

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

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

Факультет радіоелектроніки, комп'ютерних систем та інфокомунікацій

Кафедра радіоелектронних та біомедичних комп'ютеризованих
засобів і технологій

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему **«Дослідження та оптимізація основних параметрів сабвуферів»**

ХАІ.502.560М.23О.172.1805007 ПЗ

(№ залікової книжки)

(шифр)

Виконав: студент 2 курсу групи 560М
Галузь знань 17 «Електроніка та
телекомунікації»

Спеціальності 172 «Телекомунікації та
радіоелектроніка»

Освітньої програми: «Радіоелектронні
комп'ютеризовані засоби»

Тимченко Д. О.

(Прізвище й ініціали студента)

Керівник: Ломоносов Ю. В.

(Прізвище й ініціали)

Рецензент: Невлюдов І. Ш.

(Прізвище й ініціали)

Харків – 2024

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет Радіоелектроніки, комп'ютерних систем та інфокомунікацій
(повне найменування)

Кафедра Радіоелектронних та біомедичних комп'ютеризованих засобів і технологій
(повне найменування)

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіоелектроніка»
(код та найменування)

Освітня програма «Радіоелектронні комп'ютеризовані засоби»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олена ВИСОЦЬКА

(підпис)

« 23 » 10 2023 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Тимченко Денис Олександрович

(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи) «Дослідження та оптимізація основних параметрів сабвуферів»

та керівник кваліфікаційної роботи доцент, к.т.н. Ломоносов Ю. В

затверджені наказом Університету № 1873-уч від «10» жовтня 2023 року

2. Термін подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи 25.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: діапазон робочої частоти від 20-40 Гц до 120 Гц; номінальна потужність – до 100 Вт; мінімальний рівень опору навантаження - 4 Ом; спроектувати й дослідити систему з мінімальними габаритами та найбільшою зауковіддачею.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розв'язати).

1 Аналітичний огляд засобів побудови сабвуферів.

2 Метод та засоби розробки та дослідження параметрів сабвуфера.

3 Дослідження параметрів сабвуфера в залежності від акустичного оформлення та оптимізація його параметрів.

4 Розробка стартап-проєкту на впровадження сабвуфера в корпусі малого об'єму.

5. Перелік графічного матеріалу із значенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів):

5.1 Акустичне оформлення закрита скринька (плакат, формат А4).

5.2 Акустичне оформлення фазоінвертор. (плакат, формат А4).

5.3 Різновиди дизайну корпусу програми BassBox 6 Pro (плакат, формат А4).

5.4 Залежність максимального амплітудного відгука сабвуфера форми корпусу «призма» об'ємом 20 л від акустичного оформлення (плакат, формат А4).

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1 - 4	доц. Ломоносов Ю. В.	23.10.2023	

Нормоконтроль _____ Олійник В. М. « 11 » січня 2024 р.
(підпис) (ініціали та прізвище)

7. Дата видачі завдання « 23 » 10. 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
1	Аналітичний огляд засобів побудови сабвуферів	21.10.23 - 31.10.23	
2	Метод та засоби розробки та дослідження параметрів сабвуфера	01.11.23 - 19.11.23	
3	Дослідження параметрів сабвуфера в залежності від акустичного оформлення та оптимізація його параметрів	20.11.23 - 01.12.23	
4	Розробка стартап-проєкту на впровадження сабвуфера в корпусі малого об'єму	02.12.23 - 13.12.23	
5	Оформлення записки та графічних матеріалів	14.12.23 - 24.12.23	
6	Подання матеріалів роботи на перевірку та усунення зауважень	25.12.23 - 26.12.23	
7	Передзахист роботи	За графіком	
8	Захист роботи	За графіком	

Здобувач вищої освіти _____ Тимченко Д.О.
(підпис)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Ломоносов Ю. В.
(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра : 126 с. , 82 рис., 22 табл., 4 дод., 17 джерел.

АМПЛІТУДНО-ЧАСТОТНА ХАРАКТЕРИСТИКА, ДРАЙВЕР, ЗВУКОВИЙ ТИСК, КРИТЕРІЙ ЕФЕКТИВНОСТІ, МІНІМАЛЬНИЙ ОБ'ЄМ, НЕРІВНОМІРНІСТЬ, ПАРАМЕТРИ ТІЛЯ-СМОЛЛА, САБВУФЕР, ФАЗОІНВЕРТОР.

Об'єкт дослідження - низькочастотна ланка акустичної системи та його параметри.

Мета роботи - дослідження та оптимізація характеристик сабвуферів.

Предметом дослідження є засоби та методи проектування й оптимізації характеристик сабвуферів при дії обмежувальних параметрів.

Методи дослідження – аналітичний метод, дослідження амплітудно-частотних та інших характеристик акустичних систем за допомогою комп'ютерної симуляції програмними засобами.

В ході дослідження виявлені проблеми, що виникають на ранніх етапах проектування пристрою, проводиться пошук рішень й розроблено метод порівняння конкуруючих компонувальних рішень в залежності від багатьох різноманітних факторів, що в свою чергу дозволить дати практичні рекомендації для побудови акустичної системи з потрібними для конкретного приміщення і замовника параметрами перед створенням макета, що дозволяє суттєво скоротити матеріальні витрати та час від етапу проектування до виробництва сабвуфера.

Дослідницька робота може бути корисною для фахівців, що спеціалізуються у галузі проектування та виробництва акустичних систем помірної та великої потужності.

ABSTRACT

Explanatory note to the qualification work of the Master: 126 pages, 82 figures, 22 tables, 4 appendices, 17 sources.

BASS REFLEX, DRIVER, EFFICIENCY CRITERION, FLATNESS, FREQUENCY RESPONSE, MINIMUM VOLUME, SOUND PRESSURE, SUBWOOFER, THIEL-SMALL PARAMETERS.

The object of study - low-frequency link of the acoustic system and its parameters.

The purpose of the work is to research and optimize the characteristics of subwoofers.

The subject of the study is the means and methods of designing and optimizing the characteristics of subwoofers under the influence of limiting parameters.

Research methods – analytical method, research of frequency response and other characteristics of acoustic systems using computer simulation software.

In the course of the research, problems arising at the early stages of device design are identified, solutions are sought, and a method of comparing competing structural solutions is developed depending on many different factors, which in turn will allow giving practical recommendations for building an acoustic system with those required for a specific room and customer parameters before creating a layout, which allows you to significantly reduce material costs and time from the design stage to the production of a subwoofer.

Research work can be useful for specialists specializing in the field of design and production of acoustic systems of small and high power.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

НЧ – низька частота

СЧ – середня частота

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика

ФЧХ - фазо-частотна характеристика

ЗС – закрита скринька

ФІ - фазоінвертор

RMS - Rated Maximum Sinusoidal power - максимальна синусоїдальна потужність

PMPO - Peak Music Power Output - пікова музична потужність

SPL - Sound Pressure Level - максимальний звуковий тиск

DSP - Digital Signal Processing – цифрова обробка сигналів

ДСП - деревностружкова плита

ДВП - деревноволокниста плита

ГЧЗ - груповий час затримки

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЗАСОБІВ ПОБУДОВИ САБВУФЕРІВ	13
1.1 Устрій електродинамічної головки гучномовця	13
1.2 Акустичне оформлення сабвуферів.....	19
1.3 Характеристики сабвуфера в залежності від акустичного оформлення.....	31
1.4 Активні та пасивні сабвуфери.....	33
1.5 Основні характеристики сабвуферів	34
1.5 Основні характеристики сабвуферів	34
1.6 Параметри Тіля-Смолла для розрахунку акустичного оформлення сабвуфера	39
1.7 Особливості розміщення сабвуферів	42
1.8 Екстремальні сабвуфери.....	47
1.9 Висновки за розділом.....	50
2 МЕТОД ТА ЗАСОБИ РОЗРОБКИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ САБВУФЕРА	52
2.1 Програми для розрахунку корпусу сабвуфера	52
2.1.1 Програма розрахунку компанії JBL	52
2.1.2 Програма розрахунку компанії Харріс Технолоджіс	55
2.1.3 Програма розрахунку Speaker Box Lite від О. Абдуліна.....	58
2.1.4 Програма розрахунку BassPortMaster від Е. Міцкевича.....	59
2.1.5 Програма розрахунку Subwoofer Enclosure Design Software.....	59
2.1.6 Пакет програм компанії Tolvan Data	60
2.2 Вимірювання параметрів Тіля-Смолла динаміка за допомогою комп'ютера	63
2.3 Деякі аспекти акустичного оформлення сабвуферів	65
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ САБВУФЕРА В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД АКУСТИЧНОГО ОФОРМЛЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ЙОГО ПАРАМЕТРІВ	68
3.1 Обмеження, що накладаються на розраховані параметри сабвуфера.....	70
3.1.1 Максимально допустима швидкість потоку повітряного порта при акустичному оформленні «фазоінвертор»	70
3.1.2 Максимальний лінійний хід дифузора динаміка сабвуфера	75
3.1.3 Груповий час затримки сабвуфера	78
3.2 Інтегральний параметр якості сабвуфера	79
3.3 Дослідження параметрів сабвуфера	80

3.3.1 Дослідження залежності параметрів сабвуфера акустичного оформлення «закрита скринька» від форми корпусу	80
3.3.2 Дослідження залежності параметрів сабвуфера акустичного оформлення «фазоінвертор» з круглим повітряним портом від форми корпусу.....	83
3.3.3 Дослідження залежності параметрів сабвуфера акустичного оформлення «фазоінвертор» з круглим повітряним портом меншого діаметра від форми корпусу.....	86
3.3.4 Дослідження залежності параметрів сабвуфера акустичного оформлення «фазоінвертор» форми корпусу «куб» з круглим повітряним портом від діаметра порта	88
3.3.5 Дослідження залежності параметрів сабвуфера акустичного оформлення «фазоінвертор» форми корпусу «куб» з щілинним портом від ширини порта.....	91
3.3.6 Дослідження залежності параметрів сабвуфера форми корпусу «призма» акустичного оформлення «фазоінвертор» з щілинним повітряним портом від об'єма корпусу при незмінній площині основи.....	93
3.3.7 Дослідження залежності параметрів сабвуфера форми корпусу «призма» об'ємом 20 л від акустичного оформлення.....	97
3.3.8 Дослідження залежності параметрів сабвуфера акустичного оформлення «фазоінвертор» з щілинним повітряним портом об'ємом 20 л для різних динаміків фірми Тонсіл	101
3.4 Висновки та рекомендації щодо результатів дослідження параметрів сабвуфера.....	103
4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ НА ВПРОВАДЖЕННЯ САБВУФЕРА В КОРПУСІ МАЛОГО ОБ'ЄМУ	105
4.1 Технологічний аудит ідеї проєкту	106
4.2 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту	107
4.3 Розроблення ринкової стратегії проєкту вихідної потужності підсилювача	112
4.4 Розробка маркетингової програми стартап проєкту.....	114
4.5 Висновки по розділу	115
ВИСНОВКИ.....	116
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	118
Додаток А (Частотна залежність L_e).....	120
Додаток Б (Таблиця Б.1 – Результати досліджень параметрів сабвуферів при використанні динаміка Тонсіл GD 300/100).....	121
Додаток В (Параметри корпусу сабвуфера)	124
Додаток Г (Параметри драйверів сабвуферів).....	125

ВСТУП

Актуальність роботи. Сабвуфер (з англ. Subwoofer) - це акустична система, розроблена для відтворення ультранизких частот, а саме - від 5 Гц до 200 Гц. Зважаючи на те, що людина чує звук частотою не менше 16 Гц, а низькочастотні динаміки інших акустичних систем відтворюють звуки від 50 Гц, неважко зрозуміти, з якою метою були винайдені сабвуфери – для досягнення більш повного та точного звуку, для відчуття цього звуку навіть тілом.

Перші дослідження у цьому напрямі почав проводити ще Майкл Фарадей, який відкрив у 1831 році явище електромагнітної індукції. Через три десятиліття з'явився перший телефон, який для відтворення звуку використовував гучномовець.

Саме цей пристрій вважається прототипом усіх сучасних акустичних систем.

Однак перші колонки тоді ніхто не придумав: їх просто ні до чого було б підключити. Немає електроніки як такої, тому створення аудіо підсилювача відкладалося. Винахід, як і багато інновацій, відправили до «довгої скриньки».

Втім, цю технологію не забули і вивели на світ після створення першого лампового підсилювача. Десь тут відбувається розмежування акустичних систем на пасивні, що підключаються до зовнішнього підсилювача, та активні, обладнані вбудованим компонентом такого типу.

Після винаходу акустичного підсилювача, почався бурхливий розвиток колонок. 1924 року запатентовано принцип роботи електродинамічного випромінювача.

Пристрій, що використовував діафрагму та звукову котушку, майже не відрізняється від сучасних динаміків, які застосовуються не тільки в колонках для комп'ютерів або акустичних системах музичних центрів, а й у телевізорах, планшетах, смартфонах і т.д.

Попередником всіх відомих нам сьогодні таких пристроїв стала акустична система Radiola, випущена в 1926 році фірмою RCA. Вона була оснащена динамічною головкою прямого випромінювання, що мала рухливу котушку і відносно широкий діапазон частот, а також відрізнялась малими нелінійними спотвореннями.

Сучасні колонки своїм походженням зобов'язані американському винахіднику Едгару Вільчуру, який першим додумався посадити динамік у дерев'яну скриньку. У закритому ящику, де розташований електродинамічний випромінювач, є повітря, що виступає своєрідною подушкою. Саме його наявність дозволяє полегшити підвіску та знизити коливальне навантаження на динамік. Закритість динаміка від навколишнього повітря дозволила не тільки істотно збільшити якість звуку, що видається колонкою, а й у разі зменшити розміри пристрою.

Перша модель сабвуфера під назвою AR-1W з'явилася 1954 року, вона була продемонстрована американською компанією Acoustic Research. Система складалася з довгоходової динамічної головки, яка була поміщена у досить компактний корпус. Вона могла відтворювати частоти від 20 Гц.

1973 року з'явився перший високоякісний сабвуфер, який відтворював звук частотою від 20 Гц. У його конструкції використовувалися 22-сантиметрові магніти, а весь пристрій важив трохи більше 50 кг.

Великий попит на сабвуфери з'явився у 1978 році, коли було випущено 12-вольтові автомобільні підсилювачі звуку, призначені для створення стереоефекту. Щодо сьогоднішніх днів, то сабвуфер є невід'ємним атрибутом автовласника-меломана.

Протягом довгих років ультранизькочастотні динаміки розвивалися та вдосконалювалися, з'являлися все більш просунуті пристрої. Сабвуфери стали звичайною складовою кінозалів та домашніх віталень. Чим більше розвивався стереозвук, тим важливішими ставали ці акустичні системи. Причиною ставали нові музичні носії, які були наслідком виникнення сучасних форматів запису.

Створення правильної звукової атмосфери при прослуховуванні музики

або перегляді фільму неможливо без низькочастотної складової. Безліч музичних інструментів, як акустичних, так і електронних, грають в нижньому частотному регістрі, а більшість видовищних сцен в кіно створюються за допомогою низьких частот. Саме низькі частоти фонограми додають гучності, створюють відчуття музики, додають емоцій до відтворення решти спектра звукового випромінювання. Щоб відтворити їх правильно, потрібна спеціально підготовлена акустична система - сабвуфер. Саме тому дана робота присвячена дослідженню та оптимізації основних параметрів сабвуферів.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та оптимізація характеристик сабвуферів. Для досягнення поставленого завдання необхідно виконати наступне:

- проведення аналізу існуючих сабвуферів та технічні характеристики низькочастотних динаміків, виходячи зі сфери їх застосування;
- проведення аналізу акустичного оформлення сабвуферів, визначення граничних критеріїв при його побудові, виходячи з мінімізації звукових спотворень;
- визначення інтегрального параметра якості сабвуфера, який би враховував його основні оптимізовані параметри;
- проведення комп'ютерної симуляції запропонованих рішень програмними засобами;
- дослідити залежність параметрів від типу та акустичного оформлення корпусу сабвуфера;
- дослідити залежність параметрів сабвуфера від типу та розмірів повітряного порта;
- дослідити залежність параметрів обраних кращих варіантів від об'єма корпусу при однаковому акустичному оформленні з метою його мінімізації;
- підсумковий детальний аналіз кращих варіантів на основі інтегрального параметра якості та подальші рекомендації щодо їх реалізації.

Об'єктом дослідження є низькочастотна ланка акустичної системи та його параметри.

Предметом дослідження є засоби та методи проектування й оптимізації характеристик сабвуферів при дії обмежувальних параметрів.

Методи дослідження – аналітичний метод, теоретичні дослідження амплітудно-частотних та інших характеристик акустичних рішень та динаміків низькочастотної ланки акустичних систем за допомогою комп'ютерної симуляції програмними засобами.

Наукова новизна полягає в дослідженнях характеристик низькочастотної ланки акустичної системи при ряді обмежень, розробці інтегрального критерію оцінки акустичного оформлення для забезпечення максимального звукового тиску та рівномірної АЧХ в мінімальному об'ємі акустики.

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що пропонується дослідження параметрів сабвуферів в залежності від багатьох різноманітних факторів, що в свою чергу дозволить дати практичні рекомендації для побудови акустичної системи з потрібними для конкретного приміщення і замовника параметрами перед створенням макета, що дозволяє суттєво скоротити матеріальні витрати та час від етапу проектування до виробництва сабвуфера.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЗАСОБІВ ПОБУДОВИ САБВУФЕРІВ

Найбільш слабкою ланкою при звуковідтворенні найчастіше буває акустична система. Спроекувати її - технічно дуже складне завдання, пов'язане з багатьма фізичними обмеженнями. Головною проблемою зазвичай є відтворення найнижчих частот звукового діапазону, що примикають до інфранізів. На цих частотах гучномовець повинен випромінювати звукові хвилі дуже великої довжини.

1.1 Устрій електродинамічної головки гучномовця

Залежно від типу перетворювача електричного сигналу коливання у акустичне коливання повітря, що оточує головку драйверу, вони бувають електростатичними, електромагнітними, п'єзоелектричними, плазмовими та електродинамічними. Найбільшого поширення набули електродинамічні головки гучномовців.

Перетворення енергії в електродинамічній головці засноване на взаємодії провідника зі струмом звукової котушки і поля постійного магніту, що входить у конструкцію драйвера. В результаті електричні коливання сигналу звукової частоти, що підводиться, перетворюються в механічні коливання діафрагми, які передаються навколишньому середовищу.

Динамічна головка складається з трьох основних частин - магнітної системи 1, рухливої системи 2 і дифузороутримувача 3 (рис. 1.1).

Магнітна система є найважливішим конструктивним вузлом електродинамічної головки, що багато в чому визначає її електроакустичні параметри. Ще наприкінці 40-х і на початку 50-х років застосовувалися головки з електричним збудженням, в магнітних системах яких створення постійного магнітного поля служила електрична котушка, звана обмоткою збудження.

Для живлення обмотки збудження постійним струмом потрібно мати у складі апаратури спеціальні випрямлячі з дуже гарною фільтрацією випрямленої напруги. Обмотка збудження споживала значну потужність від джерела живлення та виділяла при роботі головки багато тепла. Ці та інші недоліки стали причиною швидкого витіснення головок із електромагнітним збудженням головками із збудженням постійним магнітом.

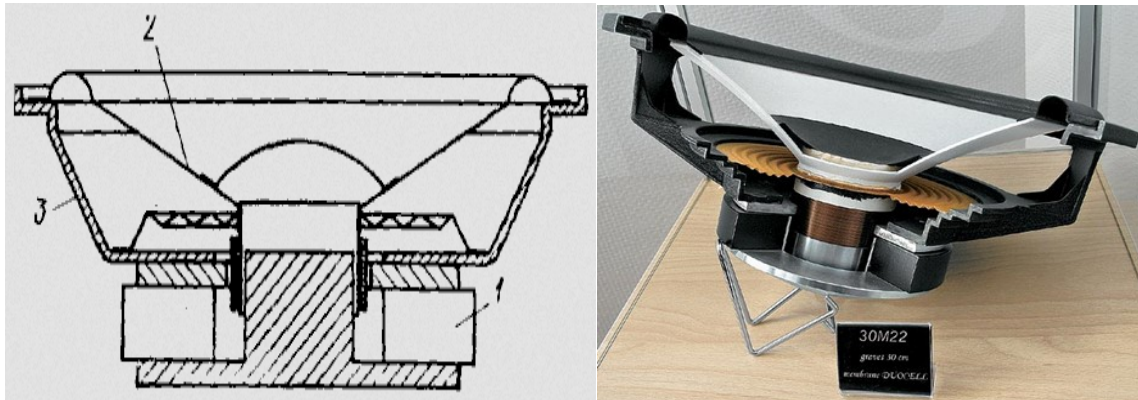


Рисунок 1.1 – Устрій низькочастотної динамічної головки

Магнітна система динаміка може бути виконана у двох варіантах: екранованому або неекранованому, залежно від вимог до апаратури, в якій він застосовується.

Усі сучасні електродинамічні головки мають магнітну систему з постійним магнітом. Магніти бувають керновими та кільцевими. Матеріалом для виготовлення кернових магнітів є сплави кобальту і різні марки феритів. Кільцеві магніти бувають лише феритовими. Більшість сучасних електродинамічних головок мають кільцеві феритові магніти.

Останнім часом для виготовлення магнітів стали застосовувати спеціальні сплави з дуже добрими магнітними властивостями, що містять рідкісноземельні метали. Це дозволило суттєво підвищити чутливість головок без збільшення їх габаритних розмірів та ваги. Конструкція магнітної системи визначається формою застосовуваного магніту. Якщо магніт має форму кільця, то магнітна

система складається з двох кільцевих фланців та циліндричного керна. В якості постійних магнітів в неекранованих системах зазвичай застосовуються кільцеві феритбарієві або феритстронцієві магніти, в екранованих використовуються литі кобальтовмісні або рідкісноземельні магніти. Діаметр керна менший за діаметр отвору у верхньому фланці. Таким чином, утворюється повітряний зазор, в якому переміщується звукова котушка. При застосуванні кернового магніту у вигляді суцільного або порожнистого конуса магнітна система являє собою закритий або напіввідкритий магнітопровід.

Закритий магнітопровід складається із сталеві склянки, в центрі дна якої розташовується магніт із полюсним наконечником та кільцевого верхнього фланця. Отвір верхнього фланця та полюсний наконечник утворюють повітряний зазор, у якому знаходиться звукова котушка. У напіввідкритому магнітопроводі замість склянки застосовується металева скоба, а верхній фланець має прямокутну форму.

Для виготовлення керна, полюсних наконечників і фланців застосовують спеціальні марки сталей, до магнітних властивостей яких пред'являються вельми жорсткі специфічні вимоги. Для виготовлення деталей магнітопроводу зазвичай застосовують м'яку електротехнічну сталь марки 10832 або конструкційну сталь марки Ст10. Форма полюсних наконечників і керна істотно впливає на величину магнітної індукції в повітряному зазорі магнітної системи головки і рівномірність розподілу в ньому магнітного потоку.

Від цього залежить чутливість та рівень нелінійних спотворень головки. Від розмірів керна та полюсних наконечників, а також від величини повітряного зазору залежить і ступінь нагріву, а отже, і термостійкість звукової котушки. Тому в потужних низькочастотних головках застосовують полюсні наконечники і керни великого діаметра, а також прагнуть збільшувати наскільки можливо величину повітряного зазору (при збільшенні зазору зменшується чутливість головки і для її збереження необхідно застосування потужнішого магніту). Останнім часом для покращення охолодження звукової

котушки деякі фірми стали випускати головки із заповненням повітряного зазору магнітної системи спеціальною феромагнітною рідиною.

Рухома система включає підвіс 1, конічний дифузор 2, центруючу шайбу 3, пілозахисний ковпачок 4, звукову котушку 5, гнучкі відводи 6 (рис. 1.2).

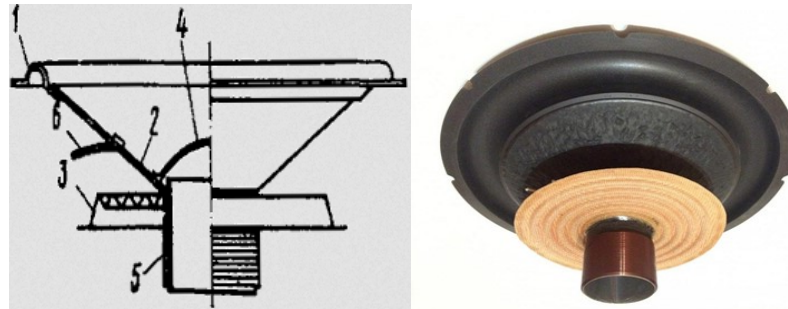


Рисунок 1.2 – Рухома система низькочастотної динамічної головки

Підвіс 1 має вигляд гофрованої кільцевої оболонки, що має велику гнучкість в осьовому напрямку, що дозволяє дифузору здійснювати осьові коливання з великою амплітудою зміщення. Зовнішній підвіс дифузора, який забезпечує його поступальний рух при роботі, може бути виконаний як єдине ціле з дифузором (у вигляді гофру з однією або декількома канавками) або як автономне кільце з гуми, каучуку, поліуретану та інших матеріалів з аналогічними властивостями, яке потім приклеюється до зовнішнього краю дифузора. Підвіс, особливо низькочастотної головки, повинен мати велику гнучкість: це забезпечує низьку частоту власного резонансу. Майже відразу нижче цієї частоти ефективність головки різко падає, тобто власний резонанс визначає межу відтворення басів. Друга основна вимога до підвісу – пружні властивості повинні зберігати лінійність у всьому діапазоні переміщень рухомої системи гучномовця.

Виконання перерахованих умов досягається застосуванням для виготовлення підвісу відповідних матеріалів та вибором відповідної його форми (форми та кількості канавок, їх висоти тощо). У сучасних головках

гучномовців застосовують підвіси, що мають у перерізі S-подібну, тороїдальну форму.

Діафрагма (дифузор) 2 являє собою, як правило, пружну оболонку обертання (конусну, купольну або плоску), в якій під дією осьової механічної сили з боку котушки виникають коливання, що збуджують коливання повітряного середовища та випромінюють звук.

В даний час в динамічних головках використовуються як дифузори з природних целюлозних матеріалів, що володіють вдалим поєднанням фізико-механічних параметрів, так і полімерні, стільникові, та композитні матеріали.

Деякі фірми застосовують для виготовлення дифузорів конусних головок металеві сплави, а також використовують шаруваті конструкції, що складаються з кількох шарів, виконаних із матеріалів з різними фізико-механічними властивостями. Такі складні конструкції застосовують для покращення якості звучання гучномовців. З зазначеною метою паперові дифузори в процесі виробництва піддають просоченню спеціальними складами.

Розрізняють дифузори з прямолінійної та криволінійної утворюючої конуса. Дифузори з прямолінійною утворює простіше у виготовленні та застосовувалися в головках гучномовців у перші роки після їх винаходу.

У сучасних голівках застосовують дифузори виключно з криволінійною твірною через відсутність у таких дифузорах так званих параметричних резонансів, що викликають сторонні призвуки в звучанні. Для боротьби з параметричними резонансами дифузора на поверхню конуса багато виробників наносять серію концентричних канавок.

Центруюча шайба 3 є третім елементом рухомої системи, що впливає на якість головки гучномовця.

Її призначення – забезпечити правильне положення звукової котушки у повітряному зазорі магнітної системи головки. Для цього центруюча шайба повинна володіти мінімальною гнучкістю в радіальному і максимально можливою гнучкістю в осьовому напрямку.

Виконання першої умови необхідне для забезпечення механічної надійності головки (відсутності дотику звуковий катушкою стінок зазору магнітної системи), другого — забезпечення низької частоти її основного резонансу. Крім того, центруюча шайба повинна зберігати лінійність характеристик пружності у всьому діапазоні переміщення рухомої системи головки гучномовця.

Від цього залежить величина нелінійних спотворень сигналу, що відтворюється головкою. Центруючі шайби можуть бути виготовлені з текстоліту, картону, паперу або тканини. Шайби з текстоліту, паперу та картону, що набули широкого поширення в 30-40-ті роки, в даний час повністю витіснені гофрованими шайбами так званого коробчатого типу, виготовленими з бавовняної або шовкової тканини з просоченням бакелітовим лаком. На вигляд такі центруючі шайби нагадують циліндричну коробку з гофрованим дном і розвальцьованим в плоске кільце циліндричним краєм.

Пилозахистний ковпачок 4 - купольна або плоска мембрана, яка оберігає зазор від попадання пилу та виконує роль додаткового ребра жорсткості на діафрагмі. Виготовляється зазвичай із паперової маси, тканини або металевій фольги.

