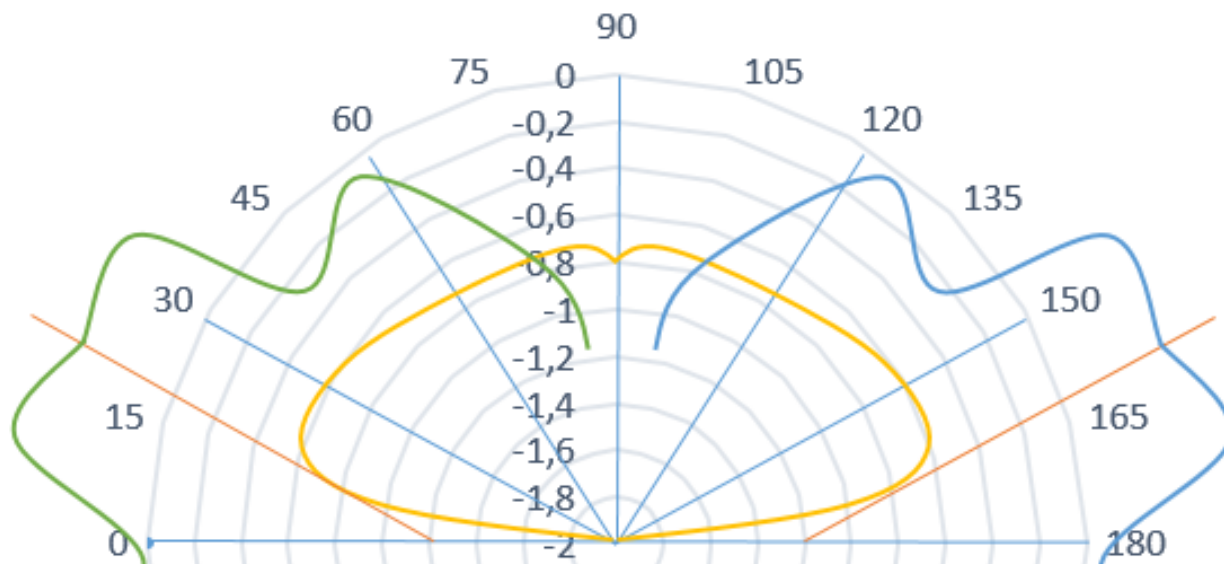


Рисунок 3.20 – Діаграми спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 з розворотом 30° на частоті 8000 Гц

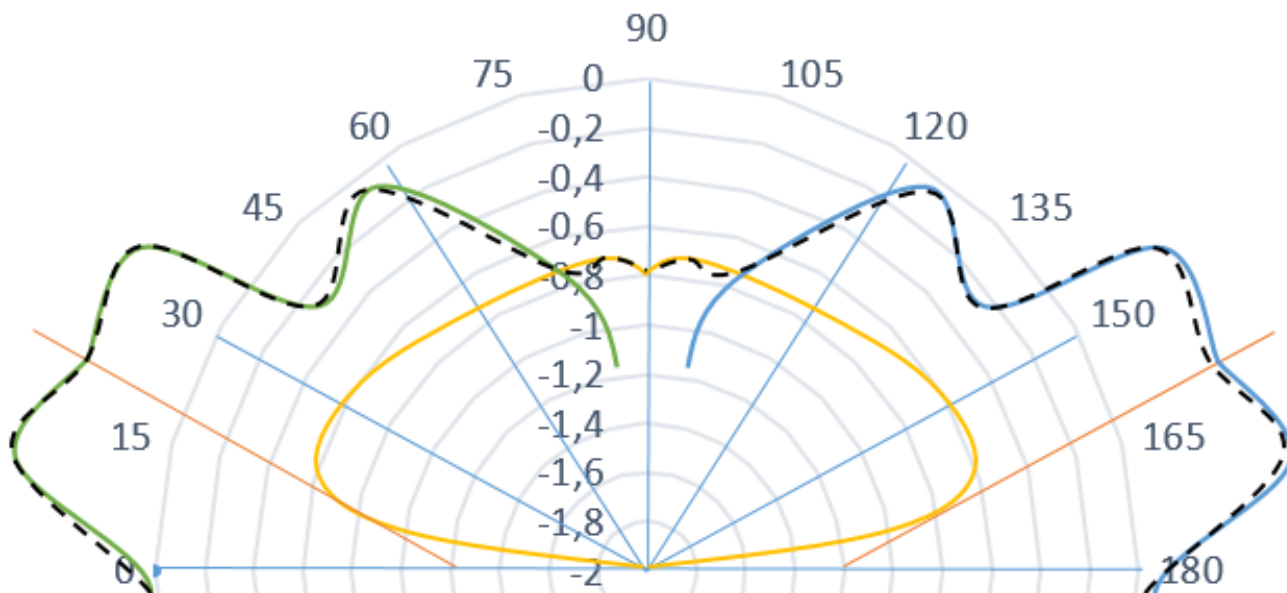


Рисунок 3.21 – Об'єднання діаграм спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 з розворотом 30° на частоті 8000 Гц

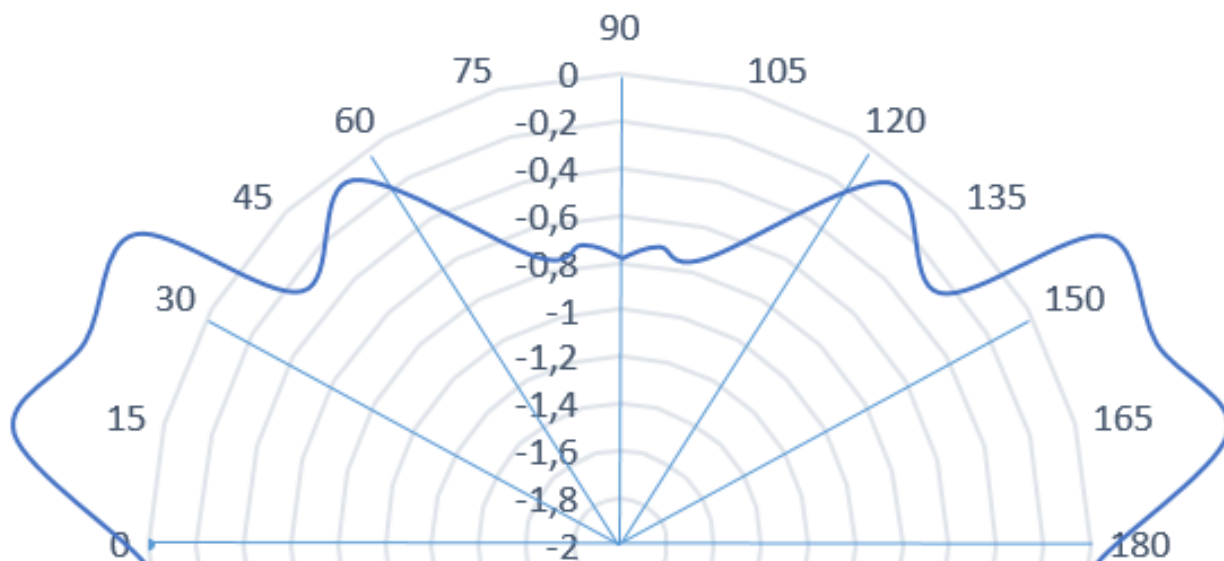


Рисунок 3.22 – Сумарна діаграма спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 з розворотом 30° на частоті 8000 Гц

Аналогічне дослідження було проведено, де високочастотні динаміки 3 ГД-2 поставлено прямо (без розвороту на 30°) на частоті 14000 Гц, результати показано на рис. 3.23.

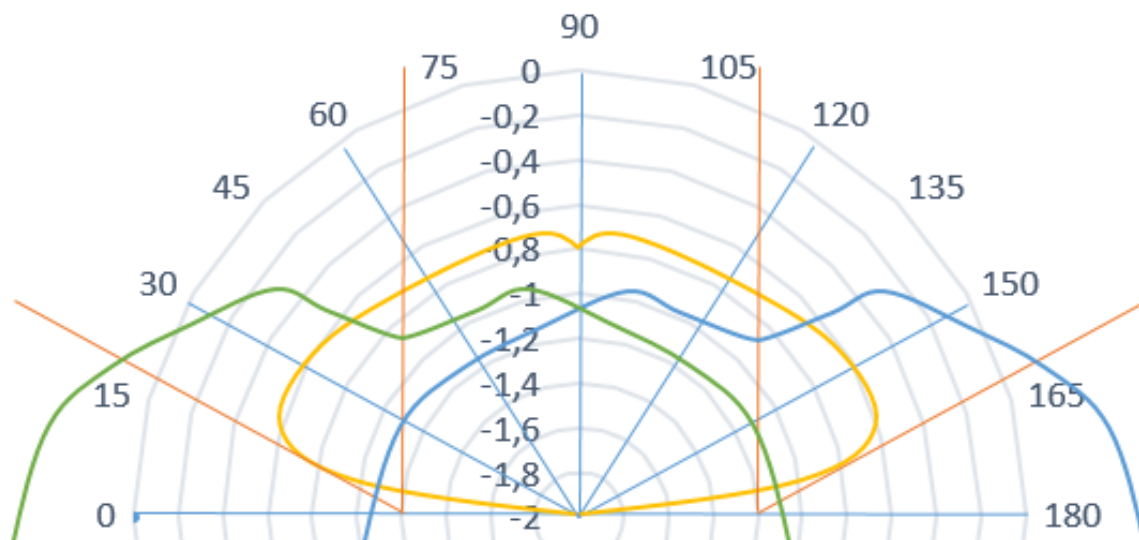


Рисунок 3.23 – Діаграми спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 з розворотом 30° на частоті 14000 Гц

Затим зроблено розворот високочастотних динаміків під кутом 30° . Результат показано на рис. 3.24. Об'єднання діаграм спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 з розворотом на частоті 14000 Гц показано на рис. 3.25.