Звукова катушка 5 являє собою циліндричний каркас з намотаним кілька шарів ізольованим провідником. При протіканні струму звуковою катушкою навколо неї створюється електромагнітне поле, при взаємодії якого з магнітним полем, створюваним магнітною системою головки, виникає сила Лоренца, яка переміщує звукову катушку і прикріплений до неї дифузор в осьовому напрямку.

Каркас катушки зазвичай виготовляється з кабельного паперу або металевій фольги або картону, як провідник використовується мідний, алюмінієвий або алюмомідний провід в емалевої ізоляції.

Гнучкі відводи 6 з'єднують провідник звукової катушки з вихідними сполучними клемами. Для гнучких відводів використовуються спеціальні дроти.

Дифузороутримувач з'єднує рухливу та магнітну системи електродинамічної головки гучномовця в єдину механічно міцну конструкцію та забезпечує кріплення динаміка у корпусі тієї апаратури, де вона використовується.

Дифузороутримувач має вікна для виходу повітря, укладеного між ним та дифузором. При відсутності вікон повітря впливатиме на рухому систему як додаткове акустичне навантаження, зменшуючи віддачу головки і погіршуючи її частотну характеристику в області низьких частот. Дифузороутримувачі виготовляють методом штампування із спеціальної конструкційної сталі, відливають методами точного лиття з легких сплавів (силумін, наприклад), а також пресують із пластмаси. Технологічні методи виготовлення дифузороутримувачів визначаються потужністю та розмірами головок. Конструкція дифузороутримувача повинна забезпечувати вібраційну стійкість головки для усунення паразитних призвуків у звучанні. З цієї точки зору більш кращі литі дифузороутримувачі.

Всі елементи рухомої системи та магнітного ланцюга істотно впливають на електроакустичні характеристики та якість звучання, тому вибір їх конструктивних та фізико-механічних параметрів є основною проблемою при розробці гучномовців.

Вентиляційні отвори та канал для відведення повітря використовуються для виведення тепла та захисту котушки від перегріву. Охолодження буває пасивне та активне, обидва варіанти використовуються в динаміках. При пасивному охолодженні тепло розсіюється за рахунок теплопередачі матеріалів, а при активному гаряче повітря відводиться за рахунок руху дифузора, відповідно при прискоренні або збільшенні діапазону руху підвищується інтенсивність охолодження.

1.2 Акустичне оформлення сабвуферів

Динамічні головки гучномовців, як правило, не застосовують без акустичного оформлення, необхідного для отримання задовільних результатів звуковідтворення. При цьому виникає ефект короткого акустичного замикання. Причина цього полягає в тому, що при коливаннях дифузора головки без оформлення згущення повітря, що утворюються однією його стороною, нейтралізуються розрядження, що утворюється іншою стороною.

Застосування акустичного оформлення подовжує шлях коливань повітря між фронтальною та тильною сторонами дифузора та повної нейтралізації коливань не відбувається. Це особливо важливо на низьких частотах, де розміри дифузора малі, порівняно з довжиною хвилі акустичного випромінювання.

Завдання будь-якого низькочастотного акустичного оформлення вирішується таким чином, що коливання, що випромінюються однією стороною дифузора, повинні бути чимось відокремлені від коливань, створюваних зворотною його стороною, одночасно і в протифазі з першими. З відсіченими таким чином «зайвими» звуковими хвилями можна вчинити по-різному.

Історично першим акустичним оформленням був акустичний екран (рис. 1.3). Він не пускає коливання з одного боку дифузора на іншу і не даючи їм взаємно знищитися аж до частот, на яких найкоротша відстань між лицьовою та зворотною стороною дифузора стане порівнянною з довжиною напівхвилі частоти, що випромінюється. А нижче цієї частоти акустичний екран надає протифазним хвилям можливість гасити одна іншу як їм заманеться.



Рисунок 1.3 – Акустичне оформлення акустичний екран

Для припинення акустичного короткого замикання на частоті, скажімо, 50 Гц, щит повинен мати розмір 3 метри на 3. Тому цей вид акустичного оформлення практичне значення давно втратив, хоч і використовується досі як еталонний при вимірюванні параметрів динаміків.

Конструктивно найпростіше акустичне оформлення із практично застосовуваних – закрита скринька (sealed або closed у зарубіжній термінології, скорочено ЗС) (рис. 1.4). Непотрібні коливання, замкнені в замкнутому просторі за дифузором, згаснуть і перетворяться на тепло. Кількість цього тепла мізерна, але у світі акустики все має характер малих обурень, тому те, як відбувається цей термодинамічний обмін, небайдуже для характеристик акустичної системи.

Значна частина енергії буде розсіяна на об'ємі повітря, що міститься всередині корпусу, він, нехай і незначно, нагріється і зміниться пружність повітряного об'єму, причому в бік підвищення жорсткості. Для того щоб цього не відбувалося, застосовують заповнення внутрішнього об'єму звукопоглинаючим матеріалом.

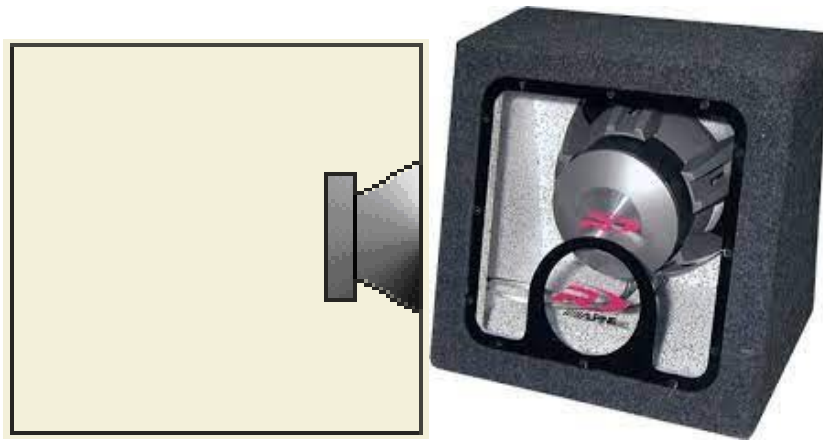


Рисунок 1.4 – Акустичне оформлення закрита скринька

Поглинаючи звук, цей матеріал (зазвичай вата, натуральна, синтетична, скляна або мінеральна) поглинає і тепло. Через значно більшу, ніж у повітря, теплоємність звукопоглинаючих волокон, підвищення температури стає набагато менше. На практиці в такий спосіб вдається досягти збільшення «акустичного» обсягу порівняно з геометричним на 15-20%. У цьому, а зовсім не в поглинанні стоячих хвиль, полягає основний сенс введення звукопоглинаючого матеріалу в закриті гучномовці.

Різновидом цього типу акустичного оформлення є так званий «нескінченний екран». В англійських джерелах такий тип оформлення називають *infinite baffle* або *free-air*. Нескінченним екраном прийнято вважати закриту скриньку з об'ємом настільки великим, що пружність ув'язненого всередині нього повітря значно менша за пружність підвіски дифузора і характеристики акустичної системи визначаються тільки параметрами головки. При вирішенні практичних завдань таким обсягом завжди виявляється внутрішній об'єм багажника, який навіть у невеликого автомобіля даватиме реакцію «нескінченно великого» обсягу навіть для великого динаміка. Інша річ, що не всякий динамік добре працюватиме в такому оформленні.

При всій простоті ЗС як акустичного оформлення низькочастотної ланки автомобільної акустики, це рішення має багато переваг, відсутнє в інших, більш складних конструкціях.

По-перше, простота розрахунку характеристик. Закрита скринька має лише один параметр — внутрішній об'єм. Поле для помилок зведено до мінімуму.

По-друге, у всьому діапазоні частот, аж до нуля, коливання дифузора стримуються пружною реакцією повітряного об'єму всередині скриньки. Це суттєво знижує ймовірність перевантаження динаміка та його механічних пошкоджень.

По-третє, тільки закрита скринька є акустичним фільтром другого порядку, тобто має спад АЧХ нижче частоти резонансу системи головка-скринька крутістю 12 дБ/окт. А саме такою крутістю, тільки в протилежному знаку, має АЧХ внутрішнього об'єму салону автомобіля, нижче за деяку частоту, з'являється можливість отримати ідеально горизонтальну частотну характеристику на нижніх частотах.

По-четверте, при грамотному виборі параметрів головки та об'єму для неї, закрита скринька не має собі рівних в області імпульсних характеристик, що значною мірою визначають суб'єктивне сприйняття басових нот.

Підступ один-єдиний - ККД. У закритої скриньки він найменший у порівнянні з будь-яким іншим типом акустичного оформлення. При цьому чим менше об'єм скриньки, при збереженні того ж робочого частотного діапазону, тим менше буде її ефективність.

Наступний за поширеністю тип акустичних колонок — фазоінвертор (рис. 1.5) (ported, vented, bass-reflex), більш гуманний до випромінювання тилової сторони дифузора. У фазоінверторі частина енергії, яка в закритому ящику «утилізується» використовується корисно.

Для цього внутрішній обсяг скриньки з'єднується з навколишнім простором тунелем, що містить деяку масу повітря. Величина цієї маси вибирається таким чином, щоб, у поєднанні в пружність повітря всередині ящика створити другу коливальну систему, що отримує енергію від тильного боку дифузора і випромінює її куди потрібно і у фазі з випромінюванням дифузора.

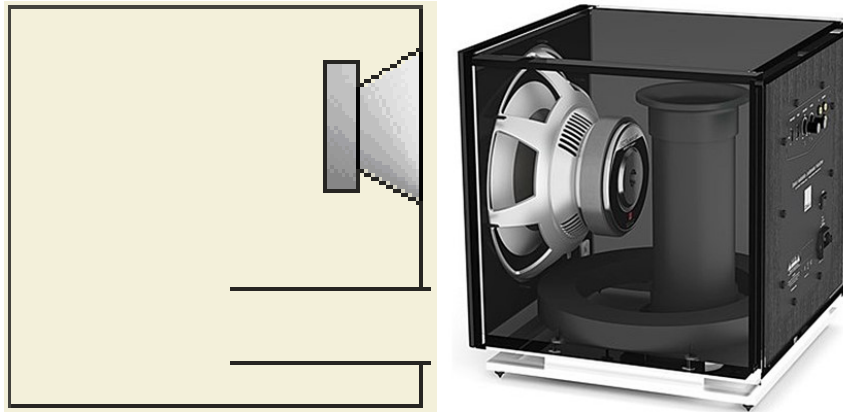


Рисунок 1.5 – Акустичне оформлення фазоінвертор

Такий ефект досягається в не дуже широкому діапазоні частот, від однієї до двох октав, але в його межах ККД суттєво зростає. Крім цього, фазоінвертор має ще одну найважливішу гідність — поблизу частоти налаштування значно зменшується амплітуда коливань дифузора.

У своєму робочому діапазоні точно на частоті налаштування амплітуда коливань мінімальна, а більшість звуку випромінюється тунелем. Допустима потужність, що підводиться тут максимальна, а спотворення, що вносяться динаміком - навпаки, мінімальні.

Вище частоти налаштування тунель стає все менш і менш «прозорим» для звукових коливань за рахунок інерції повітряної маси, що міститься всередині нього, і гучномовець працює як закритий. Нижче частоти налаштування відбувається зворотне: інерція тунеля поступово сходить нанівець і на найнижчих частотах динамік працює практично без навантаження, тобто ніби його вийняли з корпусу. Амплітуда коливань швидко зростає, а разом з нею і ризик випльовування дифузора або пошкодження звукової котушки від удару о магнітну систему.

Засобом запобігання таких неприємностей, крім обачності у виборі рівня гучності, служить використання фільтрів інфранизких частот. Відрізаючи частину спектра нижче 25–30 Гц, такі фільтри не дають дифузору йти в рознос.

Фазоінвертор істотно більш примхливий до вибору параметрів та налаштування, оскільки вибору під конкретний динамік підлягають вже три параметри: обсяг скриньки, поперечний переріз і довжина тунелю. Тунель дуже часто роблять так, щоб у готового сабвуфера можна було регулювати довжину тунелю, змінюючи частоту налаштування.

Іноді порт фазоінвертора виконаний у вигляді щілини. Це дозволяє зробити корпус компактнішим. Такий тип фазоінвертора часто застосовують у студійних моніторах.

Через наявність двох взаємозалежних коливальних систем, фазоінвертор є акустичним фільтром четвертого порядку, тобто його АЧХ теоретично має спад 24 дБ/окт нижче частоти налаштування (реально - від 18 до 24). Отримати горизонтальну АЧХ при встановленні в салоні автомобіля практично неможливо.

Різновидом фазоінверторного оформлення є гучномовець з пасивним випромінювачем або радіатором (рис 1.6) (passive radiator, drone cone). Тут друга коливальна система дозволяє утилізувати енергію, що знімається з задньої сторони дифузора, реалізована не в вигляді маси повітря в тунелі, а вигляді другого дифузора, ні до чого не приєднаного, але обтяженого до необхідної маси.

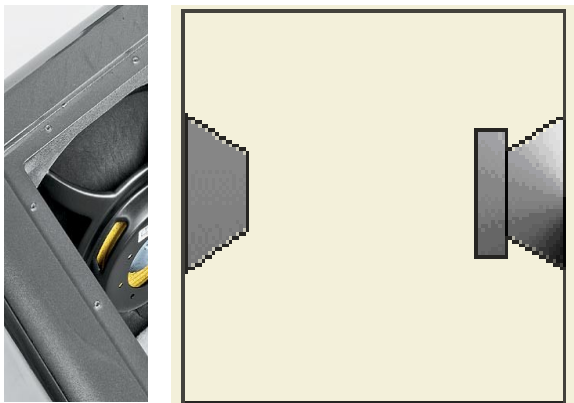


Рисунок 1.6 – Акустичне оформлення з пасивним випромінювачем

На частоті налаштування цей дифузор коливається з найбільшою амплітудою, а основний з найменшою. З поступом вгору по частоті вони поступово змінюються ролями. Донедавна цей тип акустичного оформлення не знаходив застосування в мобільних установках через труднощі у розміщенні двох великих дифузорів там, де у звичайного фазоінвертора треба розмістити дифузор і невеликий тунель, хоча у домашніх використовується досить часто. Однак останнім часом сабвуфери з пасивним випромінювачем стали затребувані, так як стали з'являтися динаміки нового покоління з дуже великим перебігом дифузора, розраховані на роботу в малих обсягах. Обсяг «видуваного» ними при роботі повітря дуже великий, і тунель довелося б робити значним у діаметрі (інакше швидкість повітря в тунелі зросте настільки, що він шипітиме). А поєднання малого обсягу та великого діаметра тунелю змушує вибирати для тунелю більшу довжину. Ось і виявилось, що фазоінвертори звичайної конструкції для таких головок прикрасилися б трубами метрової довжини. Для запобігання проблеми, необхідну масу, що вагається, вирішили зосередити в пасивному випромінювачі з ходом дифузора, таким же, як і у активного динаміка.

Третій часто використовуваний тип сабвуфера, хоча і рідше, ніж два попередні, смуговий гучномовець або бандпас (bandpass). Іноді зустрічається назва «гучномовець із симетричним навантаженням» (symmetric loading). Якщо закрита скринька і фазоінвертор — акустичні фільтри верхніх частот, то смуговий, як і витікає з назви, об'єднує фільтри верхніх і нижніх частот.

Найпростіший смуговий гучномовець - одинарний 4-го порядку (рис. 1.7) (single reflex). Він складається із закритого об'єму, т.зв. задньої камери і другого, з тунелем, як у звичайного фазоінвертора (передня камера). Динамік встановлений у перегородці між камерами так, що обидві сторони дифузора працюють на повністю або частково замкнуті обсяги – звідси й термін «симетричне навантаження».

З традиційних конструкцій смуговий гучномовець - найкращий з ефективності. При цьому ефективність прямо пов'язана із шириною смуги

пропускання. Частотна характеристика смугового гучномовця має вигляд дзвону. Шляхом вибору відповідних обсягів та частоти налаштування передньої камери, можна побудувати сабвуфер з широкою смугою пропускання, але органічною віддачею, тобто дзвін буде низьким та широким, а можна – з вузькою смугою та дуже високим ККД у цій смузі. Дзвон при цьому витягнеться у висоту.

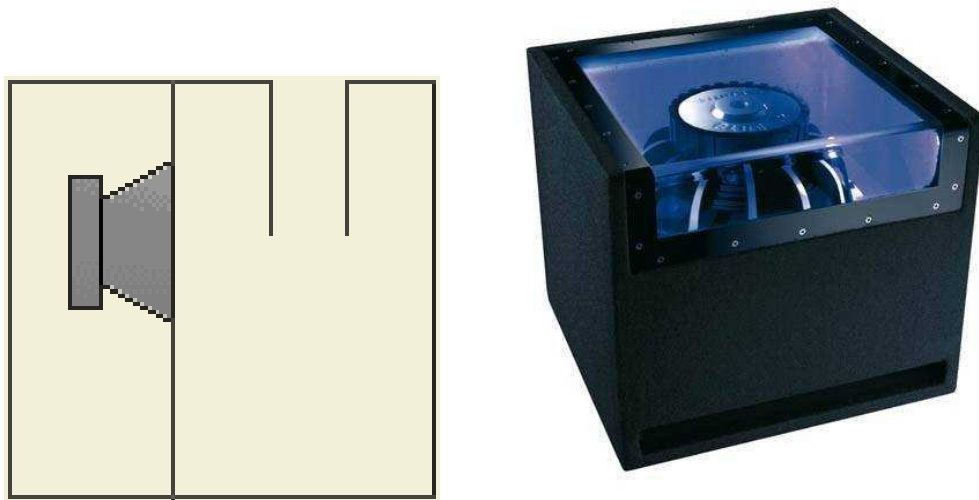


Рисунок 1.7 – Акустичне оформлення смуговий 4-го порядку

Бандпас примхливий в розрахунку і найважчий у виготовленні. Оскільки динамік знаходиться всередині корпусу, доводиться йти на хитрощі по збиранню скриньки так, щоб наявність знімної панелі не порушувала жорсткості та герметичності конструкції. Узгодження частотних характеристик сабвуфера, оточення та фронтальної акустики також пов'язане з труднощами. Імпульсні властивості теж не з найкращих, особливо при широкій смузі. Але все це компенсується найвищим ККД.

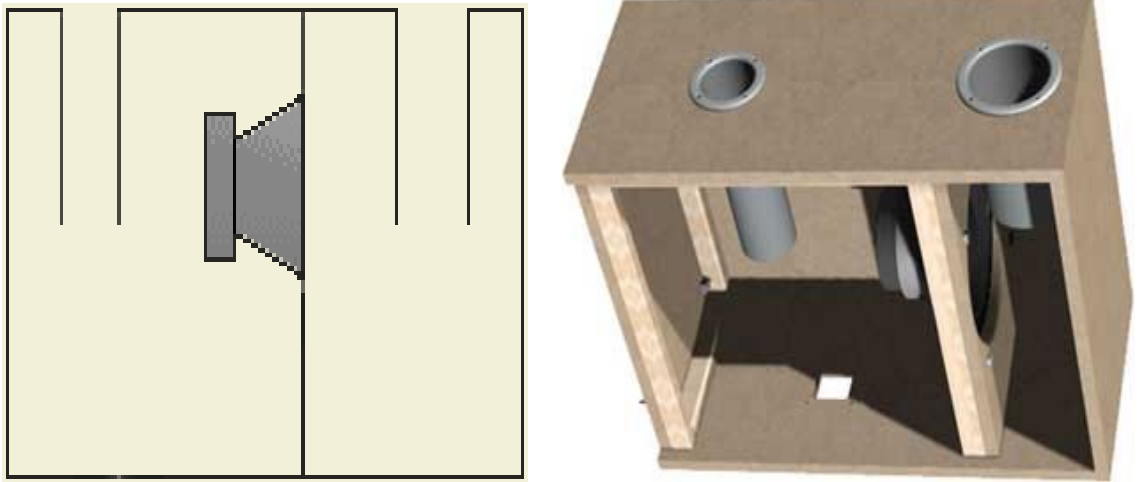


Рисунок 1.8 – Акустичне оформлення смуговий 6-го порядку

Ще більшу ефективність мають смугові гучномовці 6-го порядку з двома тунелями (рис. 1.8). Камери такого сабвуфера налаштовуються із розносом приблизно в октаву. Подвійний бандпас забезпечує менші спотворення в робочій смузі, оскільки динамік навантажений фазоінверторами з обох сторін дифузора, з усіма перевагами такого навантаження, але має більш крутий, в порівнянні з одинарним, спад АЧХ нижче робочої смуги.

Проміжне положення займає так званий квазі-смуговий гучномовець (рис. 1.9), він же — із послідовним налаштуванням, де задня камера з'єднана тунелем із передньою, а передня ще одним тунелем — із навколишнім простором. Трикамерні смугові гучномовці (рис. 1.10) являють собою просто альтернативні конструктивні реалізації звичайних смугових, і складені з двох звичайних, після чого прибрана стінка, що розділяє їх.

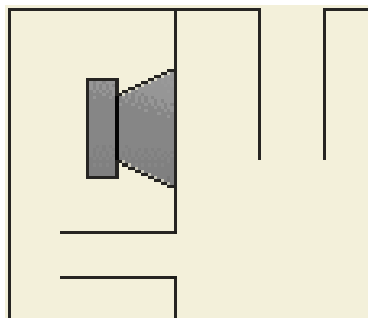


Рисунок 1.9 – Акустичне оформлення квазі-смуговий гучномовець

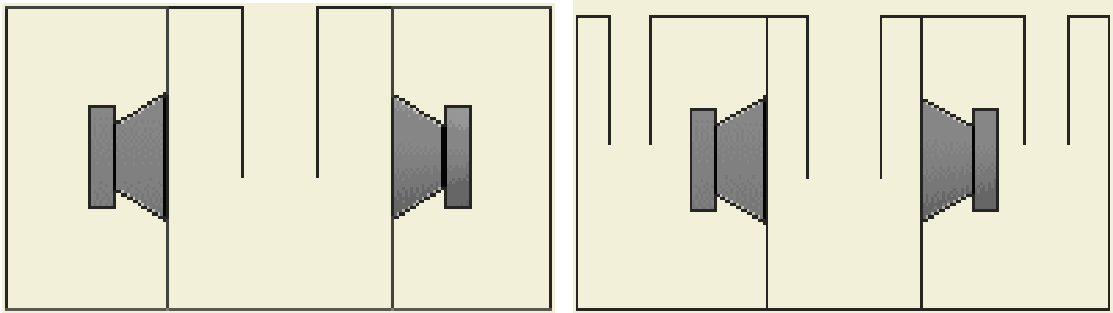


Рисунок 1.10 – Акустичне оформлення трикамерний смуговий 4 та 6 порядків

Існує ще три варіанти акустичного оформлення низькочастотної акустики, які хоч і існують, але застосовуються доволі рідко.

Перший - це акустичний лабіринт (рис 1.11), де «відведення енергії» від тильної сторони дифузора відбувається по довгій трубі, зазвичай складеній для компактності.

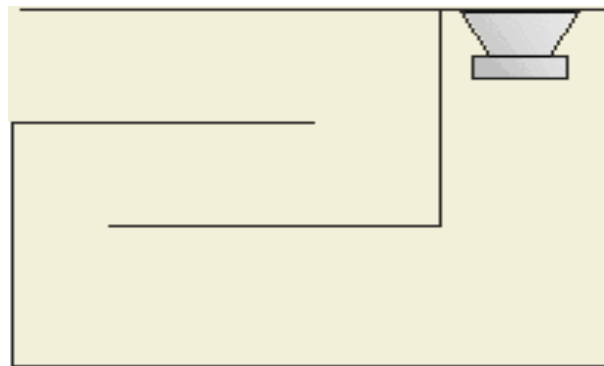


Рисунок 1.11 – Акустичне оформлення акустичний лабіринт (схема)

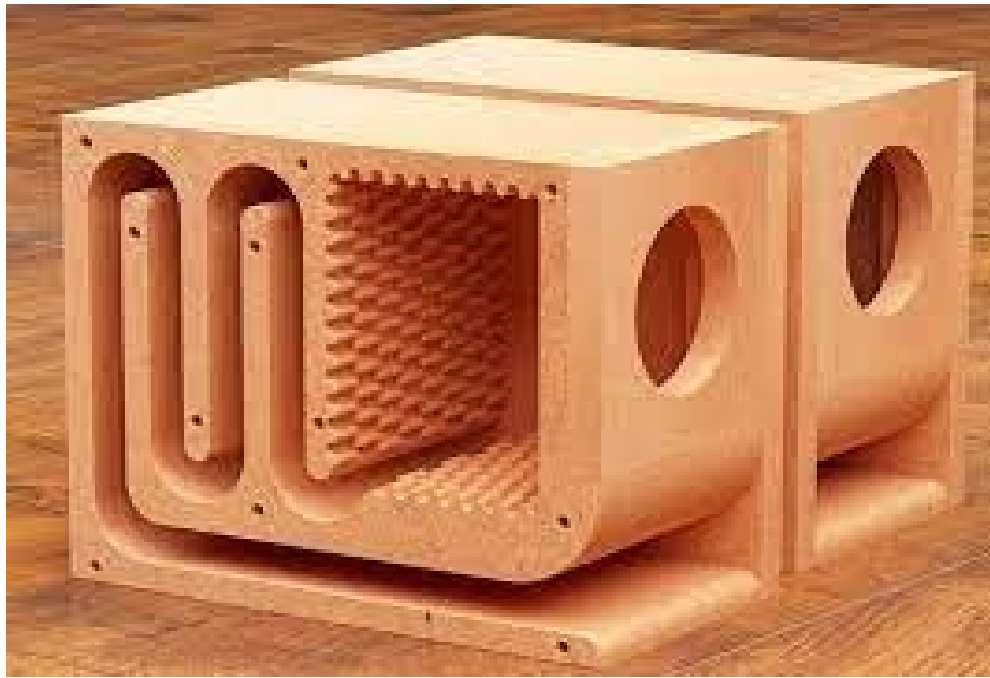


Рисунок 1.12 – Акустичне оформлення акустичний лабіринт (реалізація)

Другий - експоненційний рупор (рис. 1.13), який для отримання досить низької граничної частоти повинен мати величезні розміри, що робить рідкістю його використання в низькочастотній ланці навіть у стаціонарних системах.

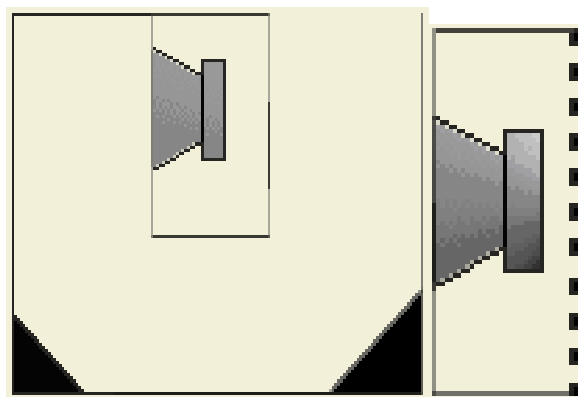


Рисунок 1.13 – Акустичне оформлення експоненційний рупор та аперіодичне навантаження

Третій тип, що має поодинокі прецеденти застосування це гучномовець з аперіодичним навантаженням (рис. 1.13) у вигляді зосередженого акустичного опору (aperiodic membrane). Ідея полягає в тому, що навантаженням для

дифузора є близько розташована напівпроникна перешкода, наприклад, щільна тканина або шар скловати, затиснутий між перфорованими панелями. Теоретично, таке навантаження має непружний характер і гасить акустичну енергію, не впливаючи на резонансну частоту динаміка. На практиці наявність повітряного обсягу між динаміком і панеллю акустичного опору створювало таку мішанину характеристик і реакцій, що результати ставали малопередбачувані.

Ізобаричне акустичне оформлення корпусу являє собою короб, в якому встановлені два ідентичні динаміки. Ця конструкція ґрунтується на ідеї наявності постійного тиску повітря між мембранами двох динаміків. В результаті два акустично пов'язані динаміки функціонують як один динамік (рис. 1.14). Перевага цієї конструкції полягає в економії обсягу короба. Наприклад, для двох 15 дюймових динаміків необхідний мінімальний об'єм короба, що дорівнює 0.1 куб. м, а при ізобаричній конструкції об'єм короба можна зменшити вдвоє. Недоліком даної конструкції є те, що за наявності двох звукових котушок фактично робочою залишається лише одна мембрана.

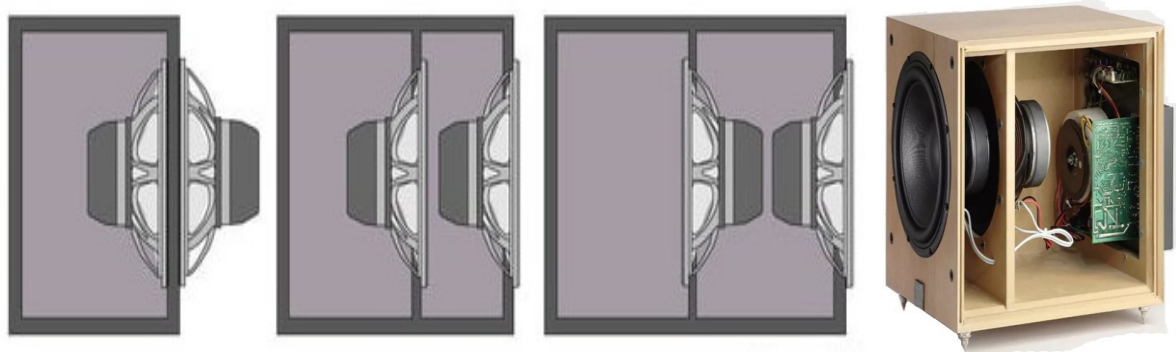


Рисунок 1.14 – Ізобаричне акустичне оформлення

Загальна віддача ізобаричного сабвуфера приблизно на 3 дБ менше, ніж у решти сабвуферів за однакової вхідної потужності. Конструктивно пара динаміків розташовується всередині корпусу на однієї осі, мембрана до мембрани, магніт до магніту чи магніт до мембрани.

1.3 Характеристики сабвуфера в залежності від акустичного оформлення

З погляду на основні типи акустичного оформлення, порівняємо розглянуті варіанти з погляду основних факторів, що визначають успіх їх використання у звуковому тракті.

До цих факторів слід віднести ККД, вносимі спотворення, імпульсні характеристики, погодження з фронтальною акустиккою.

Величина ККД, властивого тому чи іншому типу акустичного оформлення визначає, наскільки потужний підсилювач знадобиться задля досягнення необхідного рівня гучності. У найбільш важливому з погляду відтворення інформації басового регістру діапазоні частот найкращі за ККД вузькосмугові гучномовці, особливо двотунельні 6-го порядку. За ними йдуть широкосмуговий двотунельний та звичайний фазоінвертор. Найгірші за цим параметром — закрита скринька і широкосмуговий одинарний бандпас.

Спотворення, що вносяться. У нижній октаві музичного діапазону (30-80 Гц) всі типи акустичного оформлення поводяться досить гарно при невеликих рівнях потужності. Фазоінвертор і смуговий гучномовець — трохи краще за інших, а ось за великих потужностей найкращі результати дає подвійний смуговий гучномовець. За ним - одинарний смуговий та фазоінвертор. Найгірша за цим параметром - закрита скринька, що дає найбільші спотворення при великих амплітудах сигналу.

Імпульсні характеристики. Точна передача фронтів басових інструментів чи не головна якість для басової акустики. Щодо цього, закрита скринька дає найкращі результати при правильному розрахунку. Перехідні характеристики фазоінвертора можуть бути дуже гідними, але все ж таки в середньому поступаються закритому оформленню. Одинарні смугові гучномовці мають непогані характеристики, які погіршуються з розширенням смуги пропускання. Найгіршу реакцією на імпульсний сигнал має подвійний смуговий гучномовець, знову, особливо - широкосмуговий.

Погодження з фронтальною акустикою. Робота сабвуфера має бути, починаючи з певної частоти, доручена мідбасам фронтальної акустики. Для закритої скриньки та фазоінвертора це не проблема і конструктор системи має неабияку свободу у виборі частоти розділу смуг, оскільки і ця частота і крутість спаду визначаються зовнішніми ланцюгами. А ось вузькосмугові бандпаси часто мають власний спад частоти вже починаючи з 70-80 Гц, де далеко не всі мідбаси можуть якісно звучати. Вимоги до мідбаса та роботи з кросовером збільшуються.

Вищесказані висновки знесемо в таблицю 1.1 за п'ятибальною шкалою.

Таблиця 1.1 – Оцінювання параметрів гучномовців в залежності від акустичного оформлення

Тип та параметри			Смужний гучномовець			
			одинарний		двійний	
Параметри	Закрита скринька	Фазоінвертор	Вузька смуга	Широка смуга	Вузька смуга	Широка смуга
Спотворення на малій потужності	4	5	5	4	5	4
Спотворення на великій потужності	2	4	4	3	5	4
Імпульсні характеристики	5	4	4	2	3	2
Погодження з фронтальною акустикою	5	5	2	4	2	4
Перевантажувальна здатність у робочому діапазоні (вище 30 Гц)	>	4	5	4	5	4
Перевантажувальна здатність в інфра низькочастотному діапазоні нижче 30 Гц)	5	2	5	5	2	2
Гладкість АЧХ з урахуванням внутрішньої акустики автомобіля	5	4	2	3	2	3
Чутливість до помилок розрахунку та виготовлення	5	4	2	2	2	2

1.4 Активні та пасивні сабвуфери

Усі сабвуфери за типом посилення можна поділити на два види: активні та пасивні.

До активного типу можна віднести моделі з вбудованим підсилювачем. Їхня перевага - це розвантаження за потужністю основного підсилювача кінотеатру. В даному випадку, сабвуферу необхідне додаткове підключення до мережі живлення. До пасивного типу можна віднести моделі, що підключаються до зовнішнього підсилювача. Існує кілька типів підключення пасивного сабвуфера. При одночасному поданні внутрішнім підсилювачем сигналу на основні динаміки і сабвуфер, широкосмуговий сигнал на виході передається на вхід сабвуфера. При цьому застосовується розділовий додатковий фільтр, який розділяє низькі та високі частоти та видає відфільтровані за частотою сигнали до місця призначення на високо і середньочастотні основні колонки, а низькочастотний на сабвуфер. Активний сабвуфер може підключатись до підсилювачів та саундбарів через Bluetooth або Wi-Fi.

Серед переваг цього типу сабвуферів можна виділити такі:

- не вимагають наявності зовнішнього підсилювача;
- максимально прості у підключенні;
- мають компактні розміри;
- до них можна безпосередньо підключити динаміки.

Однак мають вони і свої недоліки:

- сильне нагрівання корпусу, яке може негативно позначитися на основних електрофізичних властивостях сабвуфера, що призводить до погіршення звукопередачі;

- вони чутливі до високої гучності - при тривалій роботі на піку корпус може перегрітися до виходу сабвуфера з ладу.

Пасивні сабвуфери мають ряд недоліків, тому вартість їх нижча, ніж активних. Основним недоліком вважається необхідність більш точної ув'язки сабвуфера з колонками сателітами акустичної системи. Це дуже складний та трудомісткий процес. Існує можливість підключити сабвуфер за допомогою окремого підсилювача потужності, використовуючи електронний розділовий фільтр. Подібне підключення дає можливість знизити нелінійні спотворення за рахунок сигналу, що розділяє за спеціальною схемою. При цьому основний підсилювач позбавляється підвищеного навантаження.

Серед переваг пасивних сабвуферів основними є:

- дуже проста конструкція;
- не гріються у процесі роботи;
- відмінне, стабільне звучання з чистими та насиченими басами;
- є рішення класу бандпас, які у активних моделях зустрічаються рідко;
- широкі можливості модифікації за рахунок підключення зовнішнього додаткового акустичного обладнання;
- доступна ціна - їх вартість зазвичай істотно нижча за активних.

Незважаючи на велику кількість плюсів, пасивні сабвуфери мають недоліки:

- для забезпечення їх роботи потрібний зовнішній підсилювач;
- доступні лише зовнішні налаштування звуковідтворення. І тут за якість звучання, зокрема і за потужність і насиченість басів, відповідає підсилювач.

Чим більше можливостей для налаштування він має, тим краще;

- у закритих моделях, залежно від гучності, необхідна потужність, що подається на пристрій, збільшується в геометричній прогресії.

В останні роки майже на всіх активних сабвуферах є можливість регулювати рівень частоти поділу, і при використанні подібної моделі процес узгодження основних компонентів звукової системи стає незмінно простіше.

1.5 Основні характеристики сабвуферів

1. Частотний діапазон (у герцах), є однією з найважливіших характеристик сабвуфера. Даний діапазон для зручності поділяють на декілька октав:

- найнижчий бас 20-40 Гц;
- середні басы 40-80 Гц;
- високі басы 80-160 Гц.

Навіть бюджетні моделі відтворюють діапазон від 40 до 200 Гц. А частоту від 20 Гц здатні відтворити лише топові моделі акустики.

2. Потужність сабвуфера (RMS). Допустима потужність сабвуфера, при якій за 1 годину не відбудеться фізичного пошкодження динаміка. Виробники недорогих сабвуферів намагаються зосередити увагу не на показнику RMS, а на показниках пікової потужності (PMPO), який не має жодного відношення до реальності. Варто спиратися саме на показник RMS, під який підбирати підсилювач потужності. Потужність більшості компактних активних сабвуферів становить 70-150 Вт, потужність більшості корпусних активних сабвуферів складає 100-250 Вт, потужність більшості пасивних сабвуферів становить 150-500 Вт, а потужність динамічних сабвуферів знаходиться в широкому діапазоні (від 100 до 10000 Вт). Для звичайної системи з якісним та в міру потужним басом достатньо сабвуфера з потужністю 200-300 Вт.

Для приміщень потужність сабвуфера слід вибирати виходячи з розмірів приміщення. При виборі сабвуфера для дому можна керуватися такими значеннями:

- 100 Вт – для приміщень площею 30 м²;
- 100-200 Вт – для приміщень 50 м²;
- Від 200 Вт – понад 50 м².

Потужність сабвуфера повинна перевищувати потужність стереопари, з якою він працюватиме. В ідеалі ця перевага має бути у півтора-два рази.

3. Частота розділу кросовера - це верхній діапазон роботи сабвуфера і він же - нижній діапазон СЧ-НЧ випромінювача.

4. SPL (Максимальний звуковий тиск, дБ) – Sound Pressure Level – це піковий тиск, який здатний забезпечити сабвуфер. Вимірюється у певних умовах. Зазвичай при потужності на вході 1 Вт або 2,83 (2,83 В = 1 Вт при навантаженні 8 Ом) на відстані одного метра.

5. Чутливість динаміка (дБ) - це показник звукового тиску під час подачі сигналу з певною потужністю. Зазвичай вимірювання проводяться на відстані 1 метр при подачі потужності в 1 Вт і напрузі, що відповідає опору динаміка. Динаміки з більшою чутливістю менше навантажують підсилювач та здатні видати більший звуковий тиск.

6. Розмір сабвуферного динаміка в сантиметрах та/або дюймах. Чим більший діаметр дифузора, тим, як правило, потужнішим є сабвуфер (на це впливають і деякі інші конструктивні особливості). Чим більший діаметр дифузора, тим більше габаритний корпус для динаміка потрібний. Найпоширеніші розміри - 8" (20 см), 10" (25 см) і 12" (30 см). Більшість сабвуферів з діаметром менше 8" - це активні сабвуфери, майже всі сабвуфери з діаметром 15" і вище - це сабвуферні динаміки.

7. Кількість динаміків сабвуфера. В рамках одного корпусу може бути один і більше динаміків. У переважній більшості випадків у корпусі знаходиться один динамік, іноді зустрічаються конструкції з двома динаміками (як пасивні, так і активні), і вкрай рідко в одній конструкції можуть розташовуватися три динаміки. Збільшення кількості динаміків логічним чином позначається на розмірі корпусу, в якому вони знаходяться. Природно, збільшення кількості динаміків позначається і потужності, оскільки збільшується кількість випромінюючих елементів.

8. Опір сабвуферу. Повний електричний опір змінному струму. Від опору сабвуферного динаміка та кількості звукових котушок (обмоток звукової котушки) залежить вибір підсилювача під динамік та схема підключення до підсилювача. За наявності динаміка тільки однієї звукової котушки з певним опором, буде необхідно підбирати підсилювач, який при такому ж опорі на канал видає потужність, порівнянну з RMS динаміка. При одній звуковій

котушці опір динаміка сабвуфера практично завжди становить 4 Ом або 2 Ом. Кількість динаміків з іншим опором дуже мала. За наявності двох обмоток котушки найчастіше зустрічаються такі показники – 2+2, 4+4, 1+1. Чим нижчий опір динаміка (а в деяких з динаміків воно прагне до нуля), тим більш змагальним стає сабвуфер.

9. Тип корпусу сабвуфера. Існують три основні різновиди корпусів для сабвуферних динаміків. Закритий корпус - динамік закріплений однією зі стінок корпусу, а сам корпус повністю герметичний (тобто динамік грає у герметичний обсяг). Дана конструкція дозволяє отримати досить щільний бас, але динамік може грати менш потужно (порівняно з іншими конструкціями), так як хід дифузора динаміка буде утруднений. Фазоінверторний – динамік також закріплений на стінці корпусу, який має відвідний порт (щілина або труба). Це дозволяє отримати потужніший, але більш розмитий бас. Bandpass - внутрішній об'єм корпусу розділений перегородкою, де закріплений сабвуферний динамік, а сам корпус має відвідний порт (щілина чи труба). Таким чином досягається ще потужніший, але й більш розмитий бас.

Ці та інші варіанти акустичного оформлення були детально розглянуті в розділі 1.2.

10. Розміри сабвуфера (ширина, висота, глибина, діаметр). Габаритні розміри корпусного сабвуферу Пасивні та активні сабвуфери часто мають трапецієподібну форму, тому верхній глибинний розмір менший за нижній глибинний розмір. Іноді в характеристиках вказуються обидва розміри, інколи ж лише більший їх. В якості «глибина» вказаний більший глибинний розмір. Якщо конструкція корпусу виконана у вигляді циліндра або призми, для таких сабвуферів вказані «діаметр корпусу» і «глибина корпусу».

11. Матеріали корпусу. Матеріал для виготовлення корпусу сабвуфера має бути міцним, щільним та добре ізолювати звук. Найчастіше використовують наступні:

Багатошарова фанера. Існує велика кількість сортів фанери, багато з яких не прийнятні для конструювання корпусу акустичної системи. Звичайна фанера

недостатньо щільна і даватиме спотворення звуку. Багатошарова (12 шарів) фанера з корабельної деревини є чудовим матеріалом для будівництва невеликих корпусних систем. Дана фанера досить щільна і легша за деревностружкову (ДСП) і середню щільність деревноволокнистої плити (ДВП) середньої щільності (MDF). З нею легко працювати, не побоюючись розшаровування. Лист завтовшки 12 мм має кращі резонансні характеристики, ніж у більшості дощок товщиною 16 мм. Нестача цієї багатошарової фанери полягає в тому, що великі корпуси з неї починають дзвеніти. Її не рекомендується використовувати для корпусів із великими плоскими прольотами. Найкраще вона підходить для пари динаміків діаметром 8 дюймів у корпусі об'ємом менше 0.04 куб. Другий її недолік - це дорожнеча та дефіцитність.

Деревностружкова плита. Це найбільш поширений матеріал, що використовується сьогодні. Бувають плити кількох сортів, але для корпусів рекомендується ДСП найбільшої густини. Хоча високощільні різновиди важать більше, з ними легше працювати, і вони краще звучать. Високощільна ДСП товщиною 16 мм є найкращим вибором для потужнішої низькочастотної акустичної системи, оскільки має найвищу щільність і слабкі резонансні якості. ДСП також недорогі. Недолік цього матеріалу полягає в тому, що він легко вбирає вологу і важко ріжеться. Корпуси з ДСП слід фарбувати, щоб запобігти розбуханню через вологу.

Деревноволокниста плита середньої густини. ДВП, по суті, є формою спресованого паперу, має високу густину і легко ріжеться. Чим вище щільність, тим краще корпус відтворюватиме звуки через обмежену гнучкість стінок. Недоліком ДВП є те, що з нею важко працювати через схильність до розшаровування. Як і з ДСП, конструювання слід уважно проводити як щодо кріплення, так і у запобіганні впливу вологості. Незважаючи на це, результати варті докладених зусиль. Це найкращий вибір для побудови сабвуферних систем середньої потужності.

Потужність та чутливість – це, безумовно, важливі характеристики. Але це не все, чим характеризуються динаміки. Багато динаміків мають майже однакові значення потужності та чутливості, але при цьому всі вони абсолютно різні.

У 60-х роках Нейвілл Тіль запропонував використати математичну модель, яка описувала б роботу динаміка. А на початку 70-х разом із його колегою Ріхардом Смоллом вона була доопрацьована і використовується донині як найзручніша.

1.6 Параметри Тіля-Смолла для розрахунку акустичного оформлення сабвуфера

У цій моделі фігурують багато параметрів, але зазвичай виділяють три найважливіші, які так на їх честь і називаються – параметри Тіля-Смолла:

- резонансна частота динаміка (F_s);
- повна добротність (Q_{ts});
- еквівалентний обсяг (V_{as}).

F_s (Гц) – це частота власного резонансу динаміка у відкритому просторі, частота, при якій комбінація енергії, накопичена в масі, що рухається, і пружність рухомої системи максимальна, що призводить до максимальної швидкості дифузора, в цей момент імпеданс динаміка максимальний. М'якіша рухома система або більша рушійна маса викличуть нижчу резонансну частоту і навпаки. Зазвичай менш ефективно використовувати сабвуфер на частотах нижче за його резонансну частоту, а якщо навантажувати сабвуфер на частотах значно нижче F_s , можна викликати великі відхилення, що може призвести до механічного пошкодження сабвуфера.

$$(1.1) \quad F_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_{ms}\cdot M_{ms}}},$$

де C_{ms} (м/Н) - еластичність рухомої системи динаміка (зміщення під впливом механічного навантаження), показує м'якість рухомої системи, чим вона більш

податлива, тим нижча її жорсткість, тим вищою буде V_{as} . C_{ms} пропорційний V_{as} , отже, має самі діапазони допусків;

M_{ms} (г) - ефективна маса рухомої системи (включає масу дифузора і повітря, що коливається разом з ним).

Ефективна маса - це маса дифузора, котушки та інших рухомих частин динаміка, включаючи акустичне навантаження, створюване повітрям, що контактує з дифузором динаміка.

V_{as} (л) – еквівалентний об'єм. Це збуджений динаміком закритий об'єм повітря, що має гнучкість, що дорівнює гнучкості C_{ms} (рухомої системи).

$$V_{as} = \rho \cdot c^2 \cdot S_d^2 \cdot C_{ms}, \quad (1.2)$$

де S_d (кв. м) – ефективна площа дифузора, зазвичай вважається від стику підвісу з дифузором, це приблизно 50-60% конструктивної площі. Сабвуфери з широким підвісом зазвичай мають значно меншу площу дифузора, ніж звичайні сабвуфери такого ж типорозміру;

ρ - 1,18421 кг/м³ - густина повітря при температурі 25 °С та вологості 0 %;

c - 346,1 м/с - швидкість звуку при 25 °С.

R_e (Ом) – опір обмотки котушки постійному струму.

Q_{ms} (безрозмірна величина) – механічна добротність динаміка на резонансній частоті (F_s), що враховує механічні втрати.

$$Q_{ms} = \frac{2\pi \cdot F_s \cdot M_{ms}}{R_{ms}},$$

(1.3)

де R_{ms} (N·s/m) - активний механічний опір головки.

Зазвичай в цього параметра не вказуються одиниці виміру, але він виявляється у механічних «Омах». Середньоквадратичне значення - це вимірювання втрат або демпфування рухомої системи динаміка. Це головний чинник щодо Q_{ms} .

R_{ms} залежить від типу матеріалів рухомої системи та каркасу звукової котушки.

Q_{es} (безрозмірна величина) – електрична добротність динаміка на резонансній частоті (F_s), враховує електричні втрати.

$$Q_{es} = \frac{2\pi \cdot F_s \cdot M_{ms} \cdot R_e}{(B_l)^2}, \quad (1.4)$$

де B_l (м/Н) – коефіцієнт магнітної індукції.

Добуток щільності магнітного поля в зазорі на довжину проводу котушки, що знаходиться в магнітному зазорі. Технічно, це $B \times l$ або $B \times l \sin(\theta)$, але стандартна геометрія круглої звукової котушки в зазорі дає $\sin(\theta)=1$. $B \times l$ також відомий як «силовий коефіцієнт», оскільки сила, що діє на котушку з боку магніту, дорівнює $B \times l$, помноженому на струм, що протікає через котушку. Чим вище $B \times l$, тим більша сила, створювана даним струмом, що протікає через звукову котушку. $B \times l$ дуже сильно впливає Q_{es} .

Q_{ts} (безрозмірна величина) - повна добротність динаміка на резонансній частоті (F_s), що враховує всі втрати.

$$Q_{ts} = \frac{Q_{ms} \cdot Q_{es}}{Q_{ms} + Q_{es}}. \quad (1.5)$$

Резонансна частота залежить від загальної жорсткості підвісу сабвуфера та маси його рухомої системи. Загальна жорсткість, у свою чергу, залежить від жорсткості центруючої шайби та жорсткості підвісу дифузора.

F_s менше 25 Гц вважається низькою, а більше 40 Гц – високою.

Повна добротність (Q_{ts}) - це еластичність (контроль) динаміка в районі резонансної частоти (F_s). Іншими словами - чим вища добротність, тим сильніше «рухається» саб у районі своєї резонансної частоти (F_s), а чим нижче, тим ефективніше коливання гасяться (контролюються). Складається з

механічної добротності, яка залежить в основному від матеріалу центруючої шайби, а не підвісу дифузора, електричної добротності, що залежить від величини магніту, довжини обмотки котушки і ширини зазору в магнітній системі. Від повної добротності механічна становить 10-15%, а електрична 90-85% відповідно.

Найнижчою добротністю вважається значення 0.3-0.35, високою - 0.5-0.6.

Еквівалентний об'єм (V_{as}) - об'єм повітря в корпусі, що має ту саму пружність, що і сабвуфер. Залежить від жорсткості підвісу та площі дифузора (діаметра) динаміка. Чим більший діаметр і м'якший сабвуфер, тим більше V_{as} .

Слід зазначити особливість зв'язку V_{as} і F_s . Так як, резонансна частота (F_s) визначається жорсткістю підвісу і масою рухомої системи, а еквівалентний об'єм (V_{as}) - діаметром дифузора і тією ж масою зрушення, може вийде, що два сабвуфери одного діаметра і з однаковою F_s будуть абсолютно різними - один важкий і жорсткий, інший легкий та м'який. Відповідно, еквівалентний об'єм для цих динаміків буде зовсім різним, як і розмір правильного корпусу – ось чому цей параметр дуже важливий при розрахунках корпуса для саба.

Для вибору типу акустичного оформлення потрібно знати параметри Тіля-Смолла для динаміка, такі як повна добротність Q_{ts} і резонансна частота F_s . Існує емпіричне правило, що для:

- $Q_{ts} > 1,2$ це головки для відкритих скриньок, оптимально 2,4;
- $0,6 < Q_{ts} < 1,2$ - головки для закритих скриньок, оптимально 0,7-0,8;
- $0,4 < Q_{ts} < 0.6$ - для фазоінверторів, оптимум - 0,4;
- $0,2 < Q_{ts} < 0.8$ - для систем з пасивним випромінювачем;
- $Q_{ts} < 0.4$ - для рупорів.

Існує думка, що потрібно сортувати голівки не за добротністю, а за величиною F_s / Q_{ts} і як орієнтир:

- $F_s / Q_{ts} > 30$ екран та відкритий корпус;
- $F_s / Q_{ts} > 50$ закритий корпус;
- $F_s / Q_{ts} > 85$ фазоінвертори;
- $F_s / Q_{ts} > 105$ Бандпас (смужкові резонатори).

1.7 Особливості розміщення сабвуферів

Оскільки сабвуфери генерують лише низькі частоти, зазвичай значно нижче 200 Гц, всі типи сабвуферних конструкцій, крім кардіоїдних рішень, випромінюють ненаправлено, тобто однаково на всі боки. Це означає, що звукова енергія поширюється в усіх напрямках, до слухачів, а також до будь-якої поверхні, розташованої за сабвуфером.

Для приміщень безперечний плюс сабвуфера в тому, що його не потрібно мати строго в певній точці, як колонки. Теоретично, його можна поставити, куди завгодно, і звідусіль однаково буде чути. На практиці саме з ним найчастіше і виникають проблеми. Звук також поглинається меблями, килимовим покриттям, та іншими м'якими поверхнями. Багато залежить від приміщення: його розмірів, форми та навіть кількості меблів. Звукові хвилі - реальний фізичний об'єкт, який взаємодіє з навколишнім простором, а низькі частоти несуть найбільше енергії. Коли між сабвуфером і твердою стіною за ним є деяка відстань, на частоті, при якій ця відстань дорівнює чверті довжини звукової хвилі, що випромінюється, відбитий від стіни звук опиниться в протифазі з прямим випромінюванням сабвуфера (рис. 1.15). Таким чином, звук, що відбивається від стіни на цій конкретній частоті, віднімається від прямого випромінювання сабвуфера на тій же частоті (пригнічення від задньої стіни).

Швидкість звуку C становить 344 м/с і визначається як $C = f \lambda$, де f – це частота коливань, а λ – довжина хвилі. За допомогою цієї формули легко знайти чверть довжини хвилі для заданої частоти. Наприклад, найнижча нота на стандартній гітарі (відкрита низька струна мі) відповідає частоті звукових коливань приблизно 83 Гц. Довжина чверті хвилі складає 1,0 м.

Таким чином, ми можемо зробити висновок, що якщо сабвуфер розташований на відстані 1,0 м від твердої стіни за ним, його частотна характеристика у фронтальному напрямку (до слухачів) матиме значний провал

у районі 83 Гц. Це називається «пригнічення через гребінчасту фільтрацію на низьких частотах». І тут, на жаль, вирівнювання вихідного сигналу сабвуфера не допомагає, оскільки всі зміни рівня стосуватимуться також відбитого від стіни звуку. Тому розташування сабвуфера щодо задньої стіни істотно впливає на загальну якість відтворення низьких частот і музичність звучання.

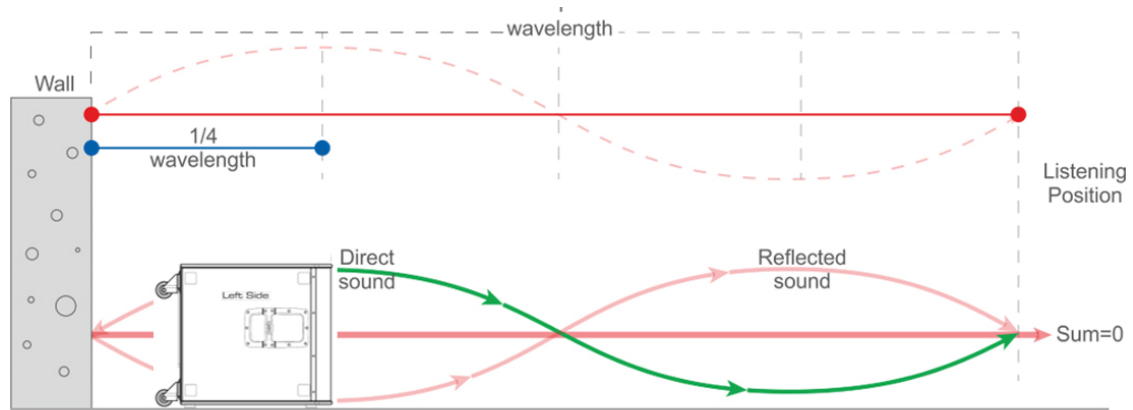


Рисунок 1.15 – Придушення звуку твердою поверхнею позаду сабвуфера

Тепер розглянемо технічні характеристики активного сабвуфера Klipsch R серії 112SW (рис.1.16) і зробимо деякі висновки. Ультракомпактний одинарний 12-дюймовий Klipsch R-112SW [1] має частотну характеристику (на рівні - 6 дБ), що охоплює від 24 до 125 Гц. Для простоти розрахунків розглянемо 25 і 120 Гц як межі низькочастотного спектру пропускання нашого сабвуфера:

- $\frac{1}{4}$ довжини хвилі на 25 Гц = 3,43 м;
- $\frac{1}{4}$ довжини хвилі на 120 Гц = 0,72 м.

Виходячи з фактичної роботи даного сабвуфера на низьких частотах, ці дві обчислені відстані будуть служити орієнтирами, які нам потрібні.