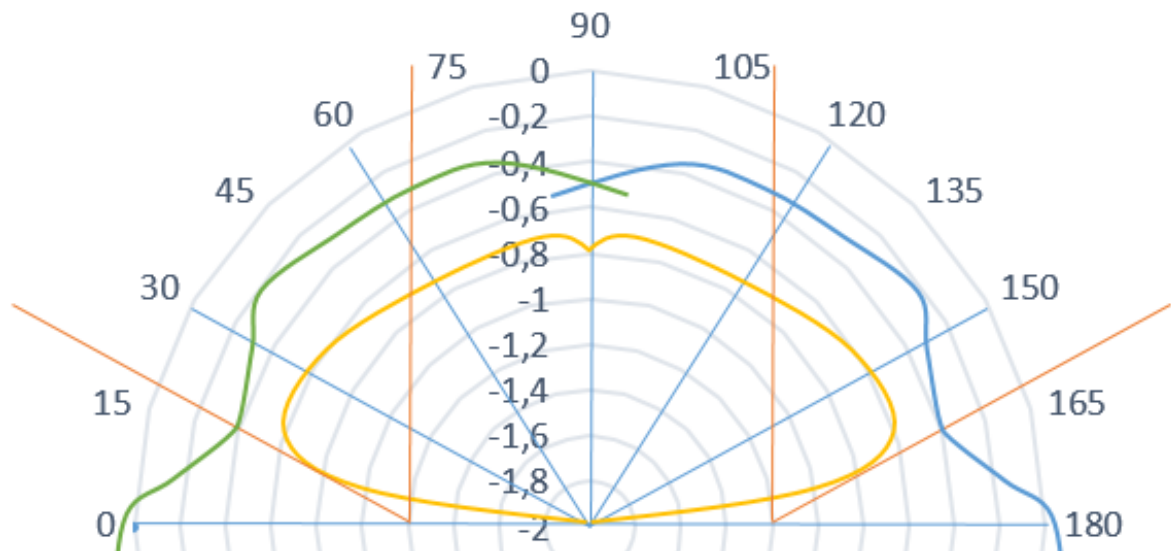


Рисунок 3.24 – Діаграми спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 з розворотом 30° на частоті 14000 Гц

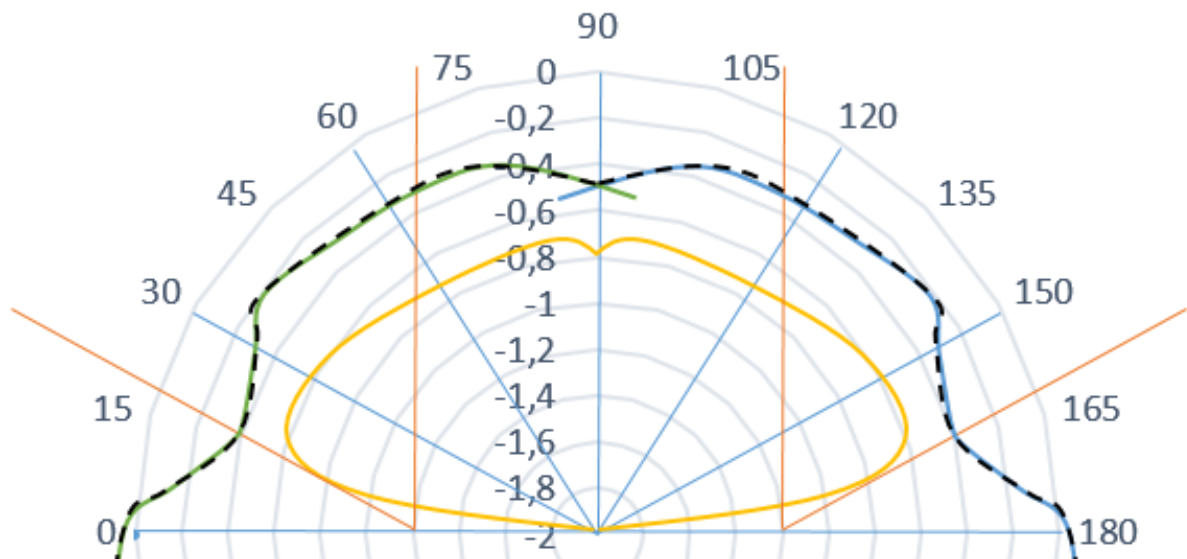


Рисунок 3.25 – Об'єднання діаграм спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 з розворотом 30° на частоті 14000 Гц

Сумарна діаграма спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 з розворотом 30° на частоті 8000 Гц зображено на рис. 3.26.

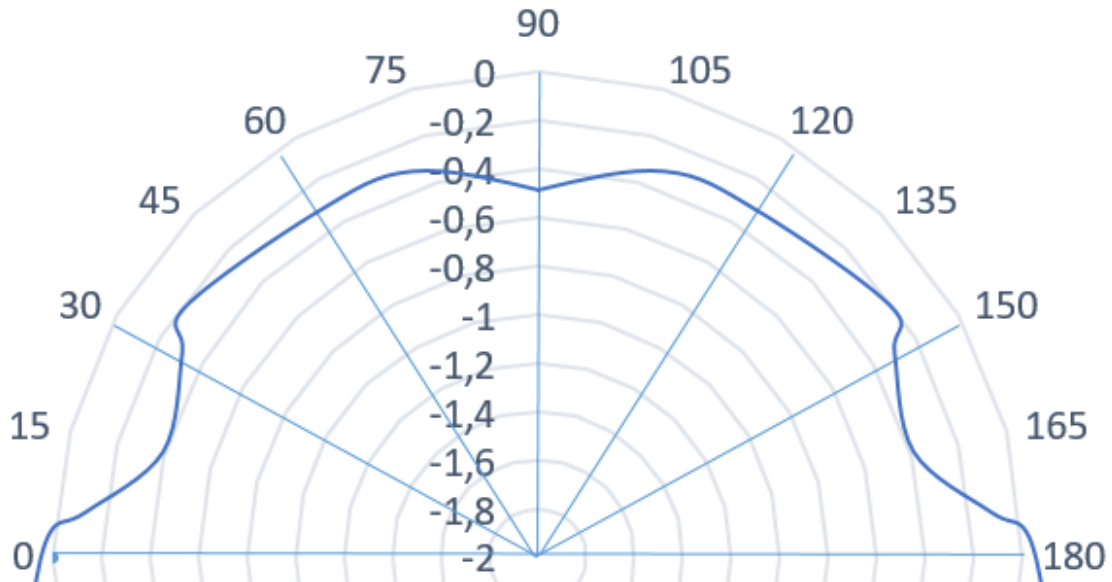


Рисунок 3.26 – Сумарна діаграма спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 з розворотом 30° на частоті 14000 Гц

Результат побудови сумарної діаграми спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 на частоті 14000 Гц має свої переваги та недоліки. До переваг можна віднести відсутність провалу в середині. Але недоліком є обриви в зоні бокових пелюсток, тому форма йде плавна, але більш круглої форми, а не овальної.

Для покращення результатів сумарної діаграми спрямованості було вирішено об'єднати дві діаграми спрямованості в одну. Було отримано діаграму спрямованості зроблену з двох діаграм спрямованості для динаміка 3ГД-2 на частотах 5000-8000 Гц. На рис. 3.27 та рис. 3.28 показано етапи об'єднання діаграм спрямованості. На рис. 3.29 надано зовнішній вигляд результату об'єднання – сумарну діаграму спрямованості високочастотного динаміка 3ГД-2 на частотах 5000-8000 Гц. Далі було побудовано сумарну діаграму

спрямованості з розворотом 30° для середньочастотного динаміка 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 на частотах 5000-8000 Гц. Об'єднання діаграм спрямованості та результат надано на рис. 3.30, рис. 3.31.

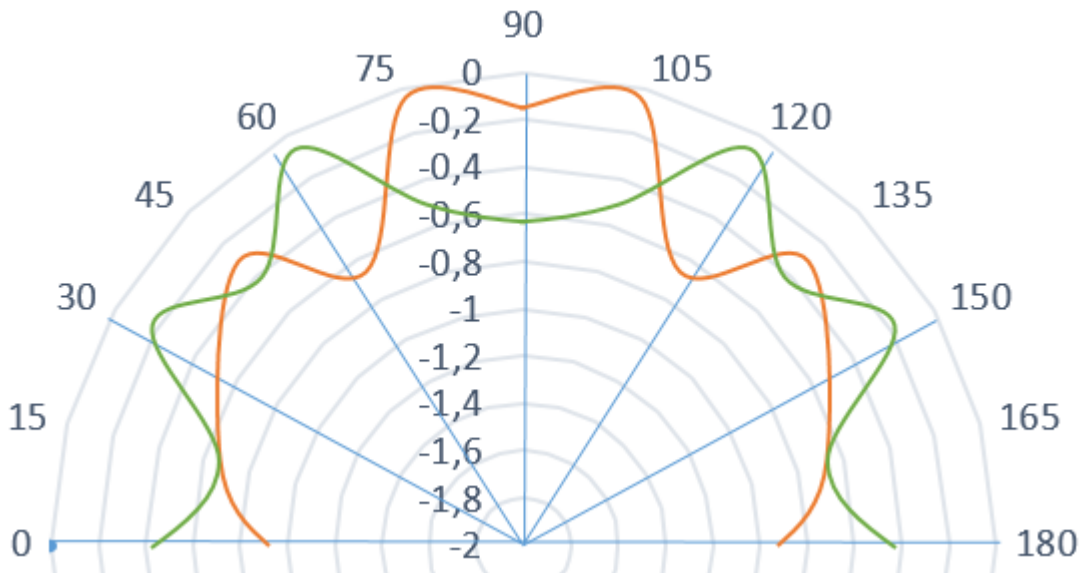


Рисунок 3.27 – Діаграми спрямованості високочастотного динаміка на частотах 5000 Гц та 8000 Гц

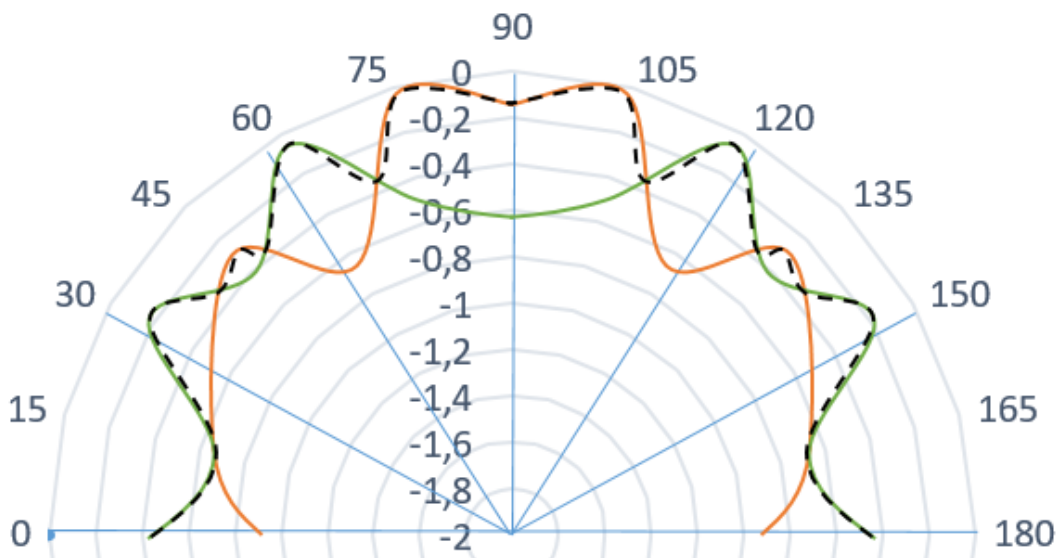


Рисунок 3.28 – Об'єднання діаграм спрямованості для динаміка 3ГД-2 на частотах 5000 Гц та 8000 Гц