Щоб уникнути значного придушення на цих низьких частотах, ми спочатку могли б поставити сабвуфер ближче до задньої стіни. Це гарантує, що віддача на низьких частотах не буде порушена, оскільки поза сабвуфером немає зазору. Але для балансування звучання всієї системи звукопідсилення тоді буде необхідне відповідне регулювання низькочастотної характеристики сабвуфера.

Однак частіше нам потрібно розміщувати наші акустичні системи сабвуфери подалі від задньої стіни, на сцені або біля неї. У цьому випадку, використовуючи наші числові дані, наш сабвуфер може бути розташований:

- або між 0 м (прямо під задньою стіною) та 0,72 м від задньої стіни, - або далі ніж 3,43 м від задньої стіни.



12 phasenregulierbare Subwoofer in der großen Vergleichstabelle

Preis: 1190 € - 6920 € | Bewertung: 3,8 Sterne - 4,8 Sterne

Filter ausklappen

Was wir anbieten	Bestseller	700 Watt	LFD-Anschluss	2 Bassdrives
Modell	Klipsch R-112SW Subwoofer	Homaner SAM-5000 Subwoofer	Polk Audio HTS 10 Subwoofer	Taufel Mono-Subwoofer US 2
Vergleichsergebnis	Unsere Bewertung: Sehr gut 1,2 08/2023	Unsere Bewertung: Sehr gut 1,3 08/2023	Unsere Bewertung: Sehr gut 1,4 08/2023	Unsere Bewertung: Gut 1,6 08/2023
Kundenbewertung	★★★★★ (55 Amazon-Bewertungen)	★★★★★ (89 Amazon-Bewertungen)	★★★★★ (247 Amazon-Bewertungen)	★★★★★ (560 Amazon-Bewertungen)
Typ	Frontfire	Kein Gehäuse	Downfire	Downfire
Türhöher	12 Zoll / 30,3 Zentimeter	Kein Treiber	10 Zoll / 25,4 Zentimeter	6,2 Zoll / 16 Zentimeter
Betriebart	Aktiv-Subwoofer	Aktiv-Subwoofer	Aktiv-Subwoofer	Aktiv-Subwoofer
Geeignet für	Heimkino und Computer	Heimkino und Computer	Heimkino und Computer	Heimkino und Computer
Material Gehäuse	MDF / Mimetkstoffplatte	Kein Gehäuse	MDF / Mimetkstoffplatte	MDF / Mimetkstoffplatte
Material Treiber	Keine Angaben	Keine Angaben	Polypolypropylen	Zellulose
Abmessungen (Breite x Höhe x Tiefe)	44,3 x 39,3 x 41,4 Zentimeter	29,1 x 27 x 9 Zentimeter	38,4 x 41,9 x 40,8 Zentimeter	28 x 38,5 x 28 Zentimeter
Gewicht	22,1 Kilogramm	2,6 Kilogramm	10,1 Kilogramm	7,8 Kilogramm

Рисунок 1.16 – Сабуфер Klipsch R-112SW, кращий в Німеччині в 2023 році

Такий підхід гарантує, що низькочастотне відтворення сабуфера залишиться незмінним у всьому його робочому діапазоні. Якщо ж цей сабуфер розташований в діапазоні від 0,72 м до 3,43 м, сабуфер не даватиме потрібної чіткості, потужності та щільності звучання, а деякі ноти будуть відсутні.

В тому випадку, якщо сабуфер встановлюється в маленькій кімнаті, звукові хвилі відбиваються від стін нелінійно, що призводить до виникнення стоячих хвиль (резонуючих сигналів, які звучать голосно) та скасування фаз (втрата аудіоінформації). Стоячі хвилі в даному випадку називають кімнатними модами, які можна розрахувати на онлайн-калькуляторі (рис. 1.17), виходячи з габаритів кімнати [2]. У великій кімнаті моди можуть бути нижче 20 Гц, такі не заважатимуть. Але чим кімната менше, то вище частоти, у яких утворюються стоячі хвилі. Причому якщо проблема є на 50 Гц, вона буде і на кратних їм 100 Гц і 200 Гц.

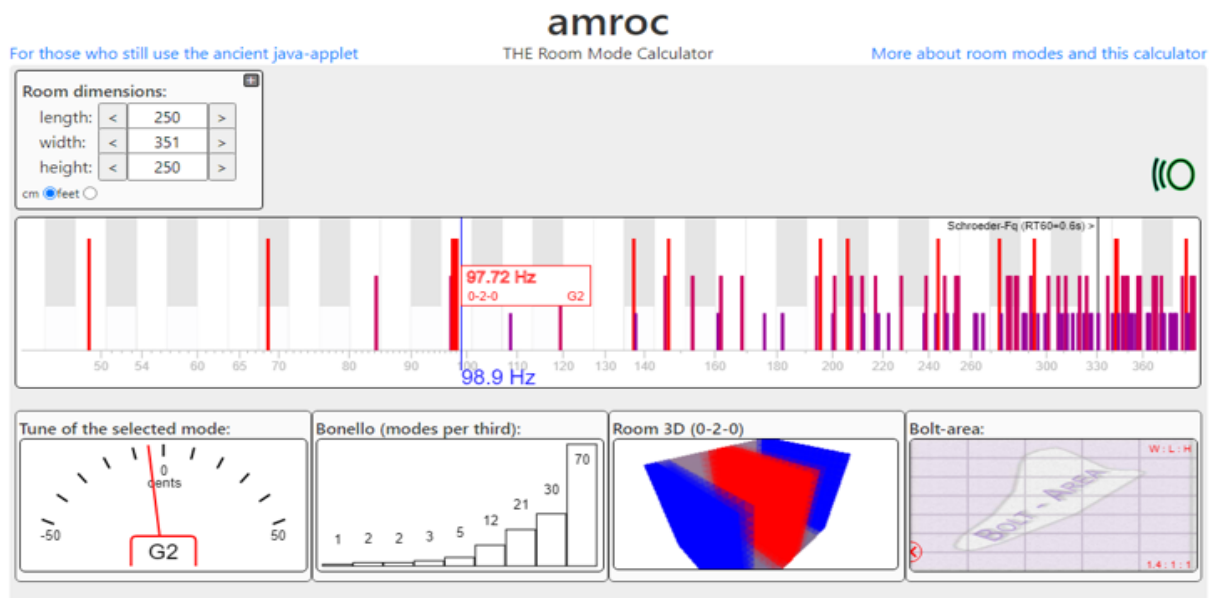


Рисунок 1.17 – Онлайн-калькулятор розрахунку кімнатних мод

Щоб виявити моди самостійно, достатньо включити кілька тестових сигналів на басових частотах і походити кімнатою. У деяких точках (наприклад, у кутах) басу буде дуже багато, а в деяких (зазвичай по центру) не буде взагалі. Воно і зрозуміло - частина хвиль складається з хвилями з саба, посилюючи один одного, а інша частина входить із джерелом у протифазу і утворює порожнечі. Має сенс запам'ятати ці точки, не ставити туди саб і не робити точку прослуховування.

Іноді таку точку знайти не вдається. Рішенням може бути встановлення другого сабвуфера, який розташовується в точці, де добре звучать частоти, що провалюються. Додавання другого сабвуфера не вирішить проблему стоячих хвиль або нерівномірного басу, але призведе до того, що більша кількість слухачів чутиме більш рівний загальний бас у більшій кількості місць.

Сабвуфери в закритому корпусі і драйвером, спрямованим у підлогу, найменш примхливі до місця розташування в приміщенні, а якщо сабвуфер має плавне регулювання фази, то саб можна ставити в будь-якій точці кімнати.

В останні роки поширився метод кардіоїдного розташування сабвуферів (рис. 1.18). Він заснований на точно розрахованому взаємному розташуванні і дозволяє керувати сумарною спрямованістю масиву із сабвуферів, змінюючи рівні сигналу певних груп елементів масиву. Це дає можливість усунути ефект

гребінчастого фільтра, забезпечити рівномірний бас без перепадів тиску і направити енергію суб-басів тільки вперед, або вперед і в сторони, залежно від геометрії простору, що озвучується. Ця ж технологія дозволяє практично повністю прибрати звук, що йде від сабвуферів назад, що забезпечує максимальну передачу звукової енергії вперед і отримати майже тишу на сцені. Іншими словами, звук від сабвуферів не заважає виконавцю на сцені.

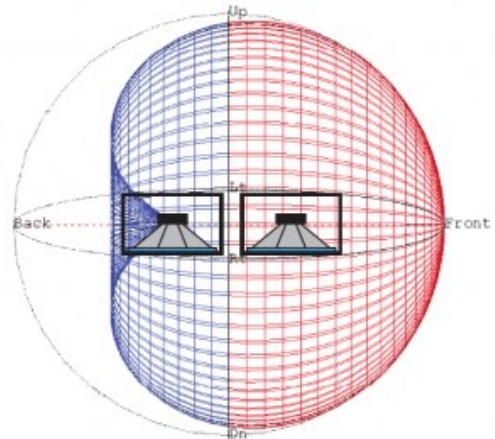


Рисунок 1.17 – Кардіоїдне розташування сабвуферів

Зазвичай це досягається через вбудований в сабвуфер DSP процесор, що виконує складну обробку, завдяки якій дзеркально розташовані НЧ-динаміки взаємодіють із задньою стінкою, забезпечуючи бажане придушення, і одночасно вони взаємодіють з передньою частиною, забезпечуючи бажану збірку на певних частотах. В результаті характеристика спрямованості таких систем має форму ідеальної кардіоїди (серця) з рівнем випромінювання в передньому напрямку вище на 15 дБ, ніж у задньому. Звукове випромінювання у напрямку жорсткої задньої стінки у цьому разі значно придушується.

1.8 Екстремальні сабвуфери

Існують сабвуфери, що побудовані на нетрадиційних фізичних принципах. Один з них - ротаційний сабвуфер, що може відтворювати сигнали від 1Гц.

В ньому використовується рух звичайної звукової котушки динаміка для зміни кута лопат вентилятора, що обертається з постійною швидкістю 600-800 оборотів за хвилину. Це щось близько до роботи несучого гвинта гелікоптера. Крок лопатей вентилятора контролюється звуковим сигналом, що подається на звукову котушку, і може гойдатися як позитивно, так і негативно по відношенню до положення лопатей, що обертаються, з нульовим кроком. Чим сильніше змінюється кут повороту, тим більше амплітуда. Акустична система складається з вентилятора і коробка зі звукопоглиначем, необхідного для зниження гучності призвуків обертання лопатей.

Оскільки підсилювач звуку змінює тільки висоту звуку лопатей, для управління поворотним низькочастотним динаміком потрібно набагато менше енергії на дБ генерованого рівня акустичного звуку, ніж для живлення звичайного сабвуфера, в якому використовується електромагніт, що рухається (звукова котушка).

Зовнішній вигляд інноваційного ротаційного сабвуфера TRW-17 показано на рис. 1.19, а його технічні характеристики наведені нижче [3]:

- вимоги до підсилювача: 150 Вт при навантаженні 8 Ом;
- імпеданс: 8 Ом при 0 Гц;
- частотна характеристика: 1 Гц - 30 Гц \pm 4 дБ;
- рекомендований кросовер: 20 Гц зі зрізом частотної заактеристики 18 дБ/октавау;
- чутливість: 94 дБ (1 Вт; 1 метр; 10Hz).

Максимальний акустичний вихід > 115 дБ в діапазоні від 1 до 20 Гц.
Спотворення: зазвичай 3% або менше в діапазоні від 1 до 20 Гц при рівні 90dB.

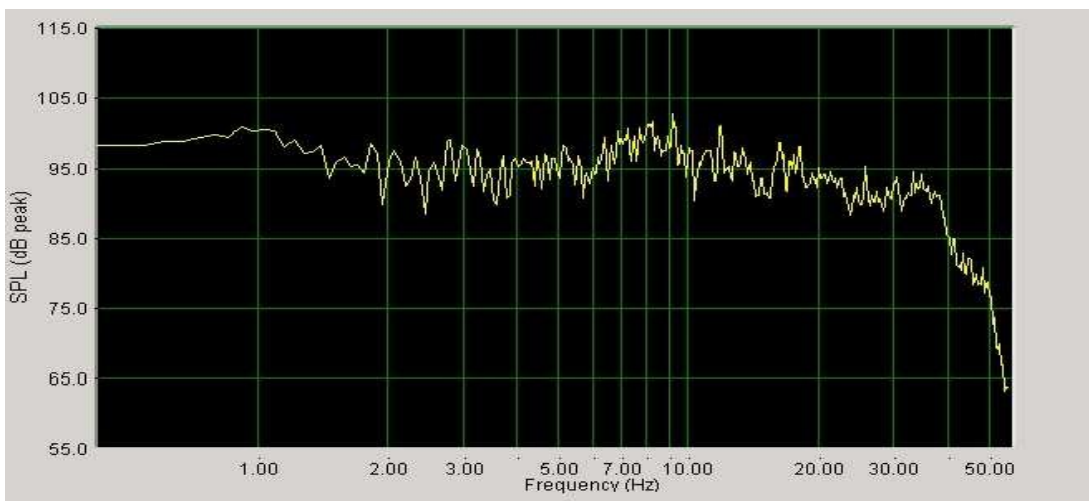


Рисунок 1.19 - Ротаційний сабвуфер TRW-17 та його АЧХ

Ще один сабвуфер, що був розроблений італійською фірмою Powersoft на лінійному двигуні з рухомим магнітом. Винахідники зробили лінійний двигун M-force 01 з довгим кидком для інфра-субзастосувань та лінійний двигун короткого кидка M-force 02 для застосування з високим прискоренням. [4]

Завдяки більшому лінійному переміщенню M-Force 01 призначений для застосування прямого випромінювання та смугового пропускання, що дозволяє виробникам звести розміри шаф до мінімуму. M-Force 02 розроблений для досягнення високої надійності при екстремальних навантаженнях, таких як застосування смуг пропуску та конфігурації навантажених рупорів. Генеруючи лінійний рух за допомогою паралельних рухомих магнітів, M-Force перевершує обмеження традиційних рухомих котушок.

В M-Force 301P01 (рис.1.20) двигун підібраний до спеціально побудованої діафрагми завдяки розробленій муфті та легкому шасі, що також покращує теплове розсіювання. Потреба в зовнішній пружині також була відкинута, оскільки дія магнітної пружини від лінійного руху забезпечується лише двигуном із магнітами.

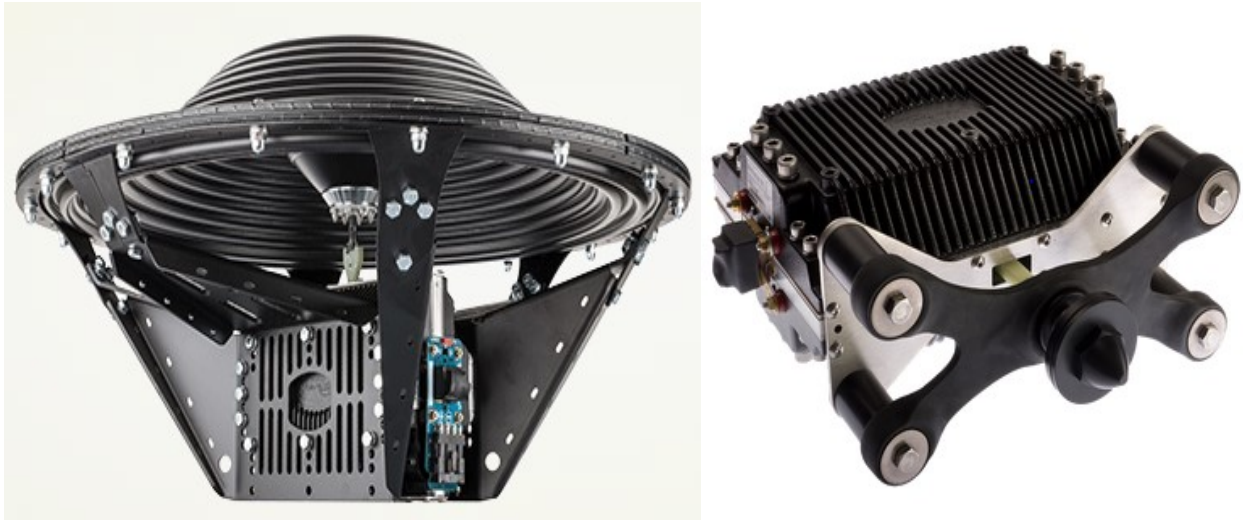


Рисунок 1.20 – Перетворювач лінійного двигуна з рухомим магнітом
Powersoft M-Force 301P02

Українська фірма MAG, взявши за основу італійську технологію, розробили MAG THOR з драйвером 30” – «найбільш передовий сабвуфер у світі, покликаний відкрити новий рівень відтворення кінозвучу». [5]

При частотному діапазоні від 18 до 120 Гц і максимальному звуковому тиску (піку) в 145 дБ, THOR (рис. 1.21) значно перевершує своєю деталізацією і глибиною відтворення традиційні сабвуфери для кінотеатрів.

Механічні данні:

- розміри (ШхВхГ) - 1672 × 1350 × 746 мм;
- маса нетто - 220 кг;
- матеріали корпусу - Фанера, зносостійка фарба.

MAG THOR оснащений інноваційним підсилювачем класу D з величезним запасом потужності, що забезпечує винятковий звуковий тиск і номінальну потужність в 5000 Вт.



Рисунок 1.21 – Сабвуфер MAG THOR заснований на технології M-Force від Powersoft

На сьогодні такий сабвуфер встановлений в кінотеатрі «Оскар» у київському ТРЦ Гулівер.

1.9 Висновки за розділом

Під час прослуховування різноманітних звукових творів, бас є важливою частиною звукової картини. Закони фізики обумовлюють необхідність великих динаміків, щоб відтворювати низькочастотний звук ефективно і без спотворень. Технічно складно інтегрувати відповідний гучномовець в звичайні багатодіапазонні колонки, це призведе до значного подорожчання акустики. Крім того, вбудовувати потужний НЧ динамік в кожну колонку безглуздо з точки зору акустики, людський слух не здатний розрізнити напрямок звучання басів.

Побудова й розрахунок параметрів акустичної конструкції для НЧ динаміка - завдання не з легких. Звичайно, можна проектувати сабвуфер вручну, але час, необхідний для розрахунку оптимального корпусу для конкретного динаміка, може бути витрачено даремно, так як це може виявитися

не найкращим варіантом, і згодом доведеться розраховувати інший. Це дуже трудомістко і значно знижує можливість експериментувати з варіантами дизайну на папері перед початком практичної реалізації проекту.

Цей висновок підтверджує необхідність проведення додаткових досліджень при обранні методів та засобів проектування сабвуферів з застосуванням спеціалізованого програмного забезпечення, яке може значно полегшити роботу розробнику при випробуванні безлічі варіантів «на екрані комп'ютера», перш ніж зробити остаточний вибір перед практичною реалізацією.

2 МЕТОД ТА ЗАСОБИ РОЗРОБКИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ САБВУФЕРА

Перед початком дослідження, потрібно розрахувати корпус сабвуфера та отримати вихідні дані. Для закритої коробки це обсяг, для фазоінвертора - це обсяг корпусу, площа поперечного перерізу порту і його довжина, для акустичного лабіринта - довжина і площа поперечного перерізу тунелю, для бандпасів - обсяг відсіків, площа і довжина портів, форма корпусу. Всі ці

параметри потрібно розрахувати і використовувати для цього спеціальні програми. Основою для всіх розрахунків служать параметри Тіля-Смолла.

Правильний розрахунок сабвуфера полягає в розробці конструкції, в якій динамік буде видавати відповідні смакам і музичним уподобанням баси. Наприклад, для закритої коробки плавність частотної характеристики і характер звуку буде залежати від гучності корпусу, який потрібно буде підбирати, виходячи з характеристик динаміка сабвуфера. Для фазоінвертора частота настройки і частотна характеристика горба залежить від обсягу корпусу, обсягу порту, його довжини форми і перетину і т.д.

2.1 Програми для розрахунку корпусу сабвуфера

2.1.1 Програма розрахунку компанії JBL

Програма JBL Speakershop була створена в 1995 році фахівцями американської компанії JBL [6]. Компанія входить до складу асоціації «Harman International Industries», що спеціалізується на виробництві висококласних акустичних систем і супутньої електроніки.

Програма JBL Speakershop включає в себе дві незалежні програми: Enclosure Module і Crossover Module.

Enclosure Module або «Модуль корпусу» призначений для визначення необхідного обсягу і розміру корпусів низькочастотних гучномовців. Якість звуку конструкції оцінюється в режимі нормального рівня прослуховування (аналіз по малим сигналам, включаючи групову затримку, фазову і амплітудно-частотну характеристику, опір звукової котушки) і на максимальній гучності (аналіз на великі сигнали з урахуванням показника теплоакустичної потужності на середніх частотах і максимальної потужності при різних відхиленнях).

Утиліта Enclosure Module (рис 2.1) дозволяє вибрати два напрямки проектування корпусів: з урахуванням конкретних динаміків або шляхом вибору правильних динаміків для існуючого корпусу (обмежений простір).

Розглянутий модуль програми пропонує моделювання пакетів з фазоінвертором користувача, оптимальних і призначених для унікальної смуги частот структур, пакетів з пасивним випромінювачем, а також закритих систем оптимального або користувацького типу. Одночасна демонстрація конструкції всіх типів полегшує їх порівняльний аналіз. У програмі описана структура і основні параметри кожного типу корпусів, наведені списки їх переваг і недоліків. Для новачків є довідковий файл для полегшення роботи, а також приклади з відповідними примітками та інструкціями.

У набір мінімальних параметрів, необхідних для конструкції корпусу, входить найменування виробника і номер моделі, а також значення резонансної частоти динаміка, обсяг повітря з пружністю, рівний пружності підвіски динаміка і коефіцієнт якості пристрою з урахуванням всіх втрат. Повний перелік параметрів включає довгий ряд механічних, електричних і комбінованих значень проєктованого пристрою. Крім іншого, модуль корпусу JBL Speakershop будує графіки максимальної потужності звуку, амплітудно-частотної характеристики (нормалізованого і при подачі тестового сигналу 2,83 В), опору звукової котушки, групових і фазових затримок.

Друга частина програми JBL Speakershop - Crossover Module або «Модуль кросовера», призначена для визначення параметрів кросоверних фільтрів, які ділять сигнал на низькі і високі частоти. Утиліта розраховує дво- і тристоронні пасивні системи поділу першого, другого, третього і четвертого порядків за допомогою ряду типових фільтрів: Чебишева, Бесселя, Баттерворта, Гаусса, Лежандра, Лінквіца-Райлі і деяких інших.

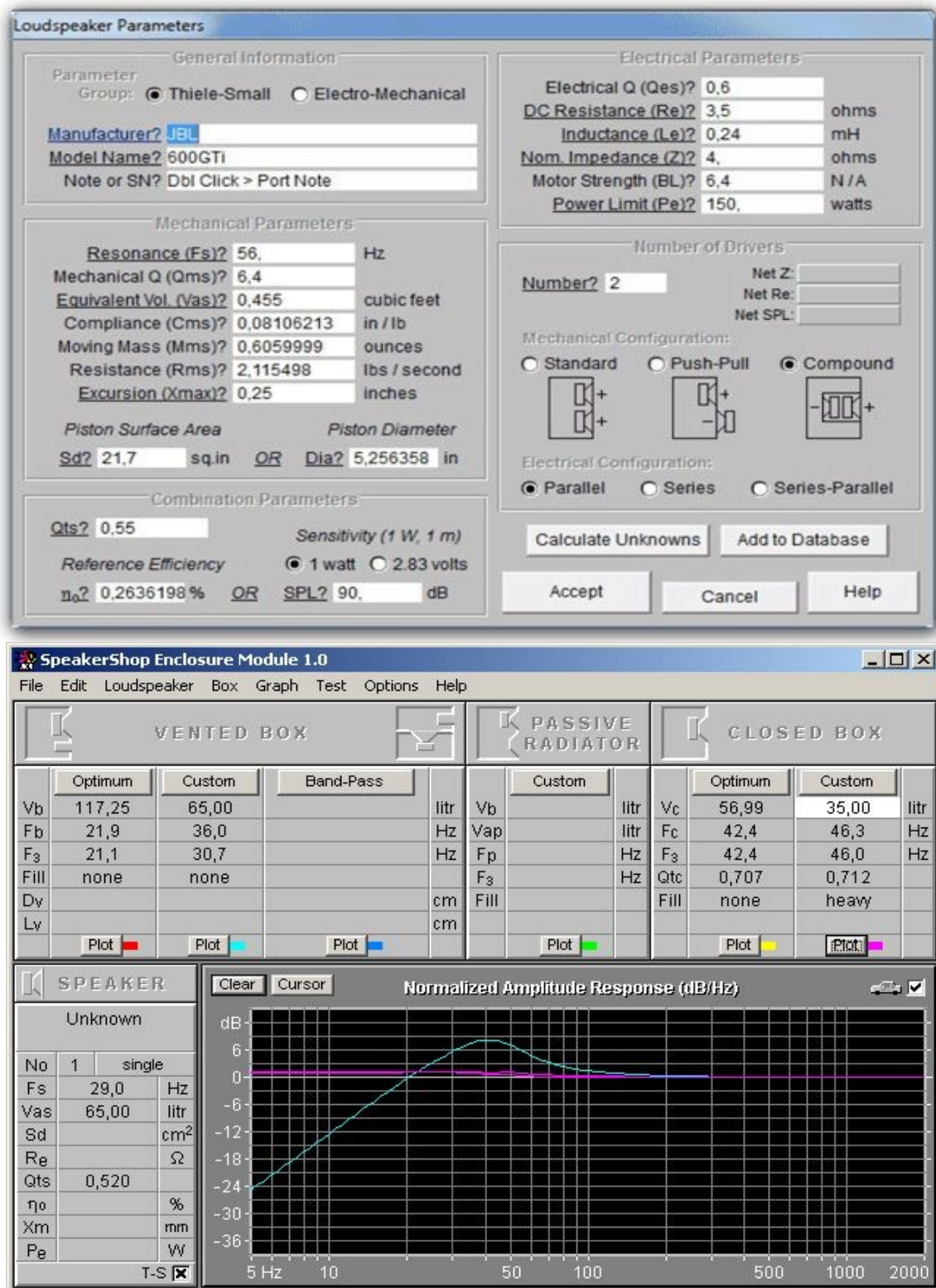


Рисунок 2.1 – Проектування за допомогою утиліти Enclosure Module
 Результатом роботи є побудова детальної електричної принципової схеми
 унікальної системи кросовера з докладним описом кожного елемента.

2.1.2 Програма розрахунку компанії Харріс Технолоджіс

Програма BassBox 6 Pro – провідна сучасна програма для розрахунку акустичного дизайну сабвуфера (закрита скринька, фазоінвертор, смугаста) від компанії Харріс Технолоджіс (Harris Tech). Вона включає в себе найбільшу в світі базу параметрів динаміків. Користувачі можуть додавати, редагувати або видаляти динаміки, а в базі даних можна шукати за виробником, назвою моделі драйвера, які можна оновити через сайт розробника програми [7], параметрами або придатністю для закритого або вентильованого ящика.

Як і JBL Speakershop, розрахунок ведеться на основі параметрів Тіля-Смолла, будує графіки частотної характеристики і при потребі враховує частоту передачі салону автомобіля.