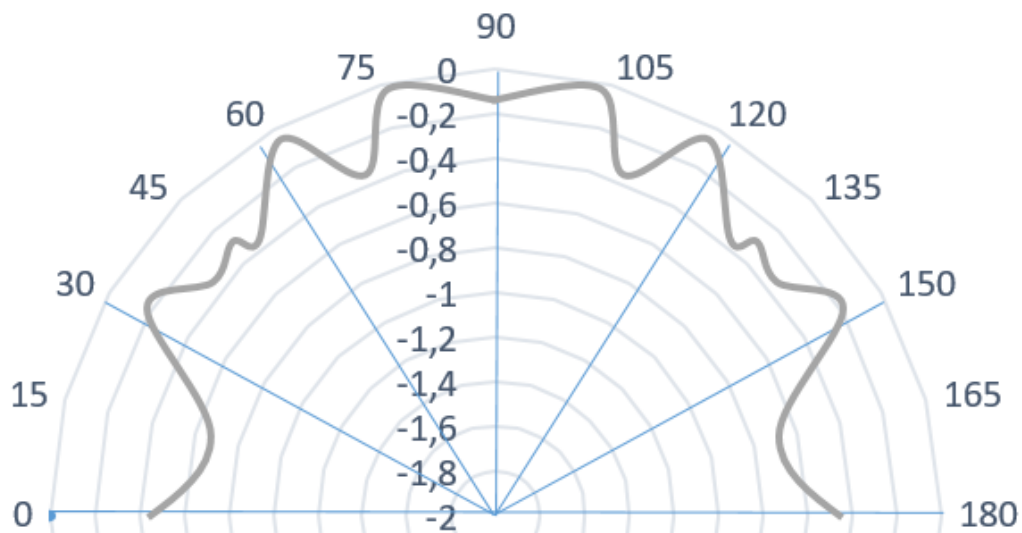


Рисунок 3.29 – Сумарна діаграма спрямованості середньочастотного динаміка 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 на частотах 5000-8000 Гц

Сумарна діаграма спрямованості середньочастотного динаміка 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 на частотах 5000-8000 Гц надана на рис. 32.

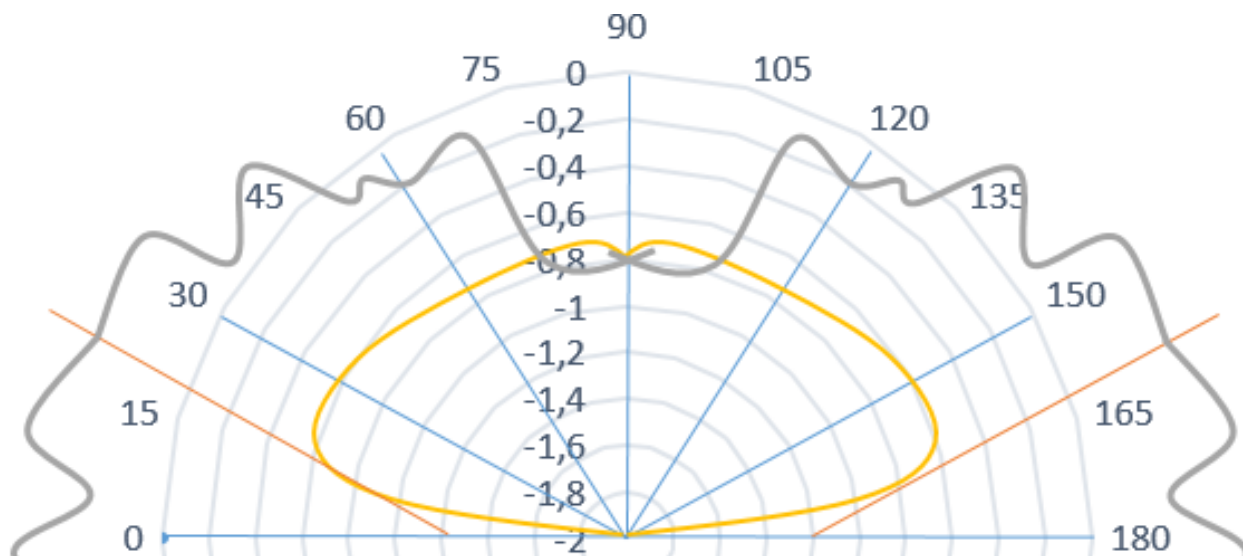


Рисунок 3.30 – Діаграми спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 з розворотом 30° на частоті 5000 Гц та 8000 Гц

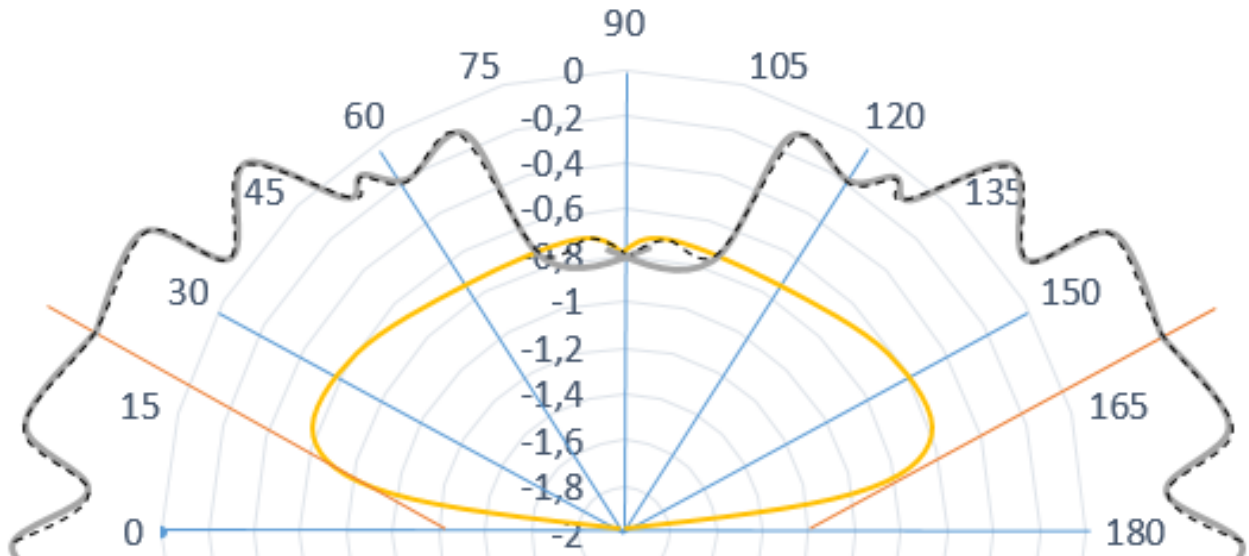


Рисунок 3.31 – Об'єднання діаграм спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 з розворотом 30° на частоті 5000 та 8000 Гц

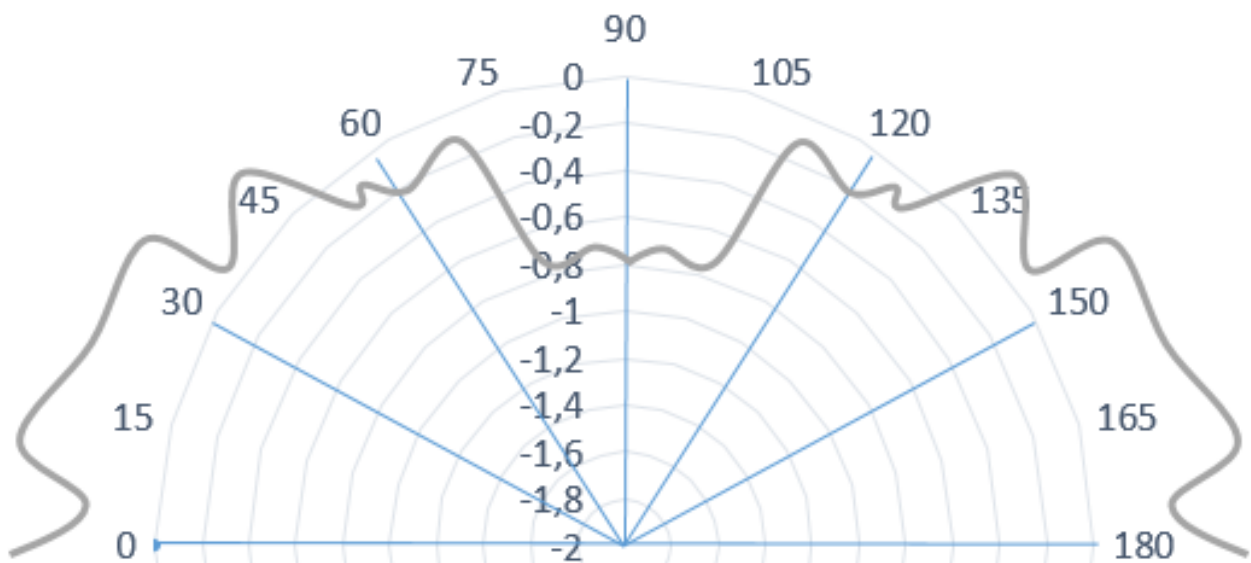


Рисунок 3.32 – Сумарна діаграма спрямованості середньочастотного динаміка 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 на частотах 5000-8000 Гц

В результаті такого об'єднання сумарна діаграма спрямованості дійсно покращилася. Бокові пелюстки розширені, форма плавна, переходи теж плавні. Але провал в середині став тільки більше і він різкий.

Аналогічним образом, було отримано діаграму спрямованості зроблену з двох діаграм спрямованості для динаміка ЗГД-2 на частотах 8000-14000 Гц. На рис. 3.33 та рис. 3.34 показано етапи об'єднання діаграм спрямованості.

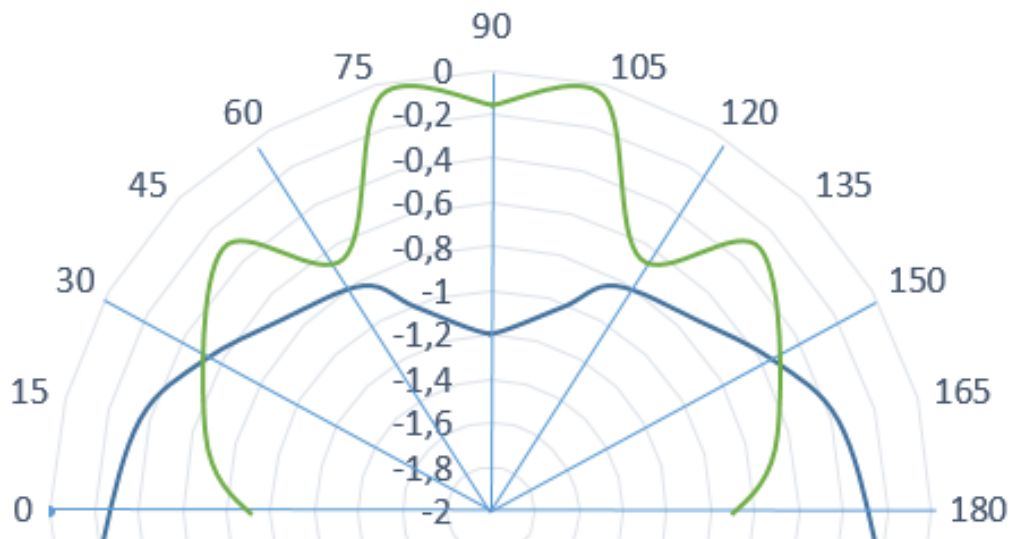


Рисунок 3.33 – Діаграми спрямованості високочастотного динаміка на частотах 8000 Гц та 14000 Гц

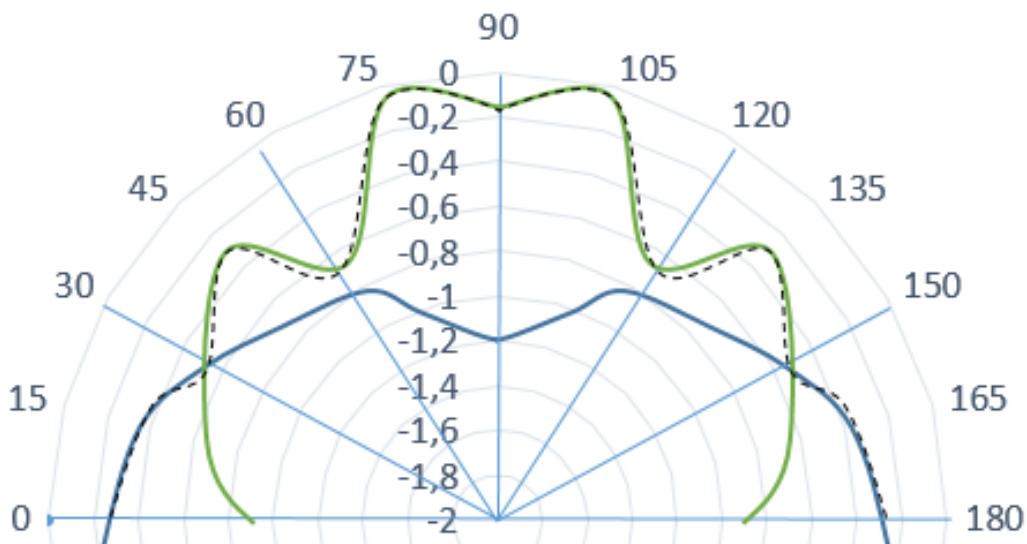


Рисунок 3.34 – Об'єднання діаграм спрямованості для динаміка ЗГД-2 на частотах 8000 Гц та 14000 Гц

На рис. 3.35 надано зовнішній вигляд результату об'єднання – сумарну діаграму спрямованості високочастотного динаміка ЗГД-2 на частотах 5000-8000

Гц. Далі було побудовано сумарну діаграму спрямованості з розворотом 30° для середньочастотного динаміка 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 на частотах 8000-14000 Гц. Об'єднання діаграм спрямованості та результат надано на рис. 3.36, рис. 3.37 та рис. 3.38.

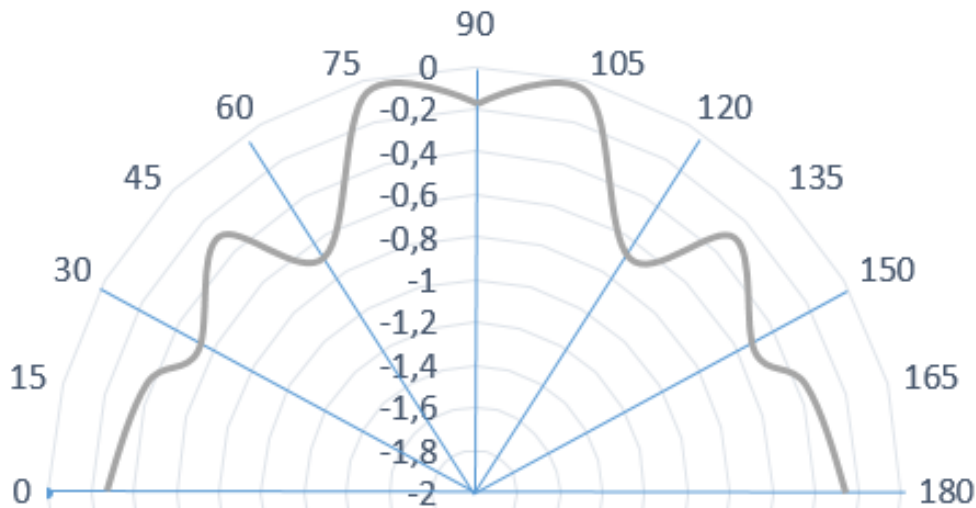


Рисунок 3.35 – Сумарна діаграма спрямованості високочастотного динаміка 3ГД-2 на частотах 8000 Гц та 14000 Гц

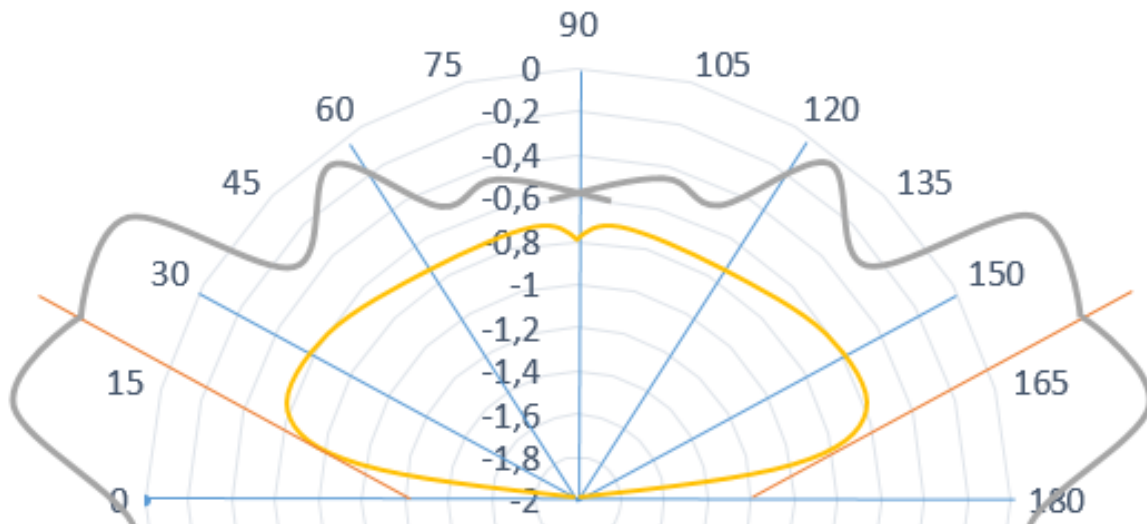


Рисунок 3.36 – Діаграми спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 з розворотом 30° на частоті 14000 Гц

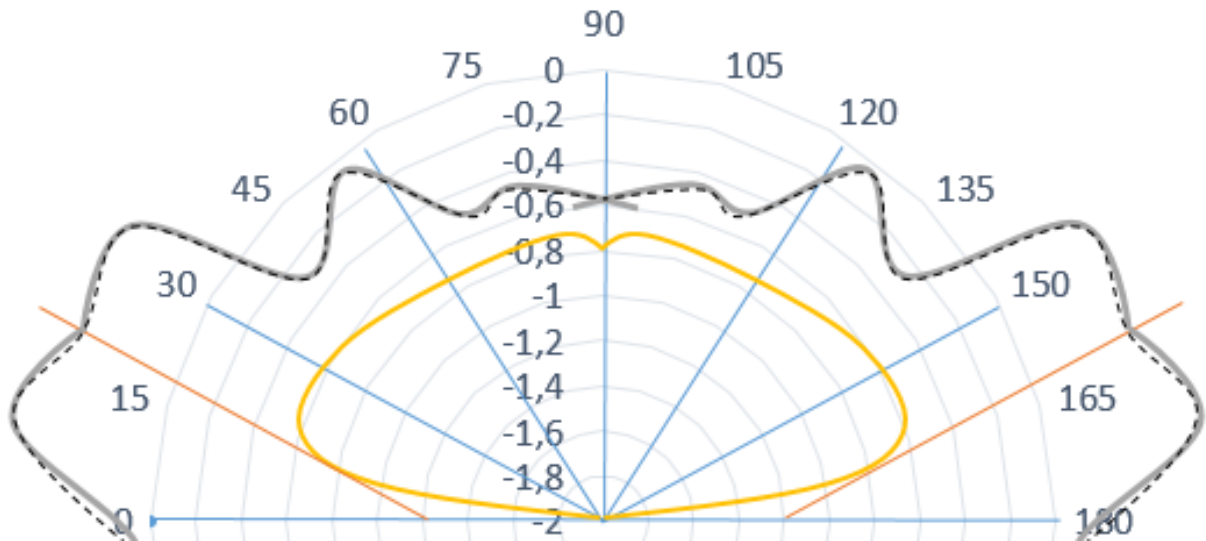


Рисунок 3.37 – Об'єднання діаграм спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 з розворотом 30° на частоті 8000 Гц та 14000 Гц

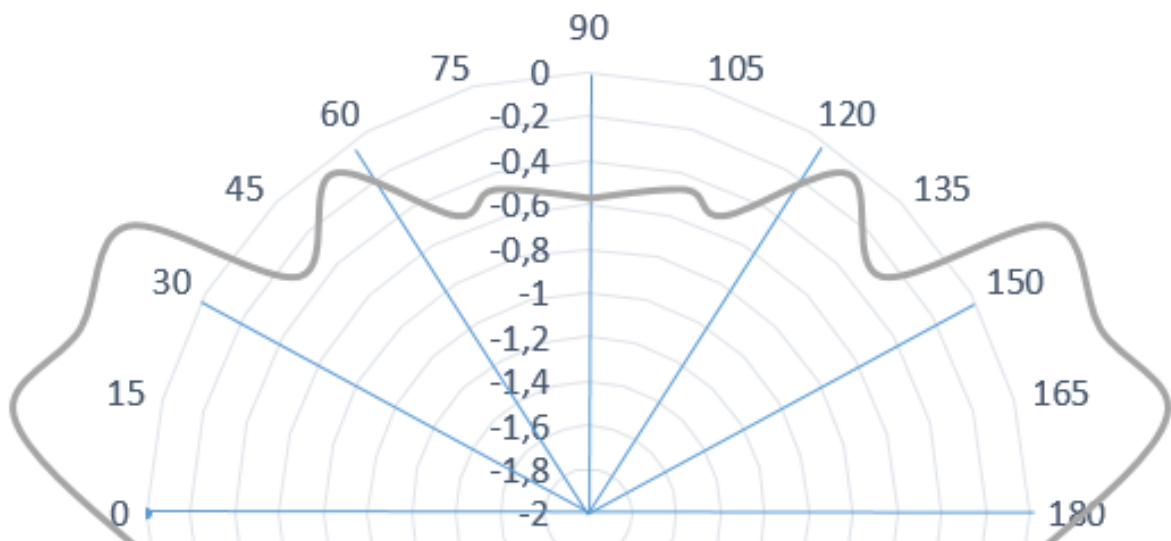


Рисунок 3.38 – Сумарна діаграма спрямованості середньочастотного динаміка 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 на частотах 8000 Гц та 14000 Гц

Побачивши цю сумарну діаграму спрямованості можна зробити позитивні висновки. Така діаграма спрямованості має форму найбільш наближену до

овальної, присутні плавні переходи, бокові пелюстки розширені, а в середині провалу майже нема.