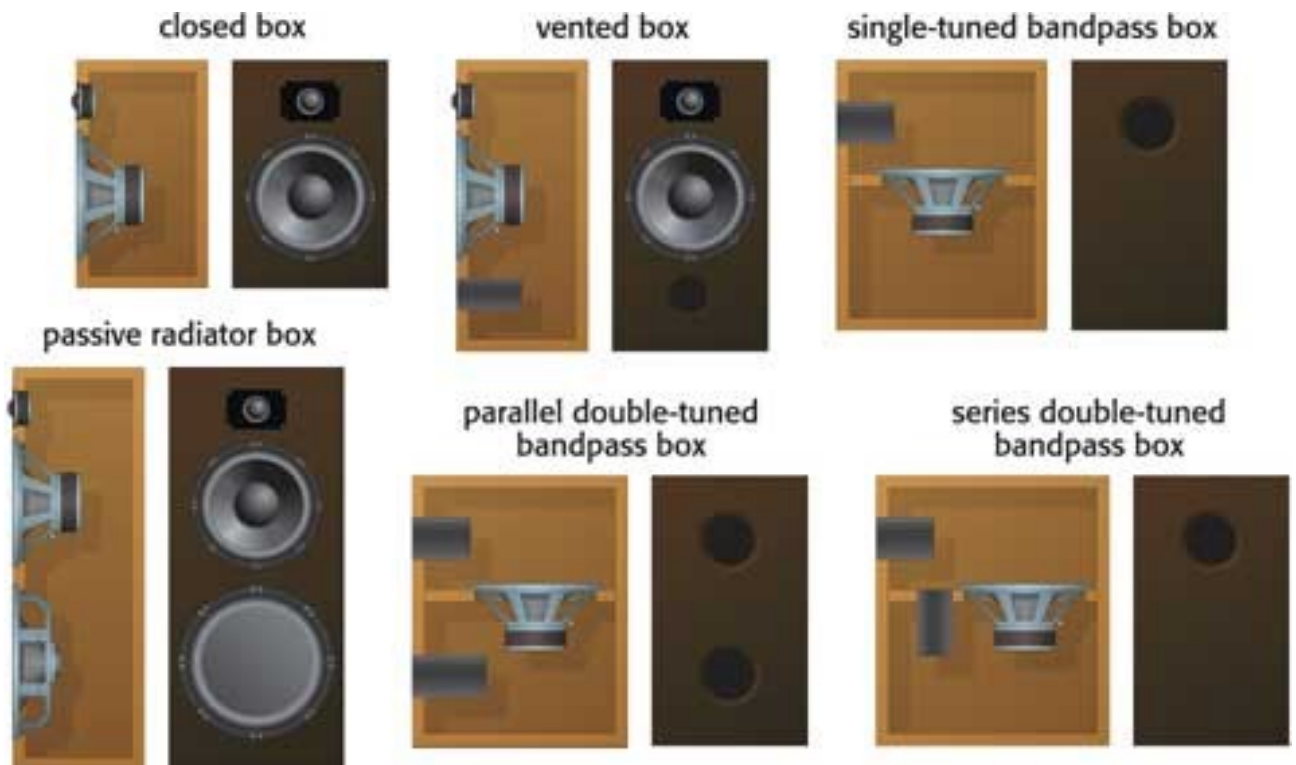


Рисунок 2.2 – Різновиди акустичного дизайну програми BassBox 6 Pro

Підтримується багато різних типів акустичного оформлення (рис. 2.2), включаючи: закриті скриньки, фазоінвертори, одноналаштовані та подвійно

налаштовані бандпаси з двома або трьома камерами та пасивні радіаторні коробки.

«Експертний режим» доступний для автоматичної оцінки параметрів драйвера та виявлення помилок. Включає вбудовану процедуру тестування для вимірювання параметрів динаміків і пасивних радіаторів, щоб допомогти виміряти більшість параметрів Тіля-Смолла (потрібне спеціальне випробувальне обладнання). Програма обробляє багатодрайверні, ізобарні конструкції з різноманітними варіантами проводки. Обробляє драйвери двоголосової котушки з окремими параметрами для кожного методу проводки звукової котушки.

Доступні створення та друк креслень коробок і списків частин коробки, 22 різні форми корпусу вже є в базі (рис. 2.3).

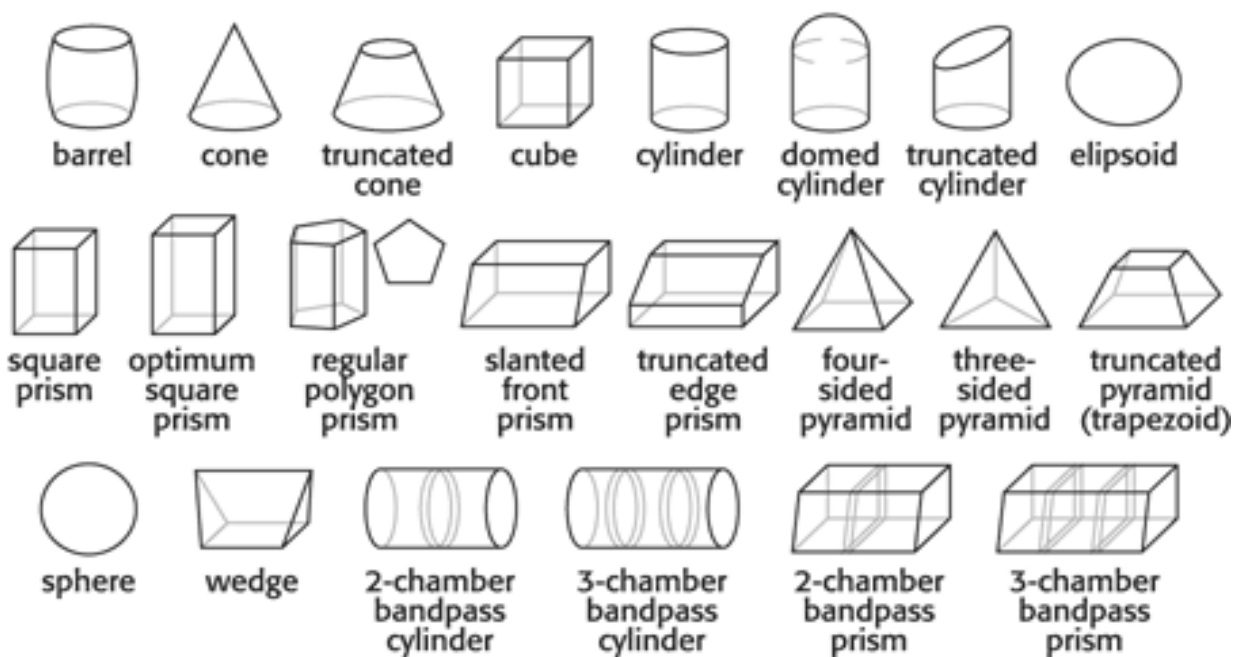


Рисунок 2.3 – Різновиди дизайну корпусу програми BassBox 6 Pro

Центральним елементом BassBox 6 Pro є головне вікно зі змінним розміром (рис. 2.4), яке містить короткий опис усіх відкритих дизайнів. Одночасно можна відкрити до десяти конструкцій.

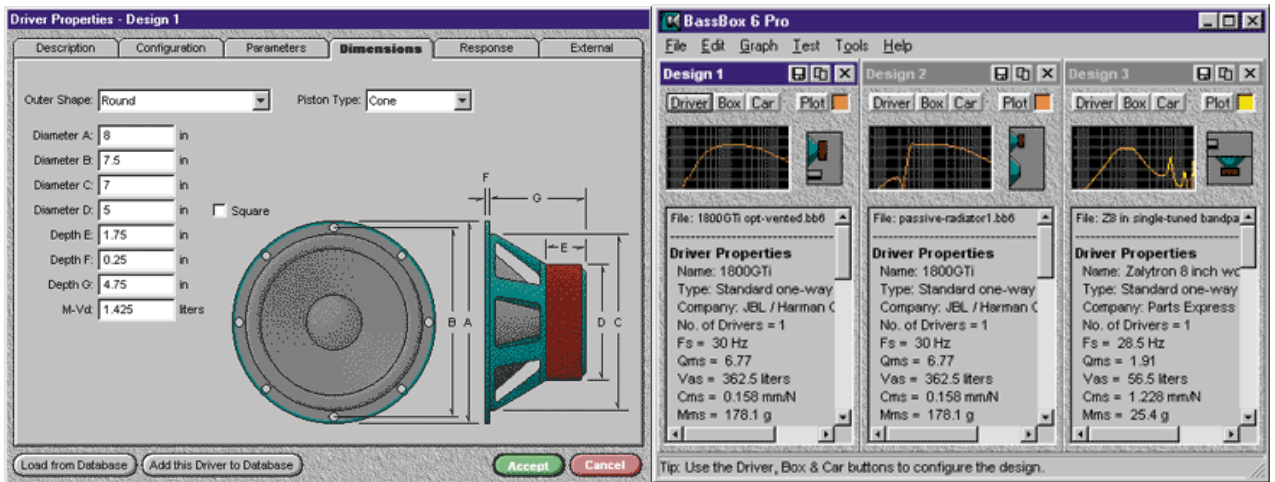


Рисунок 2.4 – Головне вікно програми BassBox 6 Pro

Для кожного дизайну надається графік попереднього перегляду, щоб показати його амплітудну характеристику. Ці графіки попереднього перегляду автоматично оновлюються щоразу, коли змінюється оформлення, забезпечуючи зворотний зв'язок у реальному часі. Невелике зображення біля кожного міні-графіка відображає тип вибраного акустичного оформлення.

BassBox 6 Pro надає 9 графіків для оцінки продуктивності дизайну динаміка. Для аналізу малих сигналів надаються графіки нормалізованої амплітудної характеристики, імпедансу системи, фазової характеристики та групової затримки. Для аналізу великого сигналу надаються графіки спеціальної амплітудної характеристики (рис. 2.5), максимальної акустичної потужності,

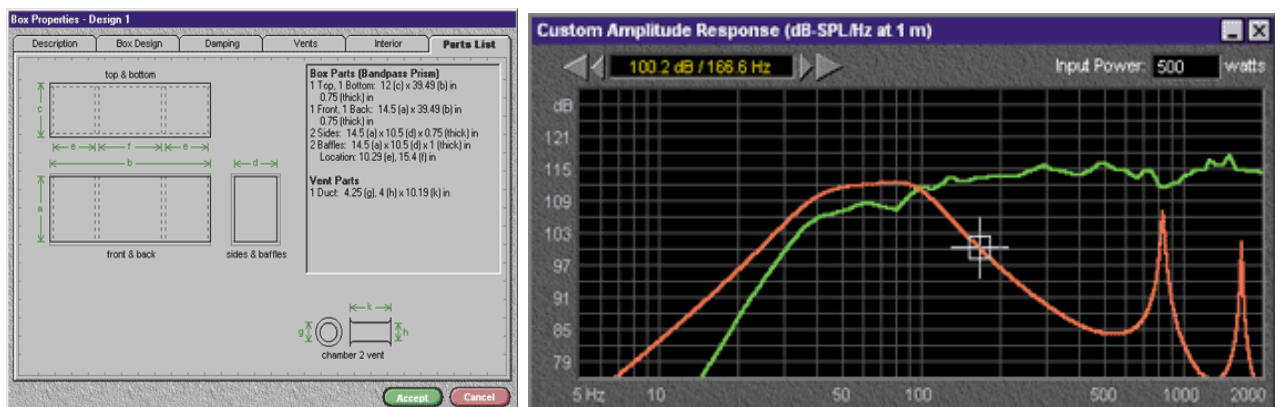


Рисунок 2.5 – Графіки для оцінки продуктивності акустичного оформлення максимальної електричної вхідної потужності, зміщення конуса та швидкості вентиляційного повітря.

2.1.3 Програма розрахунку Speaker Vox Lite від О. Абдуліна

Основна функція програми Speaker Vox Lite [8] - розрахунок обсягу корпусу сабвуфера (або простого динаміка) за його параметрами Тіля-Смолла (F_s , V_{as} , Q_{ts}).

Програма підтримує розрахунки для корпусів типу: закриті, фазоінвертори, смугові 4-го порядку і смугові 6-го порядку, розраховує АЧХ, ФЧХ, групові затримки, зміщення дифузора та графіки SPL для всіх типів конструкцій, генерує різні типи параметрів корпусу, такі як оптимальний обсяг, максимально плоска частотна характеристика та інші.

Також можливий розрахунок параметрів круглих і щілинних портів, облік отворів, розрахунок загального необхідного обсягу з урахуванням обсягів, переміщених портами і динаміками.

Програма Speaker Vox Lite доступна також в мобільній версії (рис. 2.6)

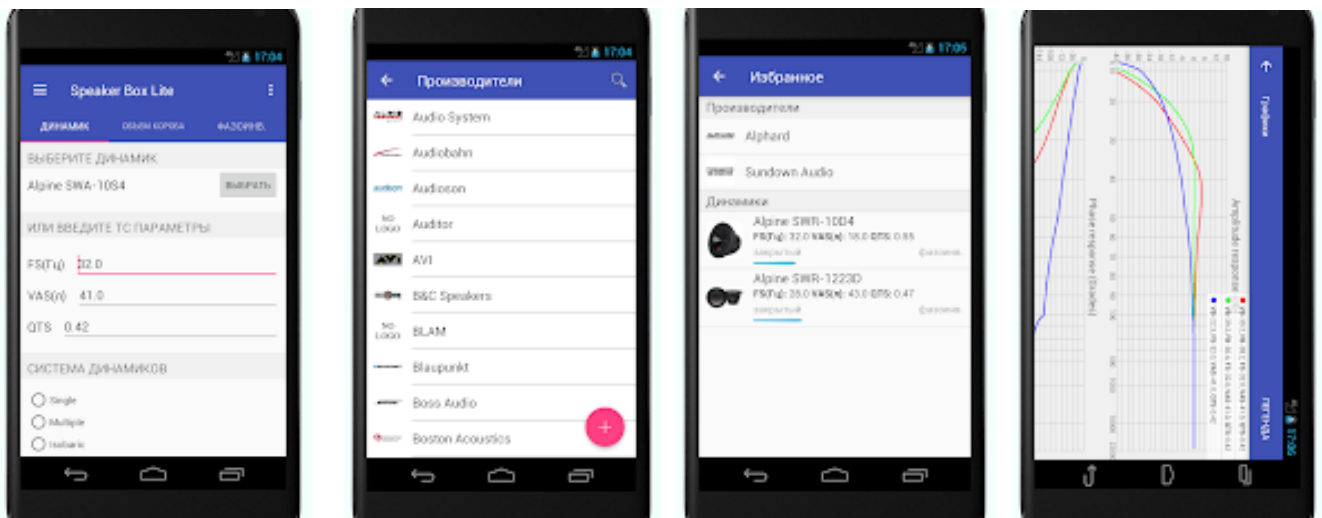


Рисунок 2.6 – Програма Speaker Box Lite в мобільній версії

2.1.4 Програма розрахунку BassPortMaster від Е. Міцкевича

Програма BassPortMaster [9] є вузькоспеціалізованою програмою (рис. 2.7), призначеною для розрахунку портів фазоінверторів на певний обсяг, повністю розрахувати випадок в ній не представляється можливим. Вся увага спрямована на проектування портів з урахуванням повітряних потоків, форм, відстаней до стін і перегородок.

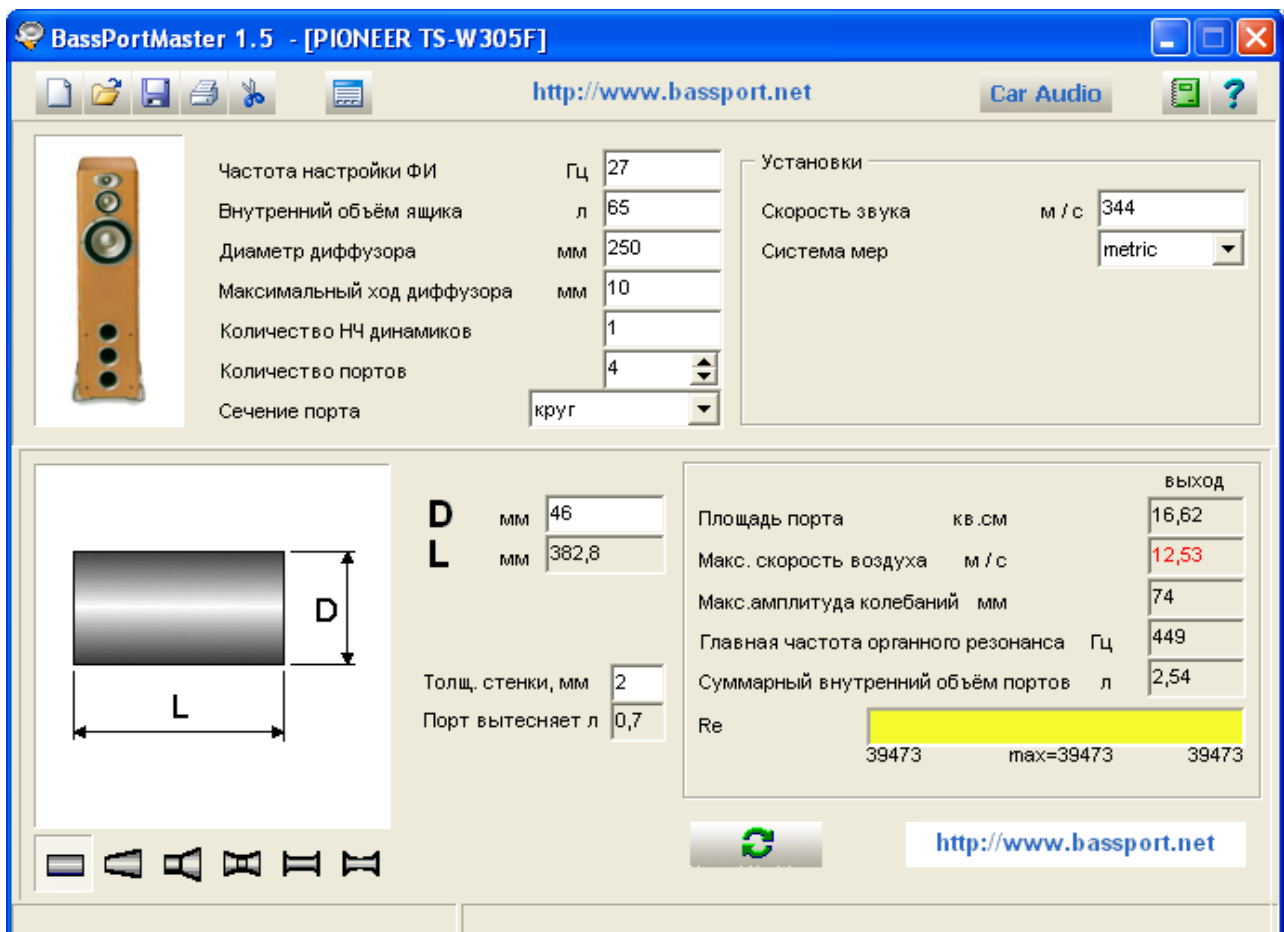


Рисунок 2.7 – Інтерфейс програми та приклад розрахунку сабвуфера програмою BassPortMaster

2.1.5 Програма розрахунку Subwoofer Enclosure Design Software

Онлайн-калькулятор корпуса сабвуфера Subwoofer Box Calculator [10].

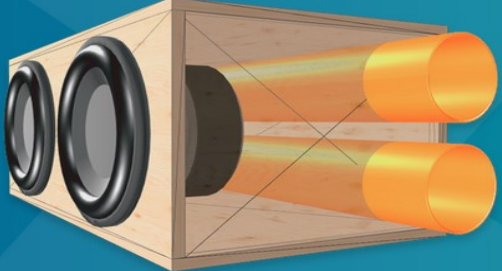
Рекламна заставка калькулятора та варіанти побудови корпусів сабвуферів наведені на рис. 2.8.

Підсиринька Калькулятор Об'єму [Зареєструватися](#) [Ввійти](#) [UK](#)

ПРОГРАМА ДЛЯ РОЗРАХУНКУ КОРОБКИ САБВУФЕРА ОНЛАЙН

Розрахунок коробки для сабвуфера

[ЗРОБИТИ РОЗРАХУНОК КОРОБКИ](#)



Створіть свій власний дизайн коробки сабвуфера. Це дуже просто!

Ми можемо надати вам комплексне програмне забезпечення для дизайну сабвуферних коробок для створення високопродуктивного басового боксу. Побудуйте портовану коробку, герметичну коробку для низькочастотного динаміка. Складіть план корпусу сабвуфера. Розрахуйте гучність коробки динаміків, довжину порту та інші параметри, не плутаючись у формулах.

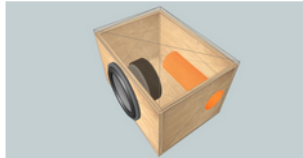
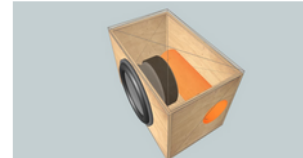
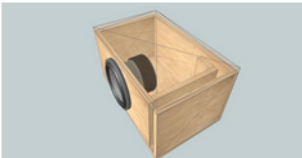
 8-дюймовий сабвуфер Портовано Труба на правій панелі	 10-дюймовий сабвуфер Портовано Труба на правій панелі	 12-дюймовий сабвуфер Портовано Труба на правій панелі	 15-дюймовий сабвуфер Портовано Труба на правій панелі
 8-дюймовий сабвуфер Портовано Слот на передній панелі	 10-дюймовий сабвуфер Портовано Слот на передній панелі	 12-дюймовий сабвуфер Портовано Слот на передній панелі	 15-дюймовий сабвуфер Портовано Слот на передній панелі

Рисунок 2.8 – Приклад розрахунку програми Subwoofer Box Calculator

2.1.6 Пакет програм компанії Tolvan Data

Tolvan Data – це компанія, що спеціалізується на комп'ютерному програмному забезпеченні для вимірювання та моделювання акустичних

систем [11]. Програма The Edge (рис. 2.9) - це симулятор «кроку перегородки», який є наслідком дифракції на краях корпусу гучномовця.

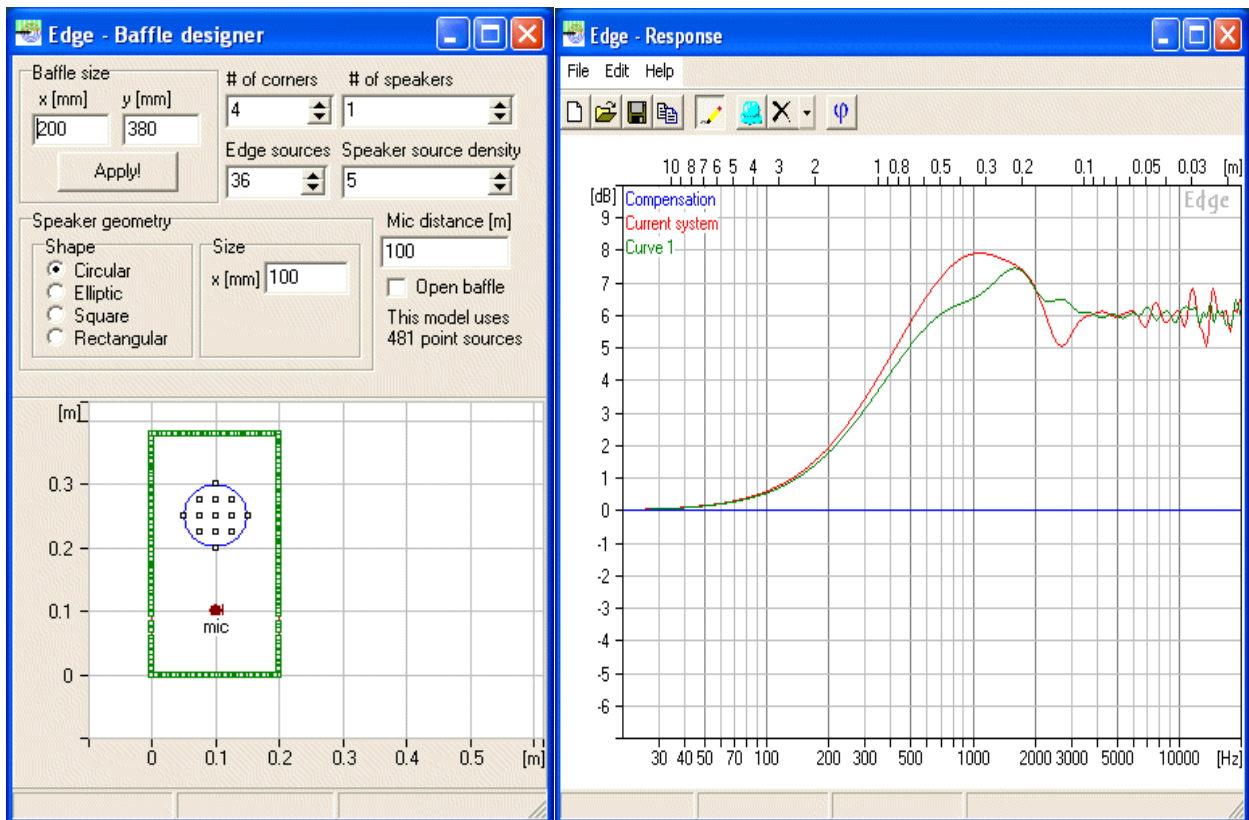


Рисунок 2.9 – Програма The Edge програмного пакета Tolvan Data

Програма The Edge дозволяє моделювати частотні характеристики в залежності від розміщення динаміків та портів фазоінвертора відносно корпусу сабвуфера.

Sirp - комп'ютерна програма для вимірювання на гучномовцях. Sirp (рис. 2.10) можна використовувати для вимірювання акустичної частотної характеристики, а також використовувати техніку gating, яка усуває відображення приміщення на високих частотах. Sirp використовує логарифмічні синусоїдальні розгортки і виводить імпульсну реакцію системи з реакції на розгортку колоди. За допомогою спеціальної техніки також можна виміряти гармонійні спотворення для всього діапазону частот, використовуючи лише одну розгортку в кілька секунд.

Програма Sirp також може бути використана для вимірювання електричного імпедансу гучномовця як функції частоти.

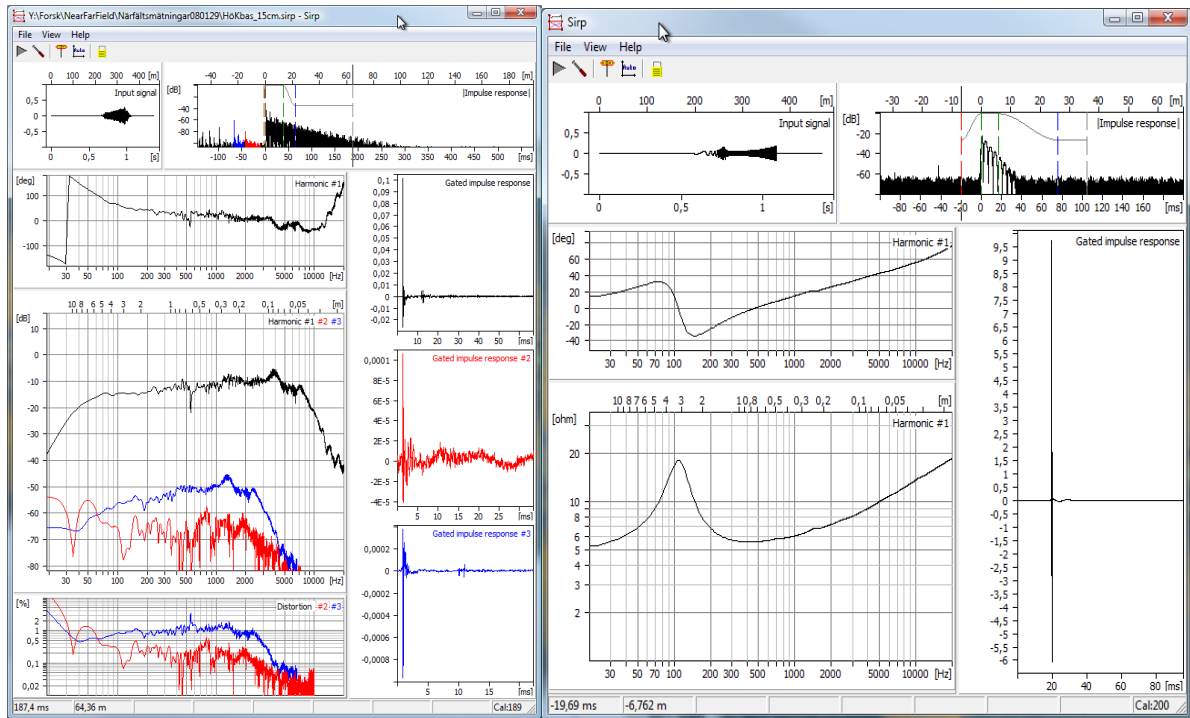


Рисунок 2.10 – Програма Sirp програмного пакета пакета Tolvan Data

Basta! - комп'ютерна програма пакета Tolvan Data для моделювання акустичних систем. Basta! (рис. 2.11) може імітувати відкриті перегородки, закриті скриньки, вентилязовані коробки («басовий рефлекс», фазоінвертор) і одно- і двопортові смугові системи. Для портованих корпусів можна імітувати резонанси труб у вентиляційному отворі. Замість вентиляційного отвору корпуси можуть мати пасивний радіатор. Basta! також включає моделювання кроку перегородки, індуктивності звукової котушки з втратами, декількох та ізобарних драйверів.

Basta! показує графіки частотної характеристики системи та окремих драйверів і портів, швидкості конуса і вентиляційного отвору і руху повітря, напруги приводу тиску коробки, електричного імпедансу і його резистивної та індуктивної частин.

Програма Basta! також може розрахувати максимально дозволений вихідний рівень системи, виходячи з максимальної напруги підсилювача потужності та інших параметрів.