Для висновків необхідно ще раз проаналізувати всі п'ять сумарних діаграм спрямованості та обрати одну необхідну за кращими характеристиками, що дає необхідний результат та відповідає вимогам завданню.

Сумарна діаграма спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 з розворотом 30° на частоті 5000 Гц (рис. 3.18) має напіврозширені бокові пелюстки та значний провал в середині. Бокові пелюстки мають різкі обриви. Тому такий результат не підходить.

Сумарна діаграма спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 з розворотом 30° на частоті 8000 Гц (рис. 3.22) має розширені бокові пелюстки, форма плавна та нагадує приплюснутий овал, але плавного переходу від провалу до пелюсток в середині нема – є значний провал, який не дозволяє назвати цю сумарну діаграму спрямованості наближеною до необхідної.

Результатом побудови сумарної діаграми спрямованості середньочастотного динаміку 15ГД-11Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 (рис. 3.26) на частоті 14000 Гц є відсутність провалу в середині, але з недоліків – обриви в зоні бокових пелюсток, тому форма йде плавна, але більш круглої форми, а не овальної. Результат не відповідає поставленому завданню.

В результаті об'єднання діаграм спрямованості на частотах 5000-8000 Гц (рис. 3.32) сумарна діаграма спрямованості має розширені бокові пелюстки, форма плавна, переходи теж плавні. Але провал в середині став тільки більше і він різкий.

Якщо поглянути на аналогічно об'єднану сумарну діаграму спрямованості з розворотом 30° для середньочастотного динаміка 15ГД-11Б та двох високочастотних динаміків 3ГД-2 на частотах 8000-14000 Гц (рис. 3.38), то можна побачити, що діаграма спрямованості має форму найбільш наближену до

овальної, присутні плавні переходи, бокові пелюстки розширені, а в середині провалу майже нема.

Отже, з розглянутих отриманих результатів дослідження сумарних діаграм спрямованості динаміків середньочастотного 15ГД-11Б та високочастотних ЗГД-2 з розворотом 30° , можна окремо виділити сумарну діаграму спрямованості середньочастотного динаміка 15ГД-11Б та двох високочастотних динаміків ЗГД-2 на частотах 8000-14000 Гц (рис. 3.38). Ця сумарна діаграма спрямованості має найбільш відповідну форму – бокові пелюстки розширені, в середині без значного провалу, що відповідає поставленому завданню.

Плакат сумарної діаграми спрямованості акустичної системи середньочастотного динаміка 15ГД-11Б та двох високочастотних динаміків ЗГД-2 надано в додатку Е.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ЗАХИСТУ ВІД АКУСТИЧНИХ ПЕРЕНАВАНТАЖЕНЬ

Шум – сукупність звуків, різних за частотою та інтенсивністю, що шкідливо впливають на організм людини.

З фізичного боку шум характеризується частотою коливань, звуковим тиском, інтенсивністю чи силою звуку.

Вухо людини здатне сприймати як чутні звукові коливання повітря із частотою від 16 до 20 000 Гц.

Коливання з частотою нижче 16 Гц називаються інфразвуковими, а понад 20 000 Гц ультразвуковими. Інфразвук та ультразвук не викликають слухових відчуттів, але надають біологічну дію на організм людини.

Слуховий апарат людини має неоднакову чутливість до звуків різної частоти (рис. 4.1). Мінімальний звуковий тиск та мінімальна інтенсивність звуків, що сприймаються слуховим апаратом людини, визначають поріг чутності [20].



Рисунок 4.1 – Чутливість вуха людини

За еталонний прийнятий звук із частотою 1000 Гц. За цієї частоти поріг чутності за інтенсивністю становить

$$I_0 = 10^{-12} \text{Вт/м}^2,$$

а відповідний йому звуковий тиск

$$P_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{Па}.$$

Верхня межа сприйманих людиною звуків приймається так званий поріг больового відчуття.

Поріг больового відчуття - 120...130 дБ. При частоті 1000 Гц поріг больового відчуття виникає при:

$$I = 10 \text{Вт/м}^2 \text{ та } P = 2 \cdot 10^2 \text{Па}$$

Між порогом чутності та больовим порогом лежить область чутності.

Вуху людини реагує не на абсолютну, а на відносну зміну інтенсивності звуку. У цьому відчуття людини пропорційні логарифму кількості енергії шуму чи іншого подразника. Крім того, згідно із законом Вебера-Фехнера дратівлива дія шуму на людину пропорційна не квадрату звукового тиску, а логарифму від нього.

Тому на практиці для характеристики шуму користуються двома логарифмічними величинами: рівнем інтенсивності L_I і рівнем звукового тиску L_P , що виражаються в децибелах (дБ):

$$L_I = 10 \lg I / I_0, \text{ дБ}; L_P = 20 \lg P / P_0, \text{ дБ},$$

де I – інтенсивність звуку у цій точці, Вт/м²;

$I_0 = 10^{-12}$ Вт/м² – інтенсивність звуку, що відповідає порогу чутності при частоті 1000 Гц;

P – середнє квадратичне значення звукового тиску у певній смузі частот, Па;

$P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па – вихідне значення звукового тиску повітря на частоті 1000 Гц;

1 дБ – ледь помітна на слух зміна гучності, яка відповідає зміні інтенсивності звуку на 26% або звукового тиску на 12%.

Логарифмічна шкала децибеллах (0... 140) дозволяє визначити суто фізичну характеристику шуму незалежно від частоти. Найбільша чутливість слухового апарату людини й у середніх і високих частот (800...1000 Гц), найменша – низьких (20... 100 Гц).

Для цього, щоб наблизити результати об'єктивних вимірювань до суб'єктивного сприйняття, запроваджено поняття коригованого рівня звукового тиску.

Суть корекції – запровадження залежних від частот звуку поправок до рівня відповідної величини. Ці зміни стандартизовані в міжнародному масштабі. Найбільш уживана корекція «А». Коригований рівень звукового тиску ($L_A = L_p - \Delta L_A$) називається рівнем звуку і вимірюється в дБА.

При дослідженні шумів весь діапазон частот розбивають на смуги частот і визначають потужність процесу, що припадає на кожну смугу.

Найчастіше використовують октавні ($f_2/f_1 = 2$) і 1/3-октавні ($f_2/f_1 = 2^{1/3}$) смуги частот, де f_2 і f_1 - верхня і нижня граничні частоти відповідно. При цьому як частота, що характеризує смугу в цілому, береться середньгеометрична частота f :

$$f = \sqrt{f_2 f_1}.$$

Наприклад, октавну смугу (22,4...45) Гц виражає середньгеометрична частота 31,5 Гц; (45 ... 90) Гц - 63 Гц; (90 ... 180) Гц - 125 Гц; (180 ... 355) Гц - 250 Гц; (355...710) Гц - 500 Гц і т. д.

У результаті сформовано стандартний ряд з 9 октавних смуг із середньгеометричними частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц.

Шуми класифікуються:

- характером спектра на широкосмуговий шум – з безперервним спектром шириною більше однієї октави; тональний шум – у спектрі якого є виражені дискретні (тональні) складові (перевищення рівня звукового тиску в одній смузі над сусідніми не менше ніж на 10дБ);
- за тимчасовими характеристиками на постійний шум – рівень звуку якого за 8-годинний робочий день (робочу зміну) змінюється у часі не більше ніж на 5 дБА; непостійний шум – рівень звуку якого за 8-годинний робочий день (робочу зміну) змінюється у часі більш ніж на 5дБА.

Непостійний шум поділяється на:

- шум, що коливається – рівень звуку якого безперервно змінюється в часі;
- переривчастий шум – рівень звуку якого змінюється в часі ступінчасто (на 5 дБА і більше), причому тривалість інтервалів, протягом яких рівень залишається постійним, становить 1с і більше;
- імпульсний шум – що складається з одного або декількох звукових сигналів кожен тривалістю менше 1с.

Інтенсивний виробничий шум може стати причиною таких професійних захворювань, як туговухість або глухота.

Крім того, у працівників, які щодня перебувають під його впливом:

- знижується продуктивність праці;
- ослаблюється увага та уповільнюється реакція, спостерігається запаморочення, дратівливість, знижується працездатність, гострота зору;

- зростає кров'яний тиск, змінюється ритм дихання та серцевої діяльності, порушується працездатність клітин кори головного мозку тощо.

Звичним для людини є шумовий фон з рівнем звукового тиску в частотах 15-35 децибел (дБ). При збільшенні рівня звукового тиску до 40-70 дБ спостерігається деяке зниження продуктивності праці та погіршення самопочуття (голосна музика, шум технічного устаткування та інше).

Рівень звукового тиску в межах 75-120 дБ спричиняє враження органів слуху і серцево-судинної системи.

Постійний шум з рівнем звукового тиску понад 120 дБ може призвести до акустичної травми (значне зниження слуху).

Неспецифічний вплив шуму позначається на функціях центральної нервової системи – аж до епілептиформних нападів; травної системи – аж до виразкової хвороби; серця – до інфарктів міокарду; судин – до гострого порушення кровообігу у міокарді, мозку, підшлункової залози та інших органів.

Шум здатний збільшувати вміст в крові таких гормонів стресу, як кортизол, адреналін, норадреналін – навіть під час сну.

Чим довше ці гормони присутні у кровоносній системі, тим вище ймовірність, що вони приведуть до небезпечних для життя фізіологічних проблем. Серцево-судинні захворювання можуть виникати, якщо людина постійно ночами піддається впливу шуму гучністю 50дБ або вище.

Під впливом сильного шуму, особливо високочастотного, у органі слуху відбуваються незворотні зміни (специфічний вплив шуму). При високих рівнях шуму слухова чутливість падає вже через 1-2 роки, при середніх – виявляється набагато пізніше, через 5-10 років, тобто зниження слуху відбувається повільніше, туговухість розвивається поступово.

Те, як проявляються патологічні зміни в організмі, які спричинив шум, залежить від його параметрів (інтенсивність і частотний склад), стажу роботи, тривалості дії протягом робочого дня, індивідуальної чутливості організму, поєднання з іншими професійними чинниками.

Серед численних проявів впливу шуму на організм можна виділити зниження розбірливості мови, неприємні відчуття, розвиток втоми та зниження продуктивності праці та, нарешті, поява шумової патології (глухості). Професійне зниження слуху відноситься до нейросенсорної приглухуватості.

Розвиток хронічної професійної приглухуватості – процес тривалий та поступовий.

Зниження слуху на 10 дБ практично невідчутно, на 20 дБ ледь помітно. Тільки втрата слуху більш ніж на 20 дБ починає серйозно заважати людині, особливо якщо до цього додаються вікові зміни слуху.