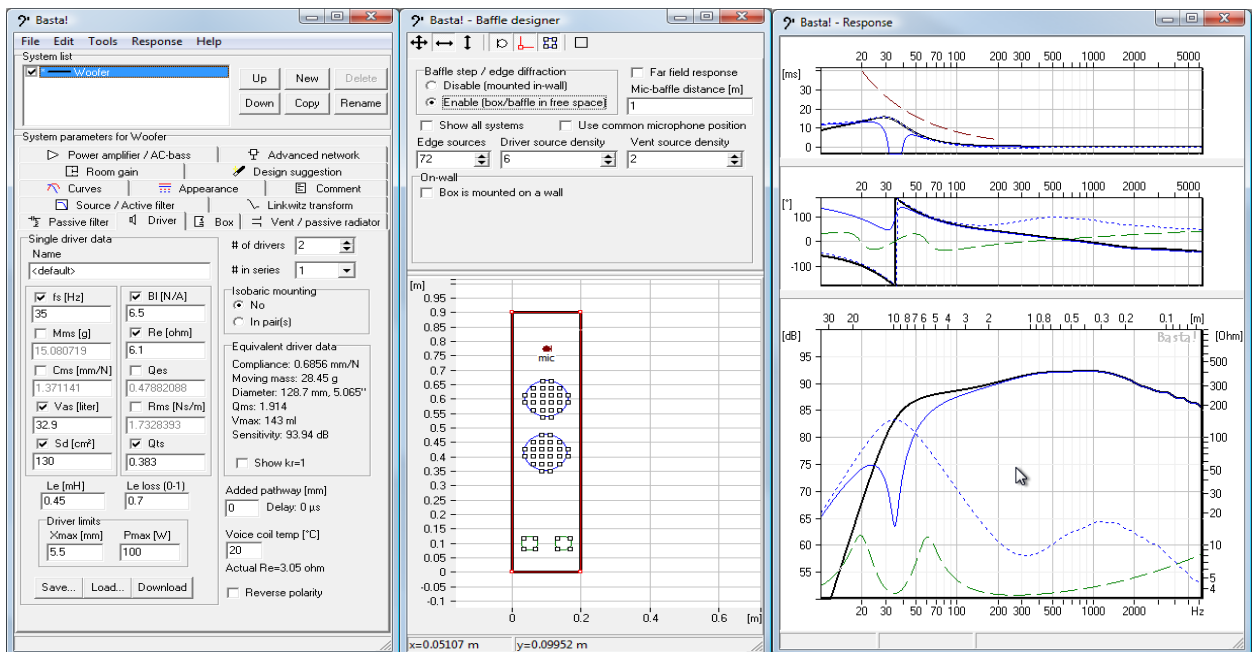


Рисунок 2.10 – Програма Basta! програмного пакета Tolver Data

2.2 Вимірювання параметрів Тіля-Смолла динаміка за допомогою комп'ютера

Вимірювання параметрів Тіля-Смолла проводиться за допомогою програми AudioTester [12]. Для вимірювань за допомогою комп'ютера, потрібно зробити простий пристрій з одним резистором (рис. 2.11) - дві частини екранованого кабелю, два роз'єми jack 3.5 mm для підключення до ПК, резистор 10 Ом, два провoda з крокодилами або клемми для підключення до динаміка. Для виготовлення таких проводів краще використовувати акустичний кабель достатнього перетину.

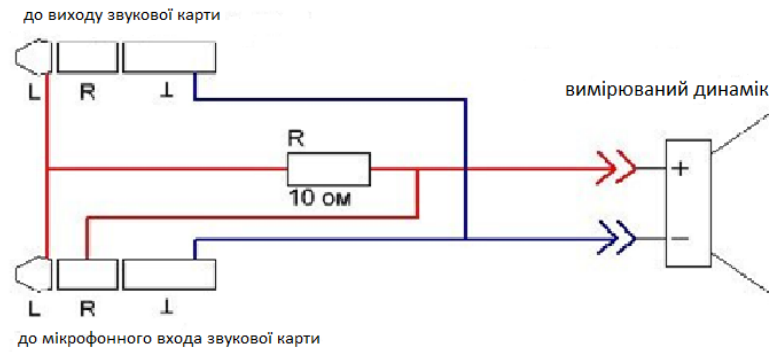


Рисунок 2.11 – Схема для вимірювання параметрів Тіля-Смолла

Після встановлення програми на комп'ютер, треба встановити гучність динаміків і мікрофона на 100% і вимкнути усі покращувачі, якщо вони ввімкнені (наприклад, об'ємний звук, компенсація тону тощо). Також потрібно повністю видалити посилення мікрофона. Підключаємо кабель до комп'ютера, у програмі натискаємо кнопку TSP.

Перш ніж виміряти динамік, потрібно зробити калібрування, щоб врахувати опір виготовленого кабелю. Замість динаміка підключаємо до іншого кінця кабелю резистор з опором, близьким до динаміка. Для калібрування використовувався резистор 6,6 Ом. Натискаємо кнопку «Пуск» і дивимся на зелену криву, щоб побачити, наскільки правильно AudioTester вимірює опір резистора. При необхідності змінюємо значення в полі Імпеданс, поки не отримаємо максимально точний збіг (рис. 2.12).

Тепер можна приступати до вимірювання динаміка. Що стосується того, як це правильно зробити, то тут є 2 протилежні точки зору. Деякі стверджують, що динамік слід вішати люстрою в центрі великої кімнати зі стінами, застеленими килимами. Інші стверджують, що гучномовець слід затиснути в лещатах. На мій погляд, правильно робити так, як рекомендує сам автор AudioTester - динамік при вимірюванні слід класти на м'яку подушку дифузором вгору.

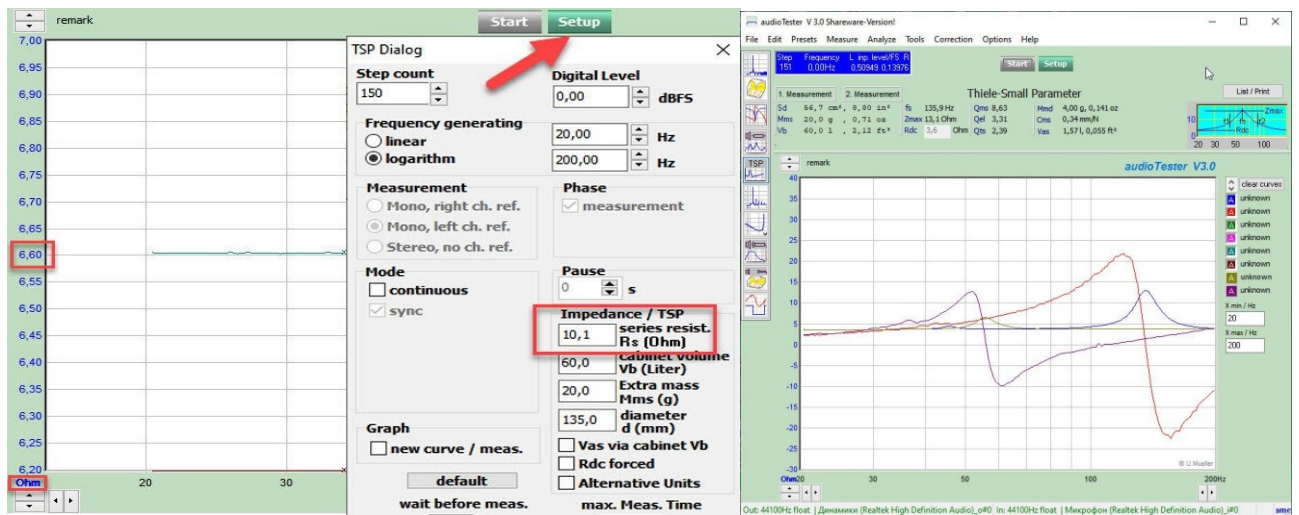


Рисунок 2.12 – Калібрування схеми та робота програми AudioTester для вимірювання параметрів Тіля-Смолла

Далі зберігаємо результати в текстовий файл кнопкою List / Print, а потім вносимо ці значення в одну з вищеописаних розрахункових програм, наприклад JBL SpeakerShop, Bassbox 6 Pro, і т.д.

2.3 Деякі аспекти акустичного оформлення сабвуферів

Існує декілька безіменних ідей стосовно корпусів сабвуферів та відповідного розміщення динаміків і повітряних портів (фазоінверторів) відносно них.

Перша ідея полягає в тому, що рівновіддаленість динаміка від стін викликає найбільшу вібрацію корпусу і максимальний вплив відбитих хвиль на динамік. Зворотні звукові хвилі від мембрани динаміка одночасно досягають всіх стінок корпусу і відбиваються від них і впливають на динамік одночасно. В результаті впливу зворотної звукової хвилі на корпус, він починає вібрувати і випромінювати власні звукові хвилі з певною частотою (стоячі хвилі). Стоячі хвилі можуть гасити деякі частоти і надавати небажане забарвлення звуку. В результаті погіршується частотна характеристика сабвуфера. З чотирьох варіантів, представлених на (рис. 2.13), найкращим, є крайній правий, в якому відстань від динаміка до всіх стінок коробки відрізняється. Зворотні хвилі не

досягають стінок корпусу і динаміка одночасно, тим самим мінімізуючи їх небажаний вплив на динамік, визиваючи покращення частотної характеристики сабвуфера.

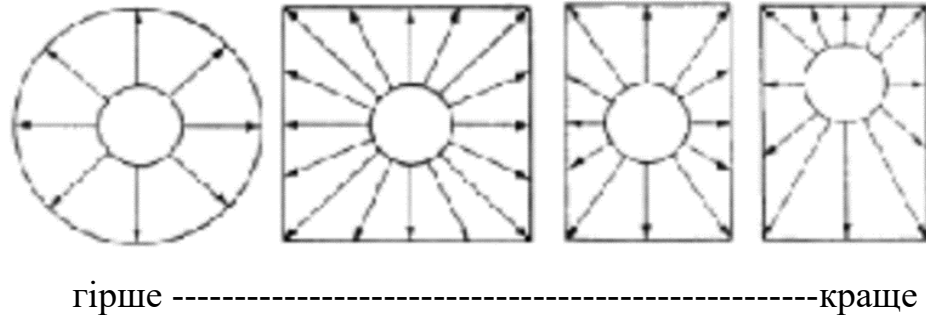


Рисунок 2.13 – Розміщення динаміка сабвуфера відносно корпусу

Друга ідея полягає в тому, що нерівномірність АЧХ викликана конструкцією системи, точніше її корпусом (рис. 2.14).

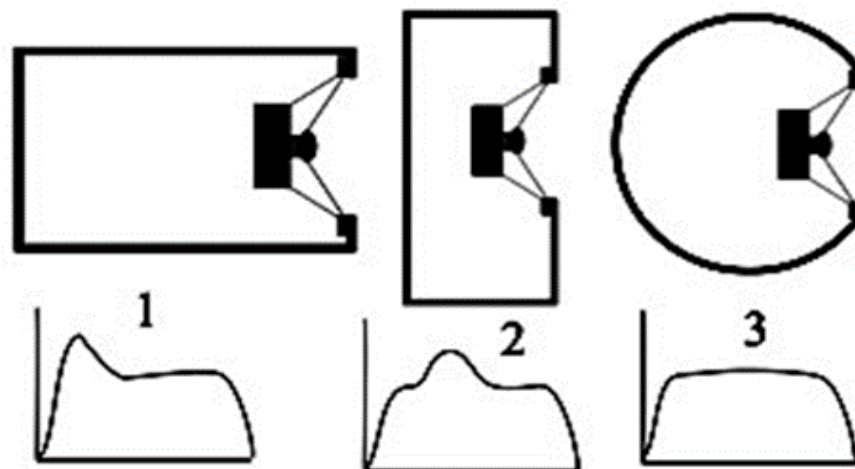


Рисунок 2.14 – Нерівномірність АЧХ в залежності від конструкції корпусу

У варіанті акустичного оформлення (1) присутній сплеск на низьких частотах. У варіанті (2) те ж саме, але ближче до середнього. Варіант (3) вважається найкращим.

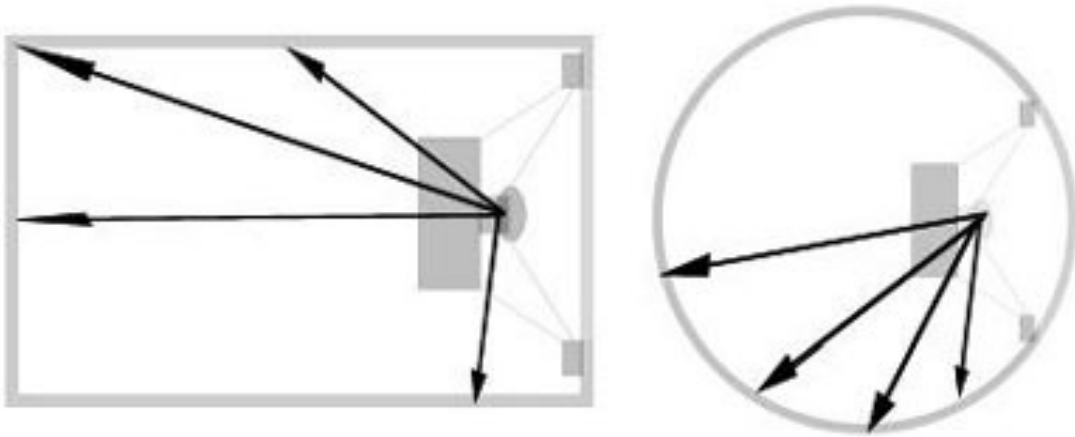


Рисунок 2.15 – Рух звукової хвилі всередині корпусу сабвуфера

Все це пов'язано з внутрішніми резонансами всередині корпусу. Звукова хвиля, що йде від динаміка, рухається всередині корпусу, відбиваючись від його стінок, поки не вийде назовні (рис. 2.15).

Час проходження хвилі є коефіцієнтом резонансної частоти. Нерівності внутрішніх стінок корпусу – це по суті нерівності характеристик частотної характеристики акустичної системи. Саме тому сферичні корпуси давали більш лінійну характеристику без різких вплесків. Судячи з цих умов, можна створити тіло з безліччю поверхневих кривизн, складних форм і лабіринтів перегородок, тим самим просто замаскувавши резонанс купою побічних резонансів. Це дозволяє трохи вирівняти лінійність частотної характеристики, як це роблять виробники висококласних динаміків.

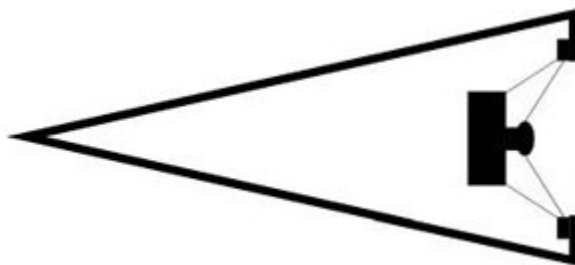


Рисунок 2.16 – Конструкція корпусу сабвуфера в формі конуса

Третя ідея полягає в тому, що зробивши корпус у формі витягнутого конуса (рис 2.16), можна забезпечити плавний перехід резонансу від високих до низьких частот. Глибина конуса розраховується, виходячи з нижньої межі частот, що відтворюються динаміком. Довжина конуса для НЧ динаміка може перевищувати 10 метрів, тоді його доведеться скручувати в «равлика» для компактності.

Виходячи з вищеописаного, зробимо постановку завдань дослідження, яке включатиме дослідження залежності амплітудно-частотної характеристики від акустичного оформлення корпуса сабвуфера, проаналізуємо залежність параметрів системи при акустичному оформленні «фазоінвертор» від типу (круглий, щілинний) та розмірів повітряного порта, оберемо кращий варіант за мінімальної нерівномірності нормалізованої АЧХ. Зробимо проміжні висновки, після чого дослідимо залежність АЧХ обраних кращих варіантів від розмірів корпуса при однаковому акустичному оформленні.

З ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ САБВУФЕРА В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД АКУСТИЧНОГО ОФОРМЛЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ЙОГО ПАРАМЕТРІВ

Метод дослідження складається із наступних послідовних дій:

- проведення аналізу існуючих сабвуферів на предмет визначення головних параметрів для оптимізації;
- проведення аналізу акустичного оформлення сабвуферів, виходячи зі сфери його застосування;
- визначення граничних критеріїв при побудові сабвуфера, виходячи з мінімізації звукових спотворень;
- визначення інтегрального параметра якості сабвуфера, виходячи з мети дослідження;
- проведення комп'ютерної симуляції запропонованих рішень програмними засобами;
- вибір кращих результатів, виходячи із запропонованих параметрів якості;

- детальний аналіз кращих варіантів та подальші рекомендації щодо їх реалізації.

Для використання метода дослідження застосуємо комп'ютерну симуляцію акустичного оформлення за допомогою програми компанії Харріс Технолоджіс BassBox 6 Pro. Єдиним обмеженням приймемо використання лише одного виду динаміка: незмінним пристроєм нашого дослідження візьмемо 12 дюймовий динамік відомої польської фірми Тонсіл (Tonsil) [13] моделі GD 30/100 з феритовим магнітом (рис. 3.1), габаритні розміри якого зображені в (Додаток Г), а параметри Тіля-Смолла були визначені в заводських умовах та внесені в міжнародну базу даних, яку використовують відповідні програми розрахунку (рис. 3.2). Всі інші параметри змінюватимуться в широких діапазонах для визначення можливостей для їх подальшої оптимізації і досягнення найкращих параметрів досліджуваного сабвуфера.



Рисунок 3.1 - Зовнішній вигляд динаміка фірми Tonsil GD 30/100

Driver Properties - Design 1

Parameter	Value	Unit
Fs	75	Hz
Qms	3,4	
Vas	44	liters
Cms	0,132	mm/N
Mms	34	g
Rms	4,728	kg/s
Xmax		mm
Xmech		mm
Dia	248,4	mm
Sd	490	sq.cm
Vd		liters
Qes	0,743	
Re	3,756	ohms
Le		mH
Z	4	ohms
BL	9	Tm
Pe	100	watts
Qts	0,61	
no	2,409	%
1-W SPL	97	dB
2.8-V SPL	99,25	dB

Рисунок 3.2 - Параметри Тіля-Смолла динаміка Tonsil GD 30/100

Для розрахунків еквівалентної індуктивності L_e динаміка за параметрами Тіля-Смолла, потрібно мати графік залежності опору котушки R_e від частоти. Для постійного значення $R_e = 3.756$ (рис. 3.3), маємо частотну залежність індуктивності L_e (Додаток А), значення якої для відповідних частот вносимо до програмного розрахунку.

3.1 Обмеження, що накладаються на розраховані параметри сабвуфера

Існує кілька критеріїв та обмежень, без виконання яких робота сабвуфера або буде взагалі неможлива, або рівень нелінійних спотворень при відтворенні звуку буде неприйнятним.

Виходячи з проведеного в першому розділі аналізу та поставленої задачі отримання максимального звукового тиску і відповідно ККД при мінімізації

нерівномірності АЧХ, ці обмеження стосуватимуться в основному сабвуферів, в акустичному оформленні яких є повітряний порт (фазоінвертор).

3.1.1 Максимально допустима швидкість потоку повітряного порта при акустичному оформленні «фазоінвертор»

Фазоінвер є одним з варіантів пристрою під назвою «резонатор Гельмгольца» (рис. 3.3).

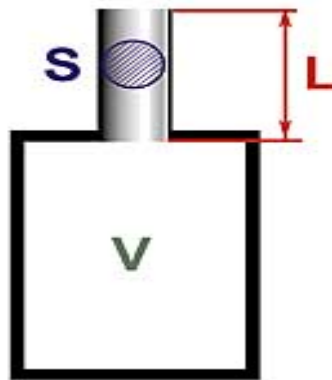


Рисунок 3.3 - Схема резонатора Гельмгольца

Для роботи резонатора Гельмгольца потрібно, щоб він мав об'єм V і тунель з площею поперечного перерізу S та довжиною L . Знаючи ці параметри, частоту настройки резонатора Гельмгольца (фазоінвертора) можна розрахувати за формулою:

$$F_b = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{L \cdot V}}, \quad (3.1)$$

сс

Згідно формули, настройка фазоінвертора не залежить від параметрів динаміка, який буде в ньому встановлений. Обсяг коробки, розміри тунелю і частота налаштування визначаються одноразово.

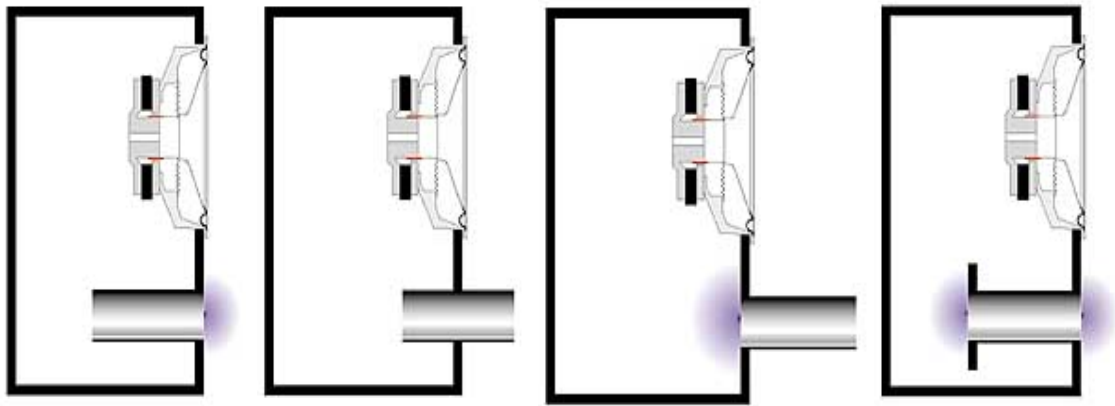


Рисунок 3.4 – (1) Класична конструкція фазоінвертора

- (2) Фазоінвертор з тунелем, кінці якого знаходяться у вільному просторі
- (3) Тунель повністю назовні («віртуальне подовження»)
- (4) «Віртуальне розширення» на обох кінцях тунелю за допомогою одного фланця

Фазоінвертор мав би бути налаштований на частоту, близьку до частоти, отриманої за формулою Гельмгольца, якби він був зроблений, як на (рис. 3.4 (2)). Цей варіант найбільш близький до ідеальної моделі, описаної формулою, тут обидва кінці тунелю знаходяться «у повітрі» відносно далеко від будь-яких перешкод. В типовій конструкції завжди один з кінців тунелю сполучається зі стінкою коробки. Для повітря, що коливається в тунелі, це має значний вплив через фланець в кінці тунелю таким чином, що відбувається своєрідне віртуальне подовження тунелю.

Якщо тунель повністю помістити за межі коробки, вирівнявши один кінець тунелю зі стіною, буде відбуватися те ж саме (рис. 3.4 (3)). Існує емпірична залежність «віртуального подовження» тунелю в залежності від його розмірів. Для круглого тунелю, кінець одного з яких прорізаний досить далеко від стінок коробки (або інших перешкод), а інший в площині стіни, це подовження становить приблизно $0,85D$. Підставивши тепер всі константи в формулу Гельмгольца та зробивши поправку на «віртуальне подовження», отримаємо остаточну формулу довжини тунелю діаметром D , що дозволяє налаштувати коробку об'єму V на частоту F_b :

$$L = \frac{2354 \cdot D^2}{V \cdot F_b^2} - 0.85D, \quad (3.2)$$

де F_b - частота, Гц;

V - об'єм, літри;

L - довжина тунелю, мм;

D - діаметр тунелю, мм.

Отриманий результат дозволяє на етапі розрахунку отримати близьке до кінцевого значення довжини, що дає необхідне значення частоти настройки, відкриваючи можливості для укорочення тунелів.. Можна ще більше вкоротити тунель при збереженні тієї ж частоти настройки, зробивши відповідні фланці на обох кінцях тунелю (рис. 3.4(4)).

Головна складність з'являється тоді, коли відносно невелику коробку потрібно налаштувати на досить низьку частоту: якщо підставити в формулу довжини тунелю великий діаметр, то отримаємо велику довжину, підставивши менший діаметр отримаємо гарний результат з маленькою довжиною тунеля.

Рухаючись, дифузор динаміка тильною стороною проштовхує майже нестисливе повітря через тунель фазоінвертора. Оскільки об'єм коливального повітря постійний, швидкість повітря в тунелі буде в стільки ж разів більшою, ніж швидкість коливань дифузора, у стільки разів площа поперечного перерізу тунелю менша за площу дифузора. Якщо зробити тунель в десятки разів менше дифузора, швидкість потоку в ньому буде високою, а коли вона досягне 25 - 27 метрів за секунду, поява вихорів і шуму струменя неминуче.

Дослідник акустики Р. Смолл показав, що мінімальний перетин тунелю залежить від діаметра динаміка, максимального ходу його конуса, частоти настройки фазоінвертора. Смолл запропонував емпіричну, але безвідмовну формулу для обчислення мінімального розміру тунелю D_{min} (в дюймах):

$$D_{min} = 0.56 \cdot D_S \cdot \frac{\sqrt{X_{max}}}{\sqrt[4]{F_b}}, \quad (3.3)$$

де D_S – діаметр динаміка, дюйм;
 X_{max} – максимальний хід дифузора, дюйм;
 F_b - частота настройки фазоінвертора, Гц.

Часто виявляється, що якщо правильно підібрати діаметр тунелю, він виходить дуже довгим. А якщо зменшити діаметр, є ймовірність, що тунель буде «свистіти» навіть на середній потужності. Крім власне струмінних шумів, тунелі малого діаметра схильні і до так званих «органних резонансів», частота яких значно перевищує частоту настройки фазоінвертора і які збуджуються в тунелі турбулентністю при великих швидкостях потоку.

Коли проектна довжина тунелю така, що він майже поміщається в корпус і потрібно лише невелике зменшення його довжини при тій же установці і площі поперечного перерізу, рекомендується використовувати щілинний тунель замість круглого, і розміщувати його не посередині передньої стінки корпуса (рис. 3.5(1)), а впритул до однієї з бічних стінок (рис. 3.5(2)).

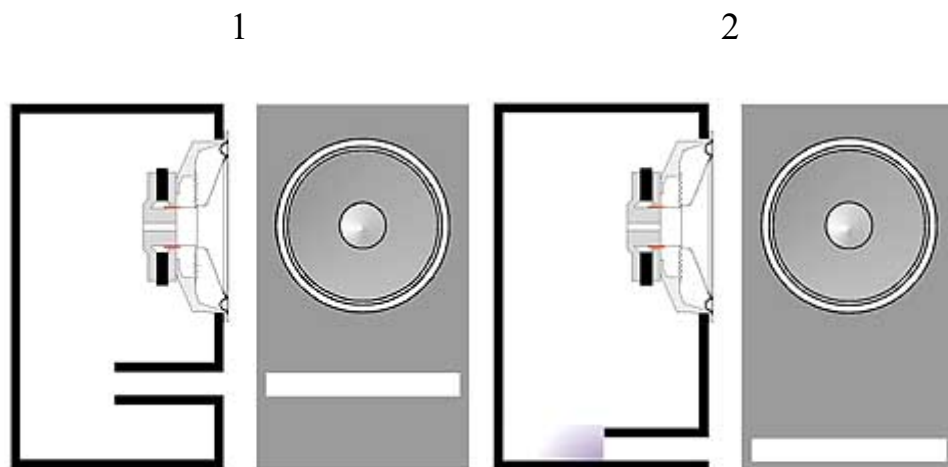


Рисунок 3.5 – (1) Щілинний тунель, розташований далеко від стінок коробки; (2) Щілинний тунель, розташований біля стінки

В цьому випадку кінець тунелю всередині коробки буде мати ефект «віртуального подовження» за рахунок стіни поруч з ним. Досліди показують, що при постійній площі поперечного перерізу і частоті настройки тунель на

(рис. 3.5(2)) приблизно на 15% коротше конструкції, як показано на (рис. 3.5(1)).

Щілинний фазоінвертор менш схильний до «органних резонансів», ніж круглий, але щоб унеможливити себе від його проявів, рекомендується встановити всередині тунелю звукопоглинаючі елементи у вигляді вузьких смужок фетра, приклеєних до внутрішньої поверхні тунелю приблизно на третину його довжини.

Згідно дослідження [14] (рис. 3.6), оберемо граничне значення максимально допустимої швидкості потоку в повітряному порту фазоінвертора, при якому на рівень вентиляційних шумів на зрізі ФІ (швидкість, при якій шуми маскуються, скажімо, на синусоїдальному сигналі, при максимальній розрахунковій потужності, що підводиться) можна не звертати уваги, в 15 м/с (метрів за секунду).

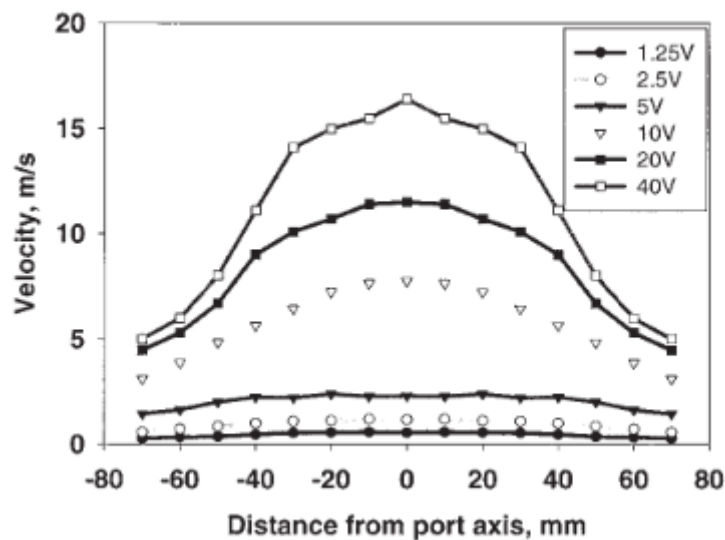


Рисунок 3.6 – Швидкість потоку в повітряному порту фазоінвертора (в м/с)

3.1.2 Максимальний лінійний хід дифузора динаміка сабвуфера

Існує два основних типи геометрії звукової котушки в зазорі - коротка та довга котушки. Довга звукова котушка по довжині істотно перевищує глибину зазору в магнітній системі і в кожний момент працює тільки частина витків, що

знаходиться в межах його глибини. Ця частина залишатиметься незмінною, поки всередину зазору не увійде край котушки. Динамік вважається працюючим у лінійному діапазоні переміщень дифузора саме до цього моменту і визначатиме максимальний лінійний хід дифузора X_{max} (рис. 3.7).

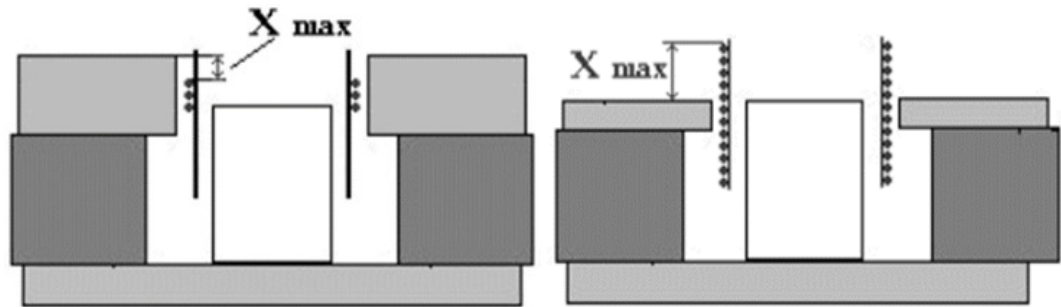


Рисунок 3.7 – Максимальний лінійний хід дифузора X_{max}
в короткій та довгій звукових котушках

Привід з довгою звуковою котушкою застосовується в переважній більшості сабвуферних динаміків, він дозволяє отримати велику індукцію в короткому зазорі, зробити звукову котушку великою і охолоджуваною, отримати великий хід дифузора. Коротка котушка в межах лінійного діапазону знаходиться всередині магнітного зазору.

Сам зазор при цьому доводиться робити довше, а котушку коротше, тому типові значення силового фактора $B \cdot L$ (добуток індукції в зазорі на довжину дроту звукової котушки, що знаходиться в межах цього зазору) у таких динаміків менше. Саме така конструкція забезпечує найменші спотворення при великих ходах дифузора.

Залежність зміни силового фактора зі зміщенням звукової котушки для двох типів приводу зображена на (рис.3.8).

У довгої звукової котушки поведінка в межах лінійної області непогана, а за його межами значення силового фактора і відповідно спотворення, що вносяться, змінюється плавно. У короткої звукової котушки поведінка в межах

лінійної області ідеально лінійна, проте при виході короткої котушки із зазору спотворення наростають дуже швидко.

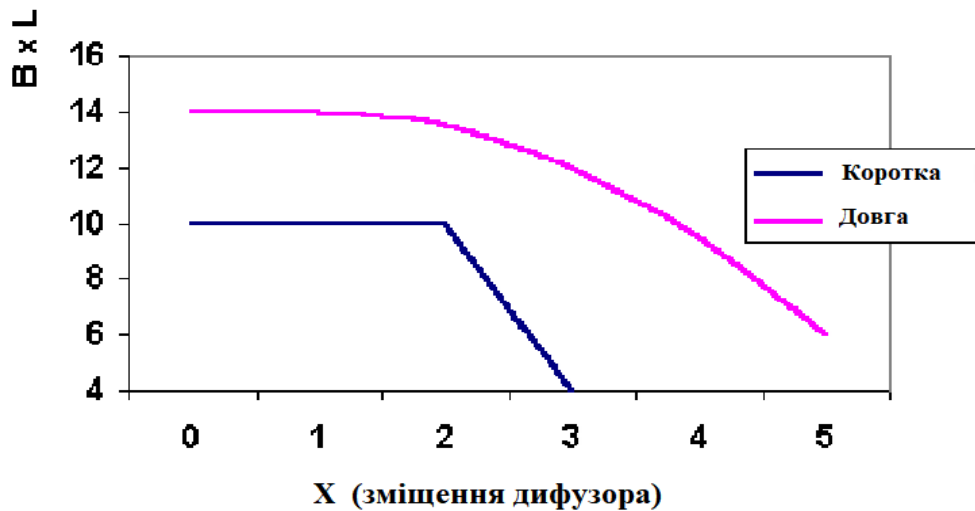


Рисунок 3.8 - Залежність зміни силового фактора зі зміщенням звукової котушки.

При збільшенні силового фактора зростає електричне демпфування дифузора, його рух стає контрольованішим. Чим масивніший магніт, тим силовий фактор буде більшим, оскільки буде більша індукція. Остання величина залежить також і від розмірів зазору: чим ширша кільцева щілина в магнітній системі, чим вона більшого діаметра і чим вона глибша (чим товще верхній магнітопровід), тим менше буде індукція в зазорі, оскільки магнітне поле розподіляється у просторі. Якщо зробити зазор вузьким, маленьким і неглибоким, то не буде де помістити звукову котушку, намотану досить товстим проводом, зменшити перетин дроту - зросте опір і впаде віддача.

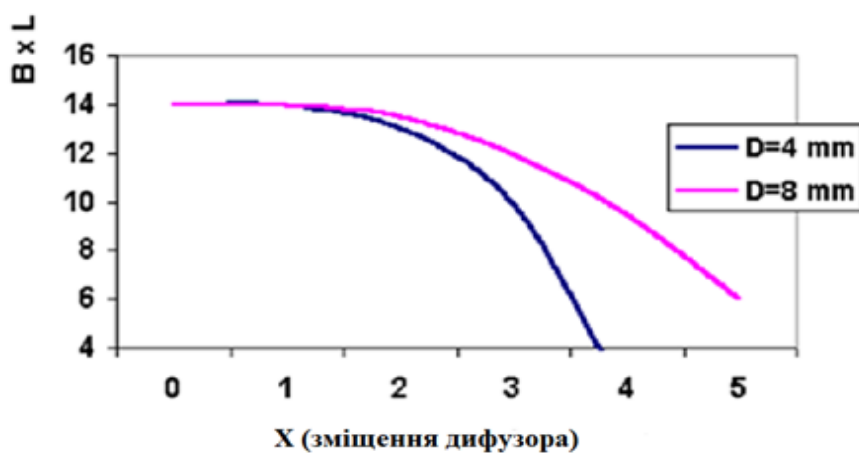


Рисунок 3.9 - Залежність зміни силового фактора зі зміщенням звукової котушки різного діаметра

Різні поєднання довжини звукової котушки та глибини зазору визначають різну поведінку динаміка на межі його лінійного діапазону і за нею. Від діаметра звукової котушки залежить також поведінка дифузора (рис.3.9).

Згідно аналізу, проведеного відомою американською фірмою DD Audio [15], великий хід - це справді добре, але тільки в тому випадку, коли конструкція динаміка дозволяє досягати достатнього прискорення. У сучасному світі великий хід - це скоріше маркетинг, ніж реальна перевага динаміка, тому прискоренням в більшості випадків реально жертвують - хід хоч і великий, але реального збільшення гучності не відбувається, а динамік споживає потужність і гріється.

Якщо динамік має досить легкий рух та ефективний хід в районі 4 -10 мм в обидві сторони, то можна зробити висновок, що він гарно відпрацює в доступних системах і на мінімальній потужності. Сучасна норма для більшості сабвуферів середньої потужності знаходиться в районі 8 -15 мм.

Дуже гарним показником є зміщення дифузора 15 - 30 мм, досяжний з високотехнологічним, легким рухом і досить сильним мотором. Зі слабким мотором при такому ході замість баса отримуємо лише гудеж. І більше того, з таким ходом динамік значно поступається на низькій потужності. Хід в 30 -70 мм виправданий тільки в серйозних динаміках рівня змагання при короткочасних вимірах на дуже високій потужності.

Таким чином, граничним показником зміщення дифузора в нашому дослідженні обираємо значення в *20 мм*, намагаючись працювати в лінійній області для мінімізації спотворень, припускаючи роботу використовуваного динаміка на великій потужності та виходячи з його параметрів.

3.1.3 Груповий час затримки сабвуфера

Груповий час затримки (ГЧЗ) досить неприємне явище, коли різні складові спектру досягають вух слухача не одночасно. Затримка вище 15 мс вже помітна на слух.

При використанні акустичного оформлення «фазоінвертор», графік ГЧЗ набуває вигляду кривої з явно вираженим горбом від загального рівня в 4-6 мс до вершини 10-20 мс, при цьому одна мілісекунда дорівнює приблизно 34 см. Тобто на частоті цього горба затримка відтворюваного звуку може становити близько 10 - 15 мс це рівноцінно 3 - 4 м, що збиває рельєф басу і перетворює його на безформне гучне гудіння. По ГЧЗ більш важливіша лінійність цього параметра в робочому діапазоні ніж абсолютне значення, щоб її можна було звести до мінімуму процесором. Так як для мінімізації значення групового часу затримки на сьогодні широко використовується процесорна обробка звукового сигналу, то фактор ГЧЗ вважаємо малозначущим і в подальших розрахунках інтегрального параметра якості участі не бере.

3.2 Інтегральний параметр якості сабвуфера

У цій роботі за для визначення успішності проведеного дослідження пропонується застосувати якийсь усереднений безрозмірний параметр якості сабвуфера K виходячи з наступних положень:

- звуковий тиск (максимальний амплітудний відгук) передбачається максимально можливим;
- робоча частота сабвуфера мінімізується на рівні -3 dB від максимального амплітудного відгуку;
- нерівномірність АЧХ передбачається мінімальною та близькою до рівня найкращих світових зразків [1] + - 3 dB;
- об'єм корпусу сабвуфера мінімальний при дотриманні граничних умов з метою його можливого широкого застосування для малогабаритних

просторів (наприклад, автомобілів).

Таким чином формула для розрахунку параметра якості сабвуфера за умови однаковості коефіцієнтів вагомості кожного з параметрів K буде мати наступний вигляд:

$$K = 10^5 \cdot A / (V \cdot F \cdot N), \quad (3.4)$$

де A - максимальний амплітудний відгук;

V - об'єм корпусу сабвуфера;

F - робоча частота сабвуфера на рівні -3 dB;

N - нерівномірність АЧХ;

10^5 – емпіричний коефіцієнт для зручності порівняння отриманих результатів.

Усі параметри, що входять до формули, вважаємо умовно нормованими на крайні значення, отримані в результаті дослідження, та враховані в емпіричному коефіцієнті.

3.3 Дослідження параметрів сабвуфера

У всіх проведених нижче дослідженнях використовуємо два припущення:

1. Внутрішній звуковбирний матеріал корпусу сабвуфера відсутній.
2. Навколишню акустичну обстановку вважаємо такою, що не впливає на отримані результати та однаковою для кожного варіанту.

3.3.1 Дослідження залежності параметрів сабвуфера акустичного оформлення «закрита скринька» від форми корпусу

Для проведення дослідження зафіксуємо об'єм корпусу сабвуфера на значенні 50 літрів, що приблизно збігається з рекомендованими параметрами виходячи з параметра Тіля-Столла еквівалентного об'єму V_{as} для обраного динаміка в 44 літри, та потужність, що підводиться в 100 Вт.

Форми корпусу акустичного оформлення «закрита скринька» (ЗС) послідовно змінюємо з конуса з кутом 60 градусів при вершині (червоний колір на графіку) , на кулю (жовтий), потім куб (зелений), призму висотою 500 мм з квадратною основою (пурпур), і в завершенні на циліндр довжиною 500 мм (блакитний).

Попередні результати дослідження зображені на (рис. 3.10)

За результатами дослідження було визначено, що при використанні корпусів сабвуфера у формі конуса, кулі та циліндра їх АЧХ ідентичні. АЧХ для куба та призми характеризують більший звуковий тиск при схожому характері, причому для призми робоча частота трохи нижче (рис. 3.11).

Зміщення дифузора та груповий час затримки для всіх форм корпусу мають однаковий характер та значення (рис. 3.12).

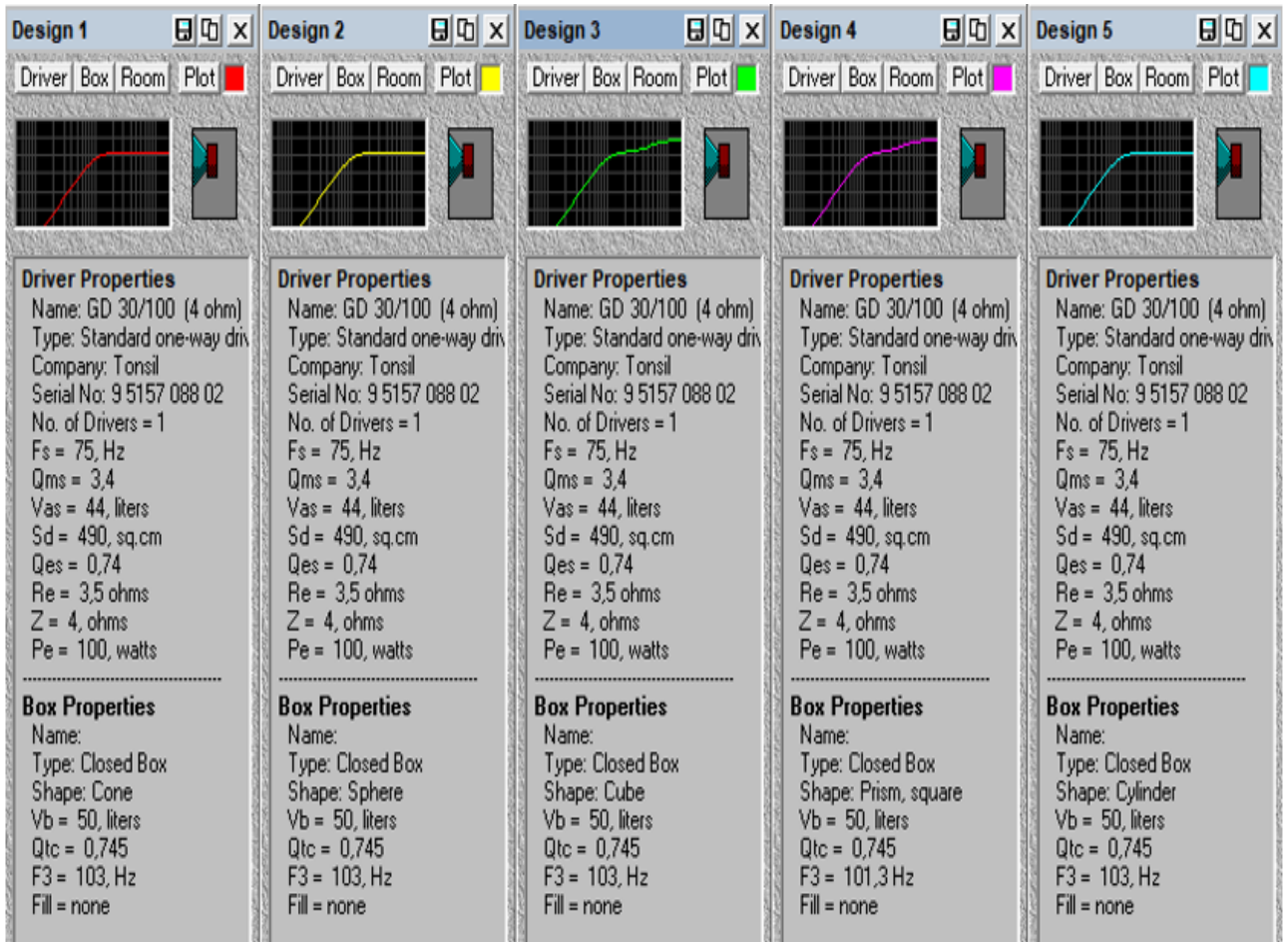


Рисунок 3.10 - Залежність параметрів сабвуфера акустичного оформлення «закрита скринька» від форми корпусу

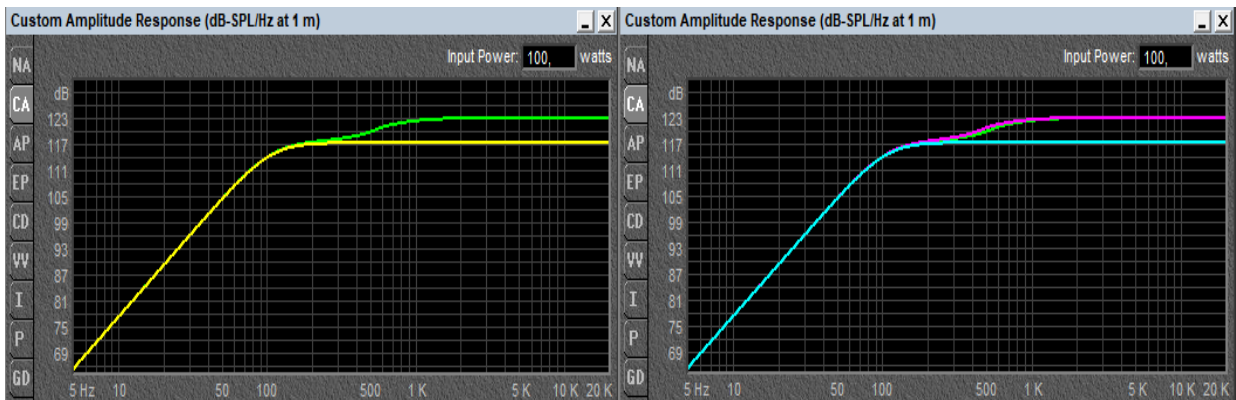


Рисунок 3.11 - Залежність максимального амплітудного відгука сабвуфера акустичного оформлення «закрита скринька» від форми корпусу

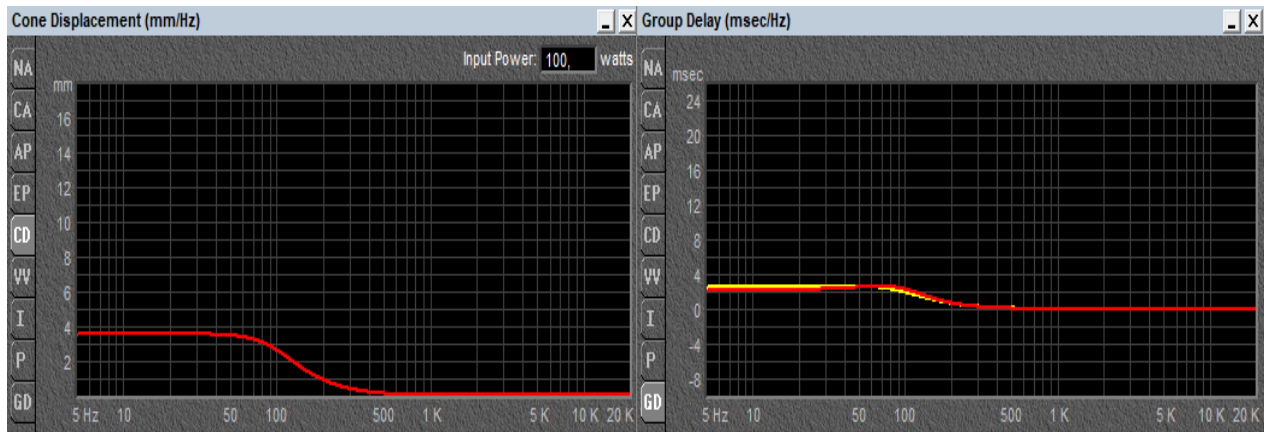


Рисунок 3.12 - Залежність зміщення дифузора та ГЗЧ сабвуфера акустичного оформлення «закрита скринька» від форми корпусу

Результати досліджень вносимо до таблиці 3.0 (Додаток Б) відповідно за номерами 1-5 .

3.3.2 Дослідження залежності параметрів сабвуфера акустичного оформлення «фазоінвертор» з круглим повітряним портом від форми корпусу

Форми корпусу фіксованого об'єму в 50 л акустичного оформлення «фазоінвертор» (ФІ) послідовно змінюємо з аналогічно попередньому з конуса (червоний колір) , на кулю (жовтий), потім куб (зелений), призму висотою 500 мм з квадратною основою (пурпур), і в завершенні на циліндр довжиною 500 мм (блакитний). Характеристики повітряного порта залишаються в усіх варіантах однаковими: діаметр $D_V = 175$ мм, довжина $L_V = 82.16$ мм.

Попередні результати дослідження зображені на (рис. 3.13) АЧХ при використанні корпусів сабвуфера у формі конуса, кулі та циліндра практично ідентичні, для куба та призми характеризують більший звуковий тиск при схожому характері.

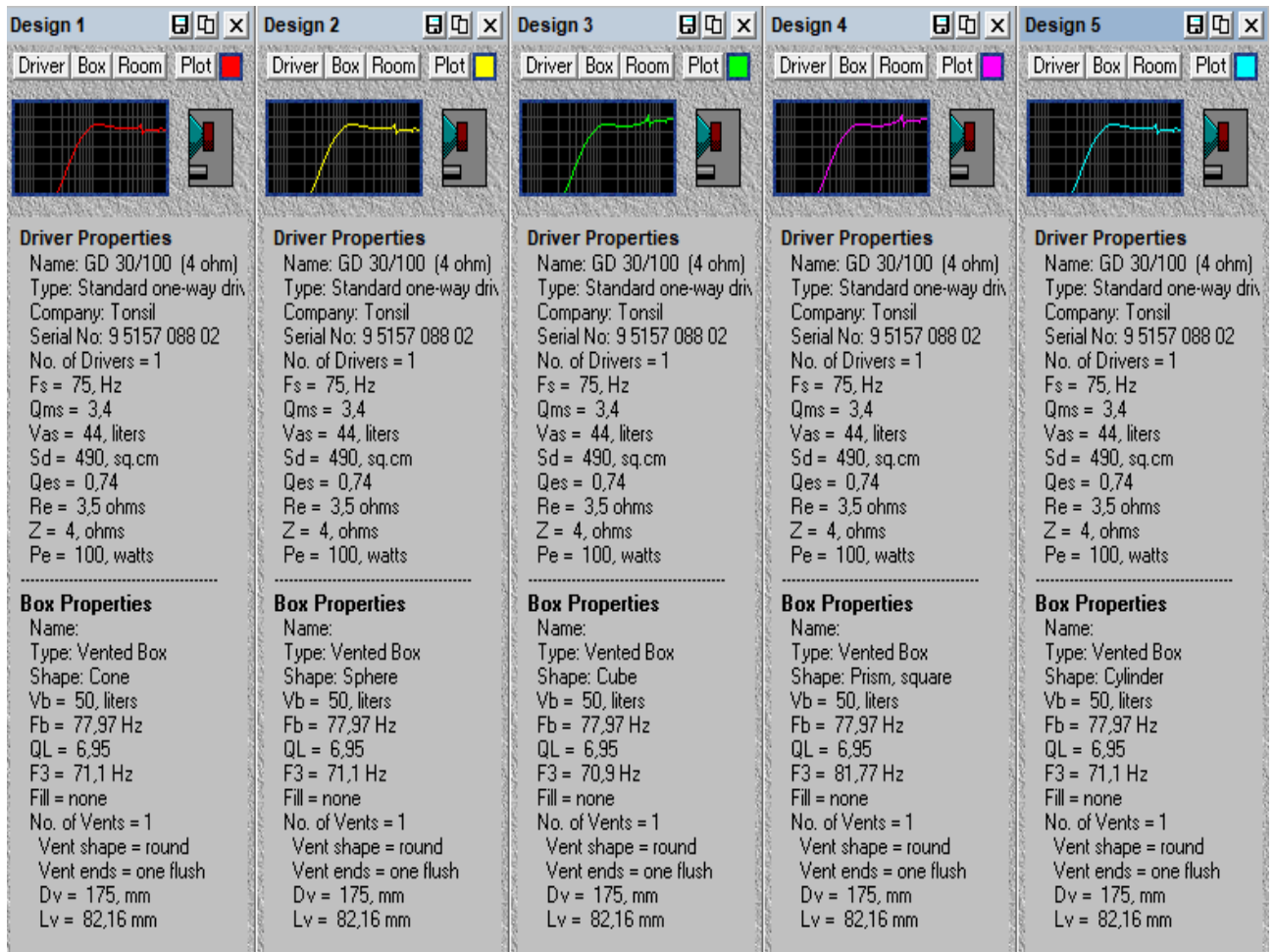


Рисунок 3.13 - Залежність параметрів сабвуфера акустичного оформлення «фазоінвертор» від форми корпусу



Рисунок 3.14 - Залежність максимального амплітудного відгука сабвуфера акустичного оформлення «фазоінвертор» від форми корпусу

Робочі частоти мають значно нижчі значення порівняно з акустичним оформленням «закрита скринька», але розплатились ми за це зростанням нерівномірності АЧХ (рис. 3.14).

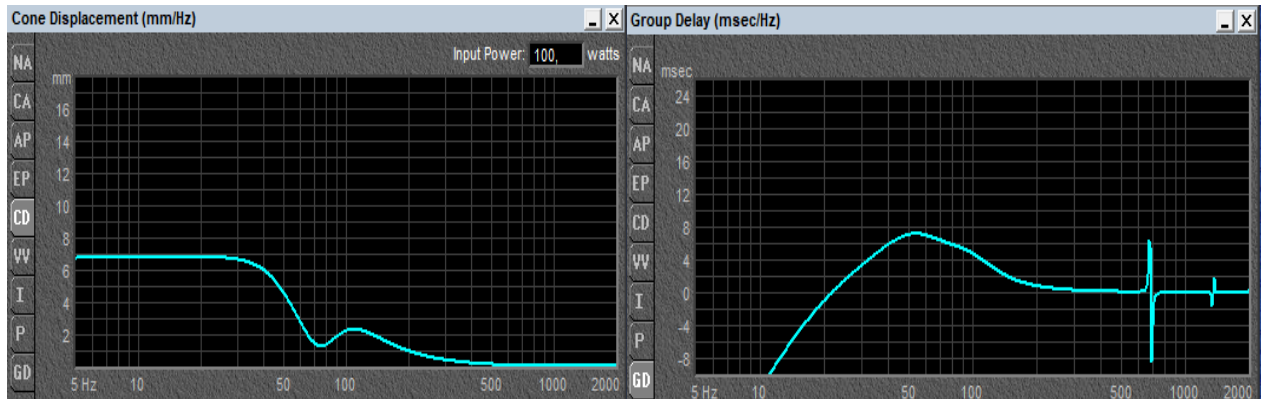


Рисунок 3.15 - Залежність зміщення дифузора та ГЗЧ сабвуфера акустичного оформлення «фазоінвертор» від форми корпусу

Зміщення дифузора та груповий час затримки для всіх форм корпусу мають однаковий характер та значення (рис. 3.15) однак суттєво відрізняються за формою від перших досліджень: для ГЗЧ на частотах, близьких до 50 Гц маємо горб та значні коливання значень на частотах від 500 до 1000 Гц.