Суб'єктивне відчуття зниження слуху настає принаймні прогресування процесу, коли зниження сприйняття зачіпає область звукових частот 500,1000, 2000 Гц. Воно зазвичай розвивається повільно і поступово збільшується зі стажем роботи у цій професії.

Подальший розвиток професійної приглухуватості характеризується розширенням ушкодження звукосприйняття по всьому діапазону звукових частот.

При дії інтенсивного шуму зміни з боку нервової системи значно більш виражені та передують розвитку патології органу слуху.

У робітників переважають скарги на головні болі, несистематичні запаморочення, зниження пам'яті, підвищену стомлюваність, емоційну нестійкість, порушення сну, серцебиття та біль у ділянці серця, зниження апетиту та ін.

Шум викликає зниження імунологічної реактивності, загальної резистентності організму у робочих шумових професій, що проявляється у підвищенні рівня захворюваності з тимчасовою втратою працездатності в 1,2-1,3 рази зі збільшенням рівня виробничого шуму на 10 дБ.

Це притаманно умов енергетичних підприємств, де вплив шуму на організм людини супроводжується дією інших несприятливих чинників виробничого середовища (вібрації, температури, шкідливих речовин), які

посилюють шкідливий вплив шуму на організм. Загальна захворюваність робочих шумних цехів загалом на 25 % вище захворюваності робочих малошумних цехів.

Заходи боротьби з шумом можуть бути технічними, архітектурно-планувальними, організаційними та медико-профілактичними.

За допомогою технічних засобів боротьба з шумом ведеться за трьома основними напрямками:

- усунення причин виникнення шуму або зниження його в джерелі освіти за рахунок конструктивних, технологічних та експлуатаційних заходів;
- зниження шуму на шляху його поширення від джерела до робочих місць;
- безпосередній захист працівника або групи робітників.

Найбільш ефективним засобом зниження шуму є заміна галасливих технологічних операцій на малошумні або безшумні. Однак такий спосіб боротьби з шумом не завжди можливий, тому велике значення має зниження їх у джерелі.

Цього можна домогтися удосконаленням конструкції або схеми установки, що робить шум, зміною режиму її роботи, використанням в конструкції матеріалів з пониженими акустичними властивостями, обладнанням на джерелі шуму додаткових звукоізолюючих пристроїв або огорож, розташованих по можливості ближче до джерела.

Зниження шуму шляху його поширення джерела значною мірою досягається проведенням будівельно-акустичних заходів.

Як правило, вибір індивідуального захисту обумовлюється видом та характеристикою шуму на робочому місці, зручністю його використання при виконанні конкретної робочої операції, кліматичними умовами та іншими чинниками.

До методів зниження шуму на шляху його поширення відноситься застосування:

- кожухів;

- екранів;
- вигородок;
- кабін спостереження (при дистанційному управлінні);
- звукоізолюючих перегородок між приміщеннями;
- звукопоглинаючих облицювань;
- глушників шуму;
- засобів, що забезпечують зниження передачі вібрації від обладнання віброізоляцією та вібропоглинанням.

Зокрема, застосування вушних вкладок допустимо при рівнях звуку не вище 100 дБ, навушників — 110 дБ, шоломів — 120 дБ.

При рівнях шуму вище 120 дБ рекомендується одягати, крім шоломів, шумозахисний комбінезон, пояс і черевики.

Сутність звукоізоляції полягає в тому, що більшість звукової енергії відбивається від перешкоди, частина енергії поглинається самою перепорою і лише незначна її частина проникає за огорожу. Як звукоізолюючі перепони використовуються акустичні екрани, кожухи, кабінки.

Значний ефект зниження шуму обладнання дає застосування акустичних екранів (рис. 4.2 та рис. 4.3), що захищають шумний механізм або джерело шуму від робочого місця або зони обслуговування машини.

Вони можуть встановлюватися як поблизу джерела, і біля робочого місця. Дія акустичного екрану заснована на відображенні звукових хвиль та освіті за екраном області звукової тіні.

Ефект екранного захисту проявляється найбільш помітно лише в області високих і середніх частот і менш ефективний в області низьких частот через значну дифракцію довгих хвиль, які можна порівняти або більше лінійних розмірів екрану.

Акустична обробка шумних приміщень може забезпечити зниження шуму в зоні відбитого звукового поля на 10-12 дБ та в зоні прямого звуку до 4-5 дБ в октавних смугах частот.

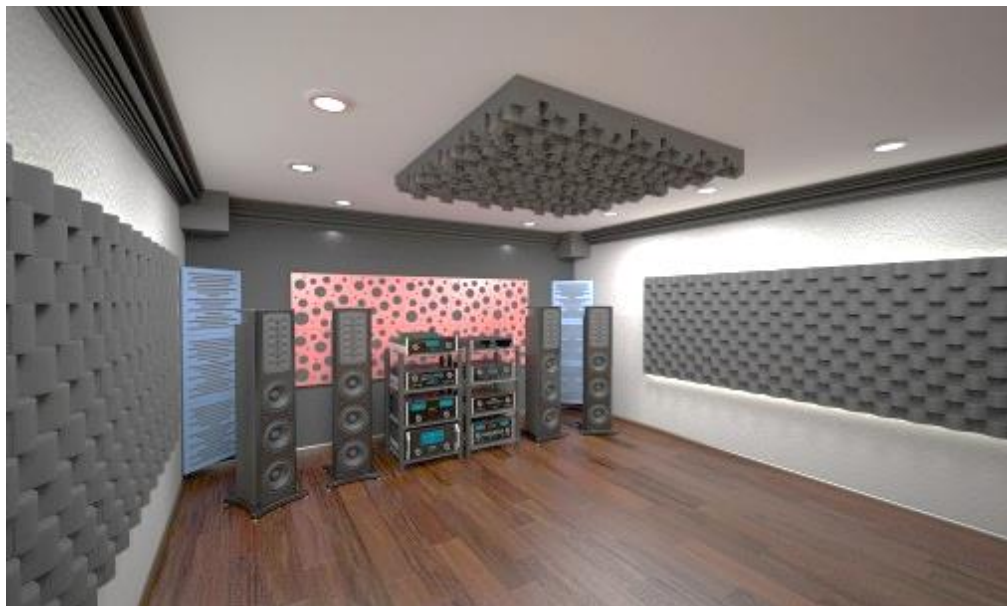


Рисунок 4.2 – Акустичний екран

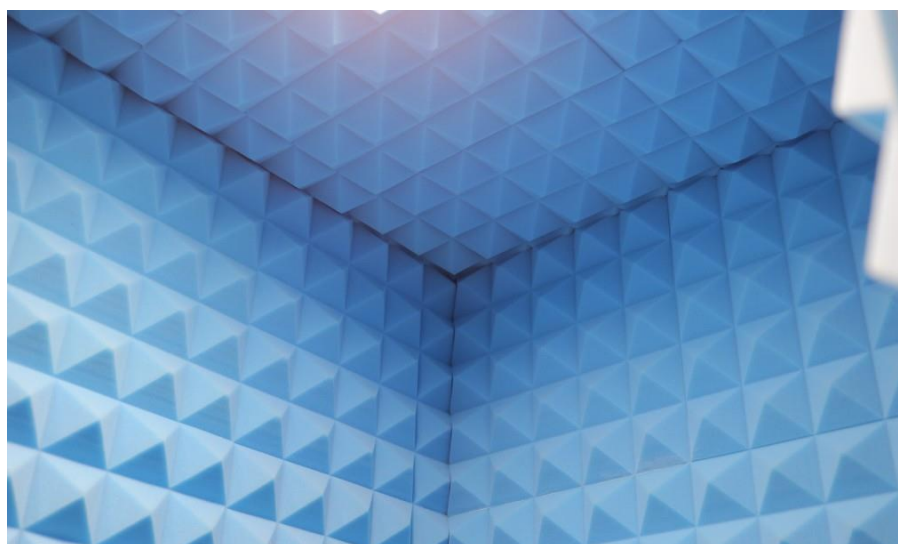


Рисунок 4.3 – Акустичний екран для кімнати

Звукоізолюючі кожухи (рис. 4.4), що є одним із найпростіших технічних засобів боротьби з шумом на шляхах передачі, можуть закривати окремий шумний вузол машини або весь агрегат загалом. Кожухи з листового металу з внутрішнім облицюванням звукопоглинаючим матеріалом можуть знижувати шум на 20-30 дБ.

Високу звукоізолюючу ефективність кожуха досягають тільки у разі відсутності щілин і отворів, при ретельній віброізоляції кожуха від фундаменту і трубопроводів.

Як матеріал для виготовлення обшивки кожуха використовуються сталь, алюмінієві сплави, фанера, ДСП, склопластик. Звукоізолююча здатність кожуха визначається фізичними параметрами матеріалів та конструктивними розмірами його елементів.



Рисунок 4.4 – Звукоізоляційні кожухи

Звукозахисні кабінки, що є локальними засобами шумозахисту, встановлюються на автоматизованих лініях біля постів управління там, де можна на тривалий термін ізолювати людину від джерела шуму.

Виготовляють кабінки зі сталі, ДСП і т. д. Вікна та двері кабінки повинні мати спеціальне конструктивне оформлення.

Вікна з подвійним склом по всьому периметру закладаються гумовою прокладкою, двері виконуються подвійними з гумовими прокладками по периметру для виключення утворення щілин. Зовнішній вигляд звукозахисної кабінки показано на рис. 4.5.



Рисунок 4.5 – Звукозахисна кабіна

Звукопоглинання. Одним із методів будівельної акустики є використання шумопоглинаючих конструкцій або матеріалів, якими облицьовують стелі та стіни приміщень. Процес поглинання звуку в матеріалі відбувається за рахунок переходу звукової енергії в теплову в результаті в'язкого тертя повітря в порах матеріалу. Звуковбирні матеріали за своєю структурою є пористими. До них слід віднести пінопласт, поролон, технічну повсть, мінеральну вату, керамзит, гіпсові плити та ін. Застосування звукопоглинаючих облицьовань для обробки стелі та стін шумних приміщень призводить до зміни спектру шуму у бік нижчих частот, що навіть за відносно невеликого зниження рівня суттєво покращує умови праці.

Звукопоглинаючі матеріали для облицьовання стін та стелі приміщень повинні:

- мати досить високий коефіцієнт звукопоглинання в необхідному діапазоні частот;
- мати довговічність, що відповідає довговічності будівлі;
- не виділяти шкідливих для здоров'я пилу та газів, а також неприємних запахів;
- мати малу гігроскопічність;

- бути негорючими.

Вибір типу звукопоглинаючого матеріалу, його товщини та конструктивне виконання визначаються насамперед частотами, на яких необхідно зменшити інтенсивність шуму, а також низку технологічних та протипожежних вимог.

До звукопоглинаючих матеріалів відносять ті, які мають коефіцієнт звукопоглинання не менше 0,4. Вважається, що найбільш люди спокійно себе почувають при шумі у 25 дБ, якщо ж його значення буде нижче цієї величини, то виникає відчуття дзвінкій тиші, яку несе дискомфорт. Максимальна величина зниження рівня шуму за допомогою звукопоглинаючих облицювань в зоні відбитого звуку досягає 8-10 дБ в області низьких і 10-12 дБ в області високих частот. Звукопоглинаючі матеріали зображено на рис. 4.6.



Рисунок 4.6 – Звукопоглинаючі матеріали

На робочих місцях, де не вдається досягти зниження шуму до допустимих рівнів технічними засобами або де це недоцільно з техніко-економічних міркувань, слід застосовувати засоби індивідуального захисту від шуму (ЗІЗ). Ефективність індивідуальних засобів захисту може бути забезпечена їх правильним підбором залежно від рівнів та спектру шуму, а також контролю за умовами їх експлуатації. Ефект застосування ЗІЗ особливо помітний у робітників

з малим стажем роботи в галасливих умовах, коли втрата слуху невелика. ЗІЗ сприяє як профілактиці захворювань, безпосередньо чи опосередковано пов'язані з впливом інтенсивного шуму (глухість, шумова хвороба, порушення з боку нервової, серцево-судинної систем та інших.), а й поліпшенню працездатності людини.

ЗІЗ залежно від конструктивного виконання діляться на:

- протишумні навушники;
- протишумні вкладиші;
- протишумні шоломи та каски;
- протишумні костюми.

Навушники закривають вушну раковину зовні. Вкладиші перекривають зовнішній слуховий прохід або прилягають до нього. Шоломи та каски закривають частину голови та вушну раковину.

Вкладиші виготовляються з м'яких еластичних матеріалів гуми, пластмас, різного волокна. Їх вводять безпосередньо у зовнішню (хрящову) частину слухового проходу і залишають без додаткових засобів підтримки.

При правильному положенні вкладиша повітряний об'єм між ним та барабанною перетинкою повинен становити приблизно 0,5 см³ при поперечному перерізі слухового проходу в його кістковій частині 0,5 см². У цьому випадку замкнута порожнина зовнішнього слухового проходу разом з барабанною перетинкою є резонатором, частота власних коливань якого становить приблизно 1300 Гц. Зовнішній вигляд вкладишів надано на рис. 4.7.



Рисунок 4.7 – Протишумні вкладиші

За наявності захворювань шкіри зовнішнього слухового проходу користуватися вкладками будь-якого типу протипоказано. У цьому випадку слід використовувати навушники.

Навушники складаються з двох корпусів та оголов'я. Корпуси виготовляють із пластмаси або металу, а всередині них для підвищення ефективності поміщають шар звукопоглинаючого матеріалу.

Для забезпечення щільного прилягання навушника до привушної поверхні на стороні корпусу, зверненої до голови, встановлюють м'які ущільнювачі, виконані з тонкої плівки у вигляді порожнистих камер, заповнених гліцерином, вазеліном, силіконовим маслом або пористим еластичним матеріалом. Протишумні навушники зображені на рис. 4.8.

Навушники мають більшу ефективність, ніж вкладиші, в області середніх і високих частот. Навушники частіше застосовують у тих випадках, якщо потрібне їх періодичне використання.



Рисунок 4.8 – Протишумні навушники

Шоломи закривають більшу частину голови і захищають її не тільки від шуму, а й від забитих місць, холоду та ін.

Вони повинні щільно облягати привушну область і всю голову, тому їх виготовляють різних розмірів.

Шоломи доцільно застосовувати захисту людини від особливо інтенсивного шуму, що він сприймається як безпосередньо органом слуху, а й проникає в організм внаслідок кісткової провідності через кістки черепа. Протишумний шолом показано на рис. 4.9.

У комплексі заходів із захисту людини від несприятливої дії шуму певне місце посідають медичні засоби профілактики. Найважливіше значення має проведення попередніх та періодичних медичних оглядів.



Рисунок 4.9 – Протишумний шолом

ВИСНОВКИ

В даній роботі було розглянуто засоби побудови акустичних систем з високою вірністю просторової картини. Також проаналізовано технічні характеристики високочастотних динаміків 2ГД36, 3ГД-2 та середньочастотних динаміків 4ГД-6, 15ГД-11 Б, 25ГДШ-1а-4.

Було експериментально досліджено амплітудно частотні характеристики для динаміків високочастотної ланки 2ГД36, 3ГД-2 та динаміків середньочастотної ланки 4ГД-6, 15ГД-11 Б, 25ГДШ-1а-4. Серед них було обрано динаміки для експериментальних досліджень за кращими характеристиками. Також було побудовано діаграми спрямованості за отриманими даними.

З точки зору акустики, будь-яке приміщення – це резонатор, що впливає на звучання. Щоб розкрити потенціал колонок, їх потрібно правильно розташувати. Саме від правильності тенденції створення акустичної системи з декількома динаміками, а також від кількості смуг залежить якість відтворення різних частотних звукових діапазонів. У даному варіанті є три динаміки. Один відтворює середні частоти, інші два – високі.

Побудовано сумарні діаграми спрямованості для динаміків середньочастотного 15ГД-11 Б та двох високочастотних 3ГД-2 з розворотом під кутом 30° . Також за необхідними критеріями обрано найбільш наближений варіант до приплюснutoї овальної діаграми спрямованості без значного провалу та зі згладженими лініями – це сприяє покращенню якісної картини, що в свою чергу впливає на достовірність звуковідтворення.

Тобто, з усіх розглянутих отриманих результатів дослідження сумарних діаграм спрямованості динаміків середньочастотного 15ГД-11 Б та двох високочастотних 3ГД-2 з розворотом під кутом 30° , можна окремо виділити сумарну діаграму спрямованості на частотах 8000-14000 Гц. Саме за рахунок розташування високочастотних динаміків під кутом 30° відносно середньочастотного динаміка було розширено зону бокових пелюсток. За

рахунок об'єднання діаграм спрямованості високочастотного динаміка ЗГД-2 на частотах 8000-14000 Гц сумарна діаграма спрямованості не має провалу в середині.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Вычислительные методы в проектировании радиоэлектронной аппаратуры Попов А. В., Васильева И. К. – Учебное пособие. - Харьков: Национальный аэрокосмический университет, 2011. - 90с. (31.10.22)
2. Зайцева Ж. И., Неделяева А. В., Кирилов И. С. Исследование низкочастотных и высокочастотных порогов звуковосприятия в разновозрастных группах // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-1 (02.11.22)
3. Характеристики акустичних систем. Интернет ресурс «hitonline.ua». – Режим доступу: <https://hitonline.ua/articles/zvukovoe-oborudovanie/harakteristiki-akusticheskikh-sistem.html> (03.11.22)
4. Вахитов Я. Ш., Смирнова Н.А. Електродинамічні гучномовці. Розрахунок і проектування. Л.: 2004 – 184с. (04.11.22)
5. Акустичні та фізіологічні характеристики звуку. Интернет ресурс «subject.com». – Режим доступу: https://subject.com.ua/textbook/physics/9klas_3/46.html (04.11.2022)
6. Акустична система Technics SB-8000. Интернет ресурс «ldsound.info». – Режим доступу: <https://ldsound.info/technics-sb-8000.html> (06.11.22)
7. Акустична система JBL 4350. Интернет ресурс «hifi-solution.com». – Режим доступу: <https://hifi-solution.com/en/vintage/572-jbl-4350-studio-monitor.html> (06.11.22)
8. Рупорна акустична система JBL Studio Monitor 4429. Интернет ресурс «moyo.ua». – Режим доступу: <https://www.moyo.ua/ua/akusticheskaja-sistema-jbl-studio-monitor-4429/196768.html> (06.11.22)
9. Mirage Omnisat Micro 6: п'ять сателітів з круговою діаграмою спрямованості та активний сабвуфер. Интернет ресурс «ixbt.com». – Режим доступу: <https://www.ixbt.com/dvd/mirage-omnisat-micro.shtml> (06.11.22)
10. Всенаправлений динамік Duevel Sirius. Интернет ресурс «soundandvision.com». – Режим доступу: <https://www.soundandvision.com/content/duevel-sirius-omnidirectional-speaker> (07.11.22)
11. Акустична система Bowers & Wilkins DM6. Интернет ресурс «ldsound.info». – Режим доступу: <https://ldsound.info/bowers-wilkins-dm6/> (07.11.22)
12. Технічні характеристики динаміка 2ГД-36. Интернет ресурс «ldsound.info». – Режим доступу: <https://ldsound.info/3-gdv-1-4-2-gd-36> (07.11.22)

13. Технічні характеристики ВЧ динаміка 3ГД-2. Інтернет ресурс «ldsound.info». – Режим доступу: <https://ldsound.info/3-gd-2> (09.11.22)
14. Динамік 15 ГД-11Б Інтернет ресурс «ldsound.info». – Режим доступу: <https://ldsound.info/20-gds-11-8-15-gd-11b> (09.11.22)
15. Динамік 25ГДШ-1а-4. Інтернет ресурс «ldsound.info». – Режим доступу: <https://ldsound.info/25-gds-1a-4> (09.11.22)
16. Технічні характеристики динаміка 4ГД-6. Інтернет ресурс «ldsound.info». – Режим доступу: <https://ldsound.info/4-gdv-6> (09.11.22)
17. Борщ А.А., Мушкет А.В., Олійник В.М. Дослідження просторових характеристик високочастотної ланки акустичної системи з акустичною лінзою. – IV Міжнародна наукова-практична конференція «Інформаційні системи та технології в медицині» (ІСМ-2021) [Текст]: зб. наук.пр. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2020. – с. 209-210. (10.11.22)
18. ГОСТ 12090-80. Государственный стандарт. Частоты для акустических измерений. Предпочтительные ряды. Введен с 01.01.1981 (10.11.22)
19. Вичислювальні методи в проектуванні радіоелектронної апаратури Попов А.В., Васильєва І.К. - Навчальний посібник. - Харків: Національний аерокосмічний університет, 2011. - 90с. (17.11.22)
20. Основні засоби захисту від шуму та вібрацій. Інтернет ресурс «pro-op.com.ua». – Режим доступу: <https://pro-op.com.ua/article/1071-zasobi-zahistu-vd-shumu-vbrats> (27.11.22)

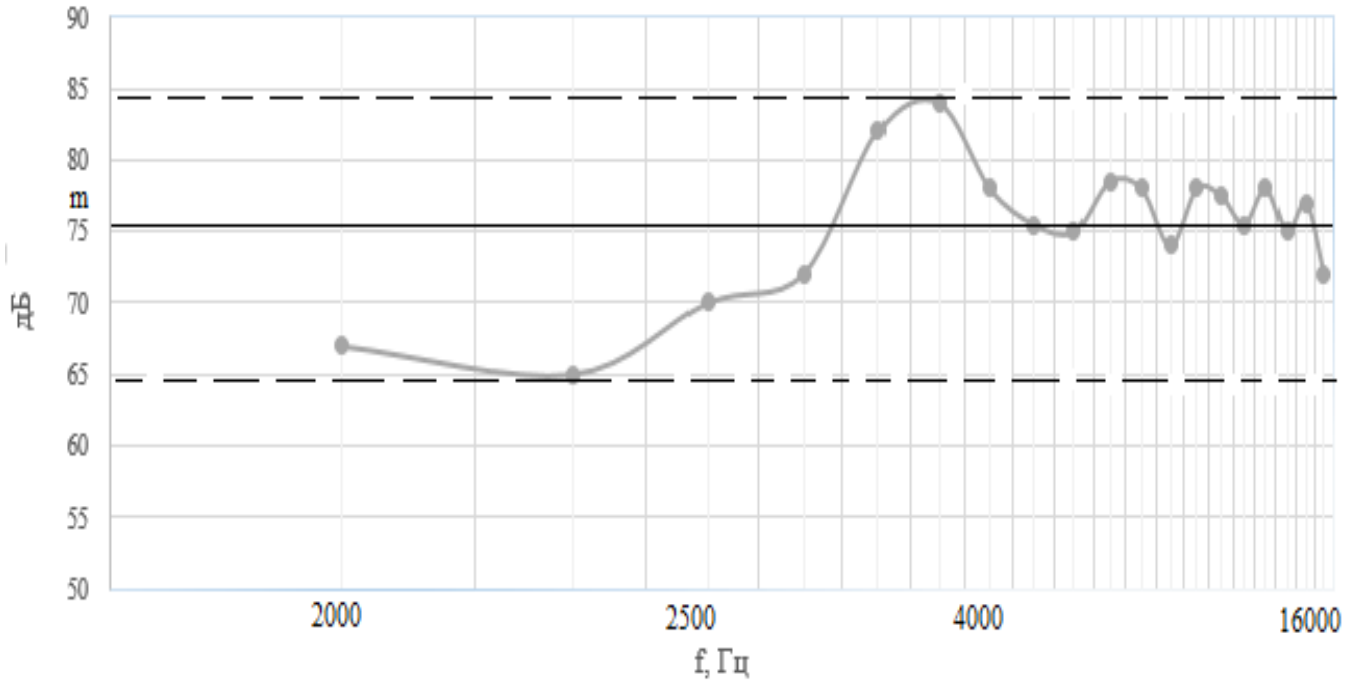
ДОДАТОК А

Плакат Зовнішній вигляд вимірювального станду



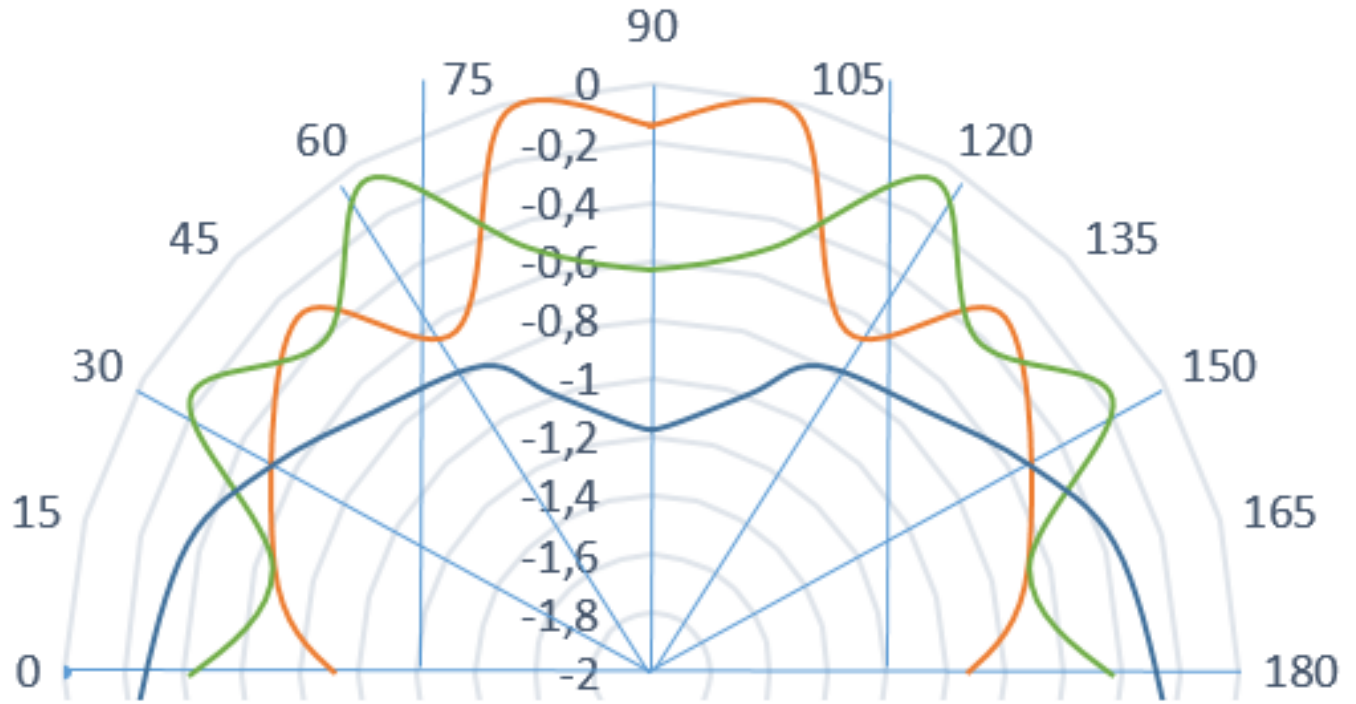
ДОДАТОК Б

Плакат амплітудно частотної характеристики високочастотного динаміка ЗГД-2



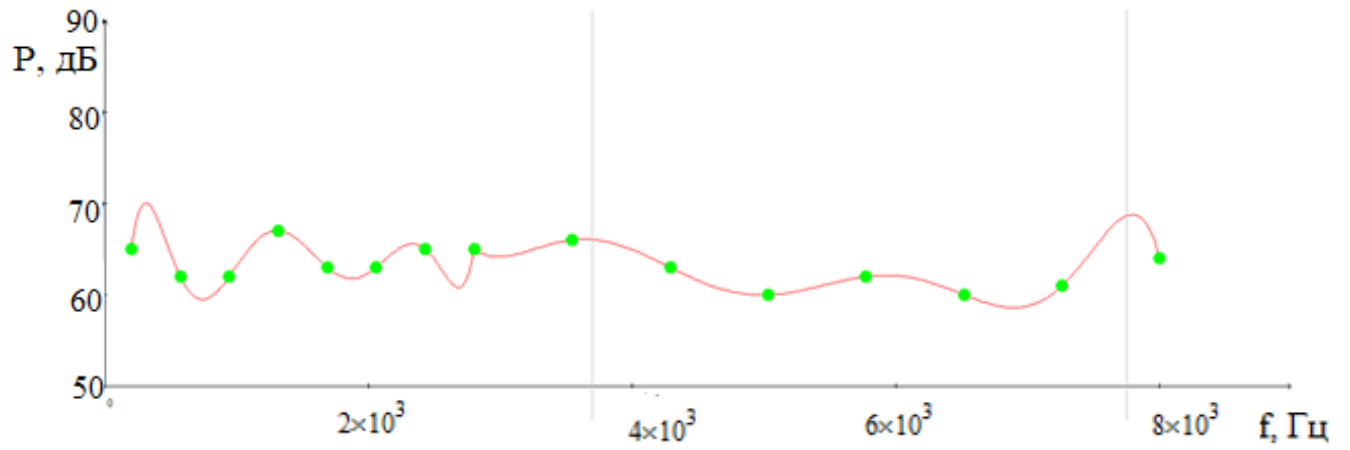
ДОДАТОК В

Плакат діаграми спрямованості високочастотного динаміка ЗГД-2



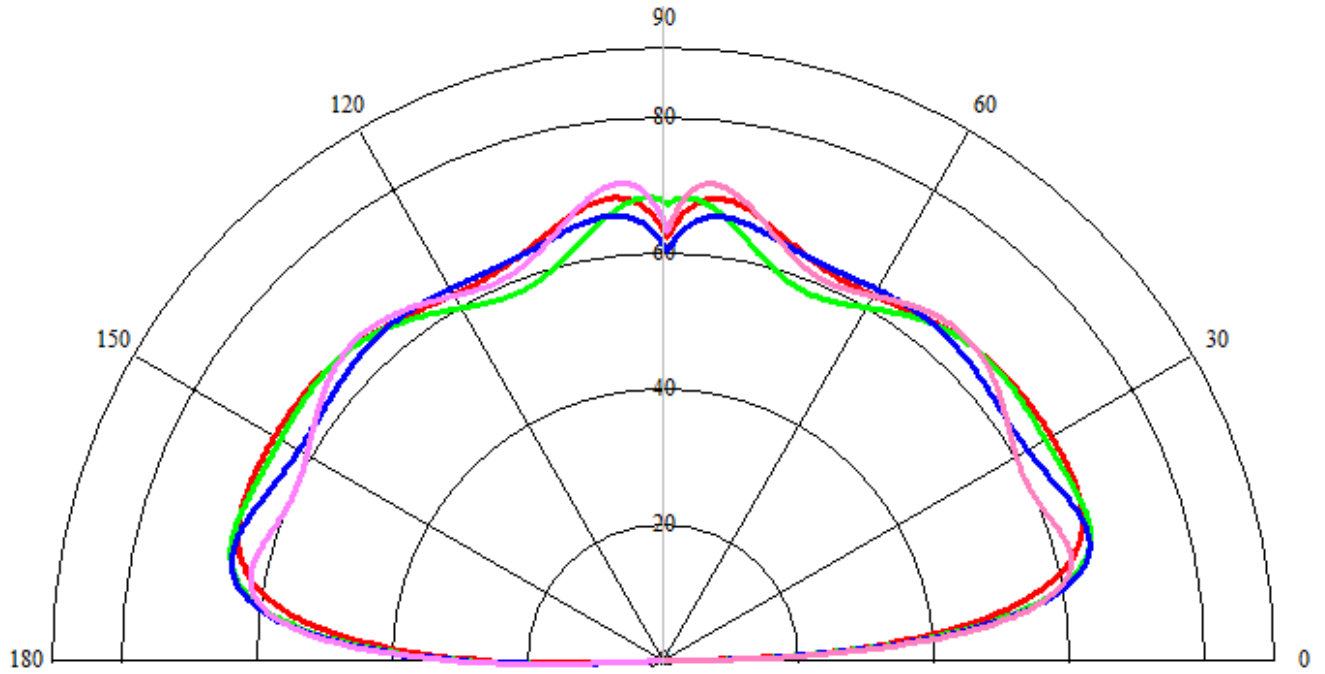
ДОДАТОК Г

Плакат амплітудно частотної характеристики середньочастотного динаміка
15ГД-11 Б



ДОДАТОК Д

Плакат діаграми спрямованості середньочастотного динаміка 15ГД-11 Б



ДОДАТОК Е

Плакат сумарної діаграми спрямованості акустичної системи
середньочастотного динаміка 15ГД-11 Б та двох високочастотних динаміків
ЗГД-2