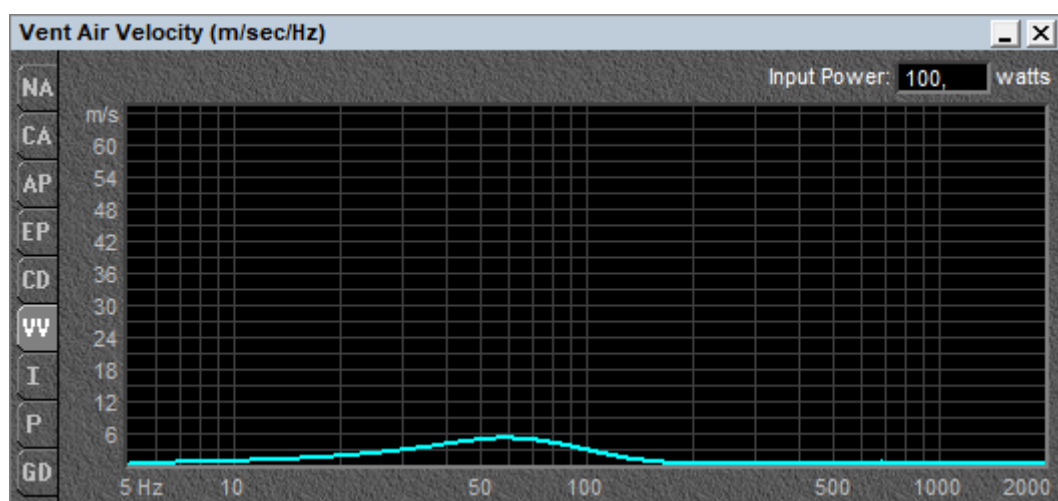


Рисунок 3.16 - Залежність швидкості потоку повітряного порта при акустичному оформленні «фазоінвертор» від форми корпусу

Швидкість потоку повітряного порта для всіх форм корпуса мають однаковий характер і максимальна на частотах, близьких до робочої – 6 м/с (рис. 3.16) та не перевищує обумовлені граничні умови.

Результати досліджень вносимо до таблиці 3.0 (Додаток Б) відповідно за номерами 6-10.

3.3.3 Дослідження залежності параметрів сабвуфера акустичного оформлення «фазоінвертор» з круглим повітряним портом меншого діаметра від форми корпуса

Зберігаючи всі умови попереднього дослідження, зменшимо діаметр повітряного порта зі 175 до 100 мм при його довжині $L_V = 20$ мм (рис. 3.17).

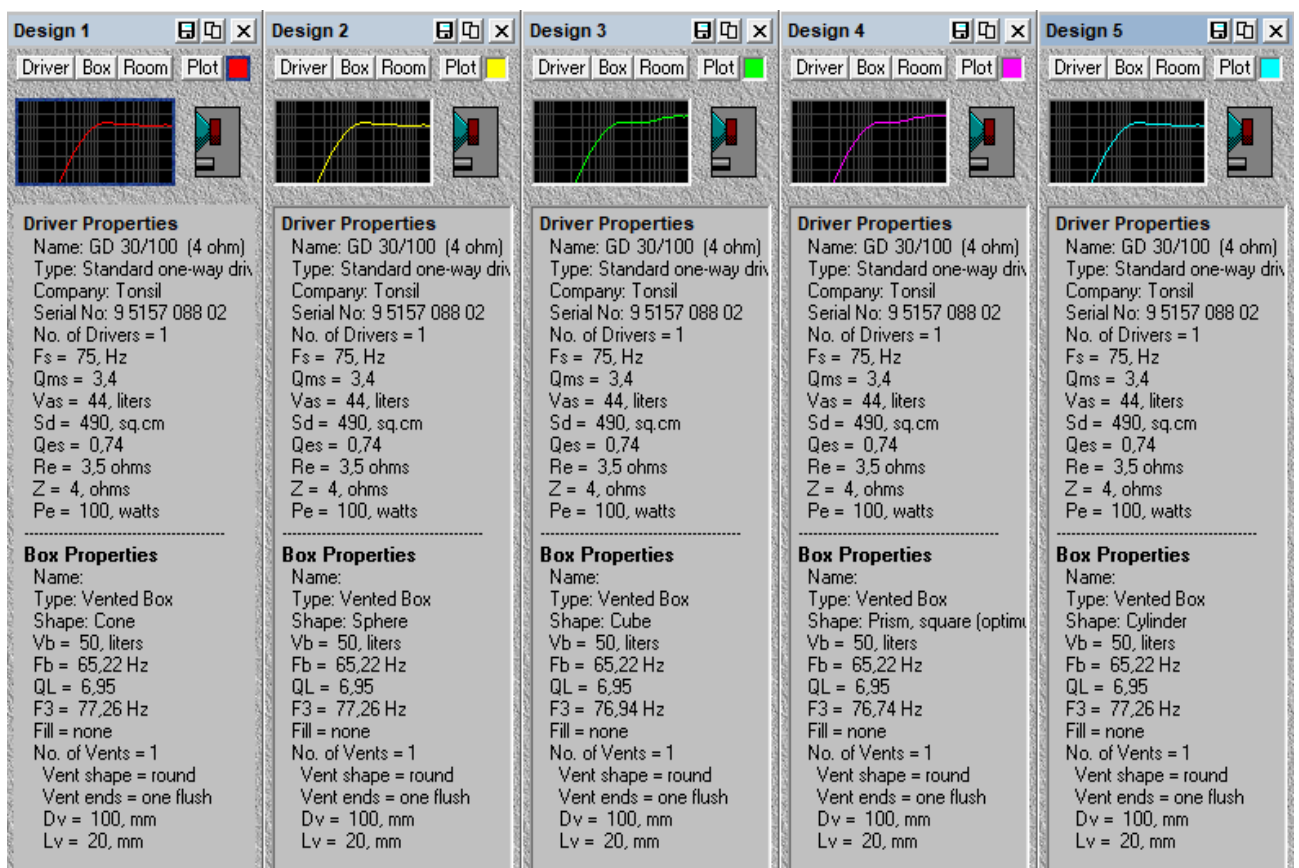


Рисунок 3.17 - Залежність параметрів сабвуфера акустичного оформлення «фазоінвертор» від форми корпуса (діаметр повітряного порта зменшено)

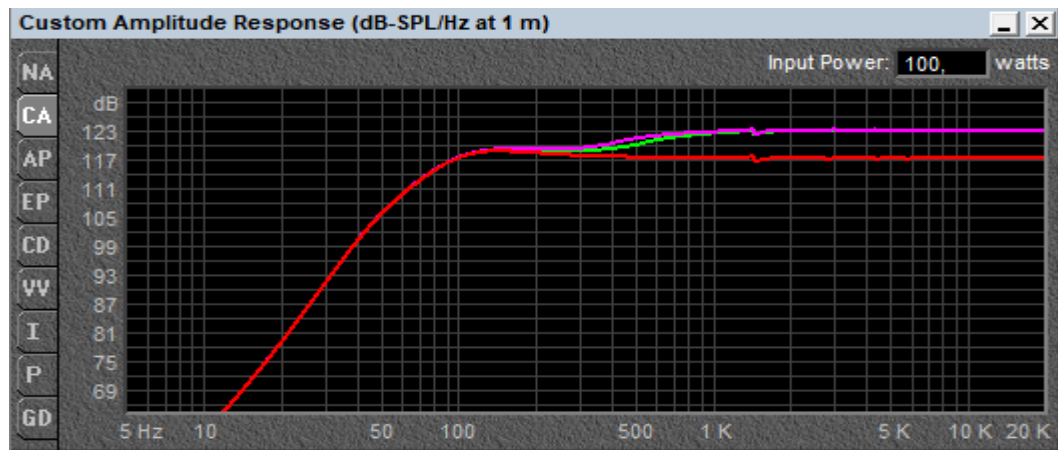


Рисунок 3.18 - Залежність максимального амплітудного відгука сабвуфера акустичного оформлення «фазоінвертор» від форми корпусу (діаметр повітряного порта зменшено)

АЧХ сабвуфера в поточному дослідженні майже повністю повторює результати за номерами 6 -10 (рис. 3.18), за виключенням незначного збільшення робочої частоти при суттєво меншій нерівномірності.

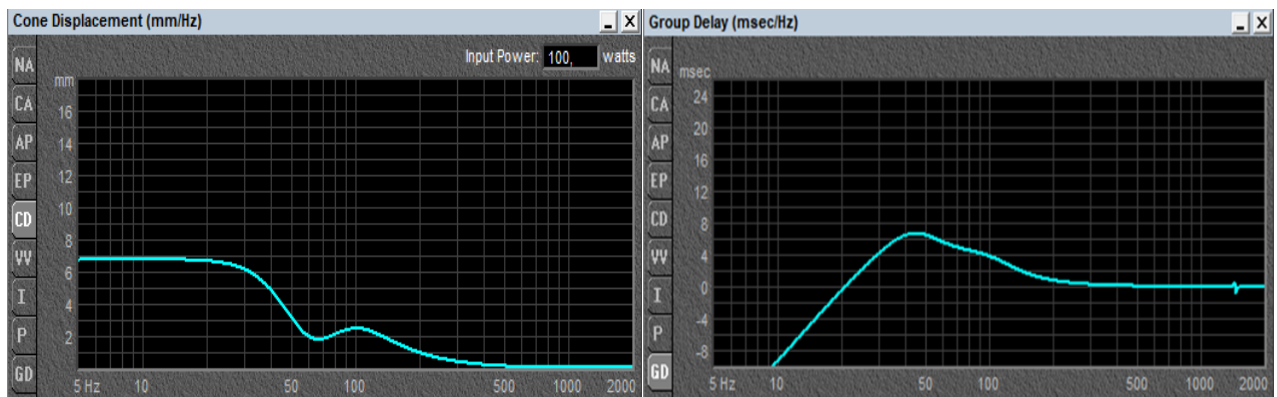


Рисунок 3.19 - Залежність зміщення дифузора та ГЗЧ сабвуфера акустичного оформлення «фазоінвертор» від форми корпусу (діаметр порта зменшено)

Зміщення дифузора та груповий час затримки для всіх форм корпусу мають однаковий характер та значення (рис. 3.19), для ГЗЧ на частотах,

близьких до 40 Гц маємо горб, нерівномірність характеристики на частотах вище 200 Гц практично відсутня.

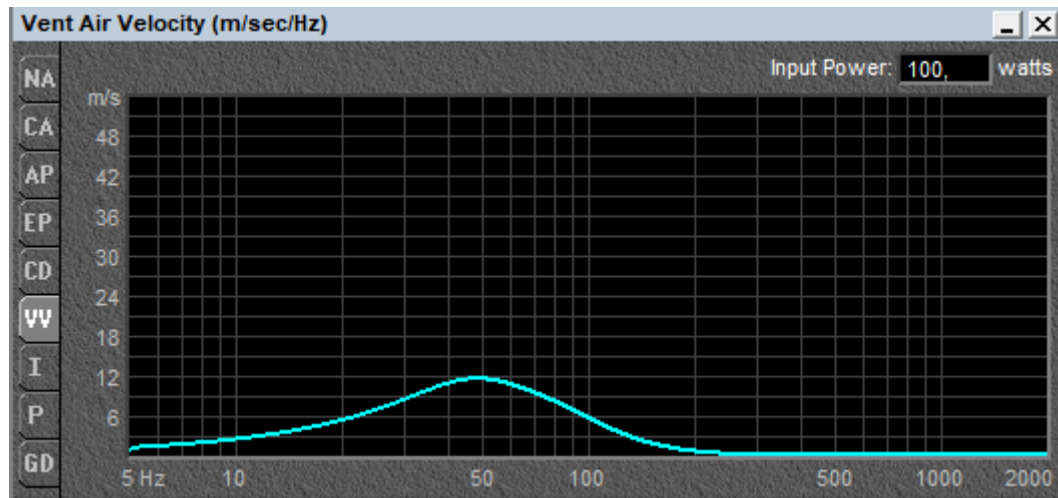


Рисунок 3.20 - Залежність швидкості потоку повітряного порта при акустичному оформленні «фазоінвертор» від форми корпусу (діаметр повітряного порта зменшено)

Що стосується швидкості потоку повітряного порта, то за умови зменшення площі порта майже в три рази, швидкість зросла приблизно в два рази, але все одно не перевищує обумовлені граничні умови (рис. 3.20).

Результати досліджень вносимо до таблиці 3.0 (Додаток Б) відповідно за номерами 11-15.

3.3.4 Дослідження залежності параметрів сабвуфера акустичного оформлення «фазоінвертор» форми корпусу «куб» з круглим повітряним портом від діаметра порта

Проведемо дослідження залежності параметрів сабвуфера від розмірів круглого повітряного порту фазоінвертора, діаметр якого змінюватимемо наступним чином 20 мм (червоний колір на графіку), 50 мм (жовтий), 75 мм (зелений), 150 мм (блакитний), 200 мм (пурпур) при його довжині $L_V = 20$ мм (рис. 3.21).

При зменшенні діаметра порту, акустичне оформлення прагнучиме типу оформлення «закрита скринька», що передбачає меншу віддачу по звуковому тиску з одночасним зменшенням нерівномірності АЧХ (рис. 3.22).

При збільшенні діаметра все відбувається з точністю навпаки: звуковий тиск збільшується разом із зростанням нерівномірності АЧХ.

І для даних заданих параметрів, вийшов лише один компромісний варіант при діаметрі порту в 150 мм (блакитний колір), при якому також маємо найнижчу робочу частоту.

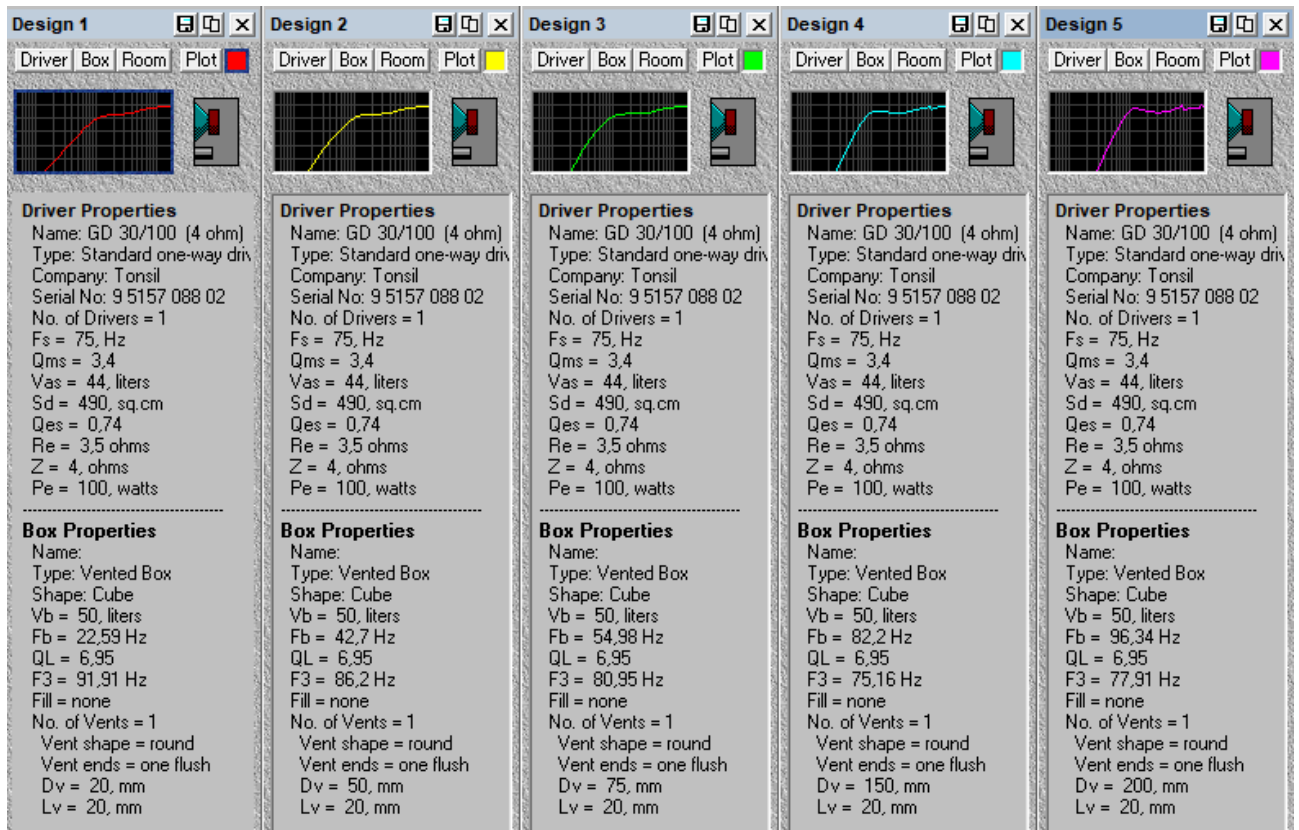


Рисунок 3.21 - Залежність параметрів сабвуфера акустичного оформлення «фазоінвертор» форми «куб» від діаметра порта

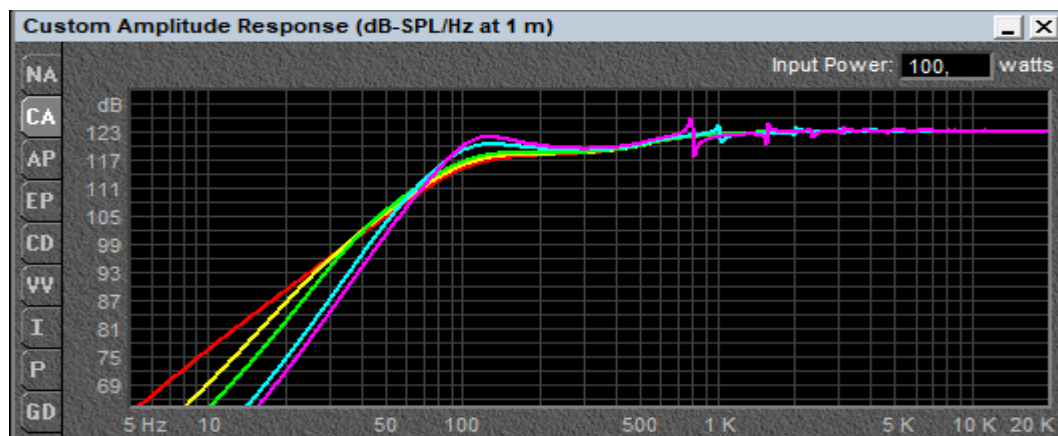


Рисунок 3.22 - Залежність максимального амплітудного відгука сабвуфера акустичного оформлення «фазоінвертор» форми «куб» від діаметра порт

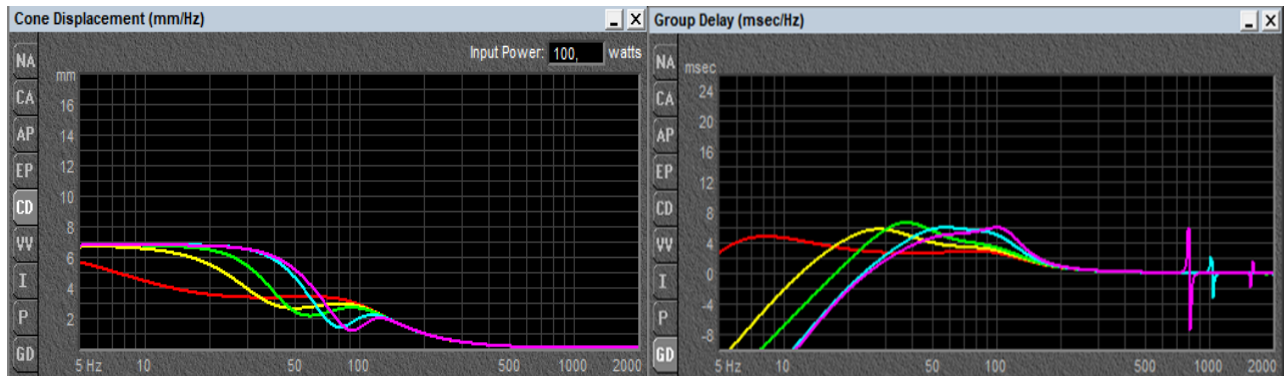


Рисунок 3.23 - Залежність зміщення дифузора та ГЗЧ сабвуфера акустичного оформлення «фазоінвертор» форми «куб» від діаметра порта

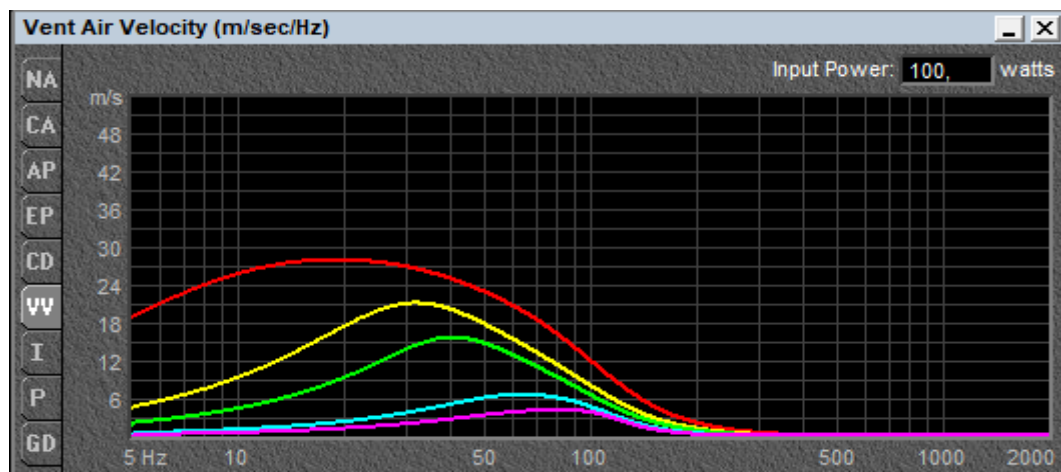


Рисунок 3.24 - Залежність швидкості потоку повітряного порта при акустичному оформленні «фазоінвертор» форми «куб» від діаметра порта

Що стосується зміщення дифузора і ГЗЧ (рис. 3.23), то все обійшлося без несподіванок: при малих діаметрах порту маємо картину, характерну для «закритої скриньки», а для великих - типового ФІ, описаного вище.

Швидкість повітряного потоку порту має явну очевидну залежність від його діаметра (рис. 3.24): чим діаметр менший, тим відповідно вища швидкість. У перших трьох варіантах (діаметри порту 20, 50 та 70 мм) спостерігається значне перевищення встановленого граничного значення 15 м/с, тому розрахунок інтегрального показника якості сабвуфера для них не ведеться і з

подальшого аналізу виключаються. Результати досліджень вносимо до таблиці 3.0 (Додаток Б) відповідно за номерами 16-20.

3.3.5 Дослідження залежності параметрів сабвуфера акустичного оформлення «фазоінвертор» форми корпусу «куб» з щілинним портом від ширини порта

Проведемо подібне до попереднього дослідження для фазоінвертора з щілинним повітряним портом, змінюючи послідовно його ширину від 5 до 70 мм (5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 70) і довжину, запропоновану розрахунковою програмою (рис. 3.25).

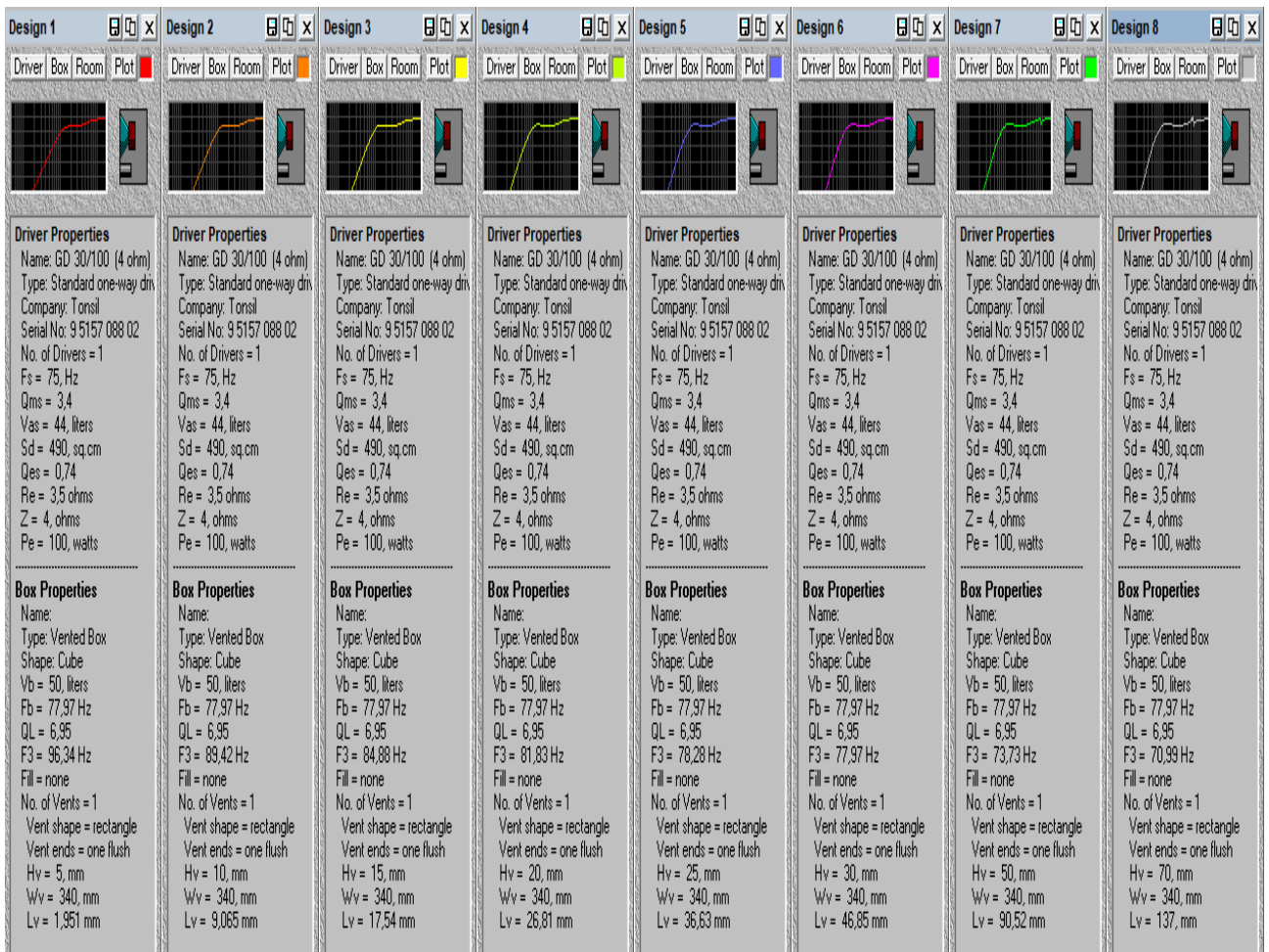


Рисунок 3.25 - Залежність параметрів сабвуфера акустичного оформлення «фазоінвертор» форми «куб» з щілинним портом від ширини порта

Маємо схожий результат за винятком деяких особливостей: зі збільшенням ширини і відповідно площі повітряного порту, зростає його рекомендована довжина і помітно знижується робоча частота (рис. 3.26).

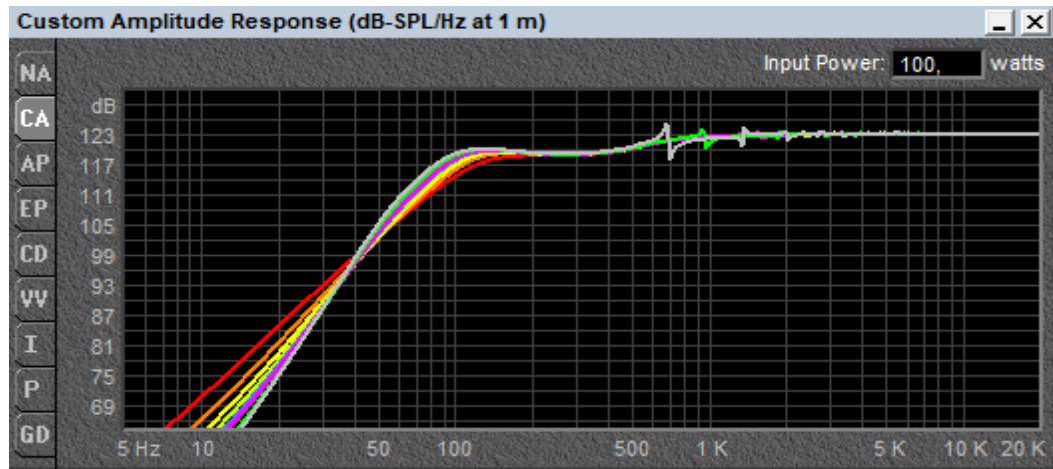


Рисунок 3.26 - Залежність максимального амплітудного відгука сабвуфера акустичного оформлення «фазоінвертор» форми «куб» з щілинним портом від ширини порта

А ось нерівномірність АЧХ значно менша, ніж при використанні круглого порту.

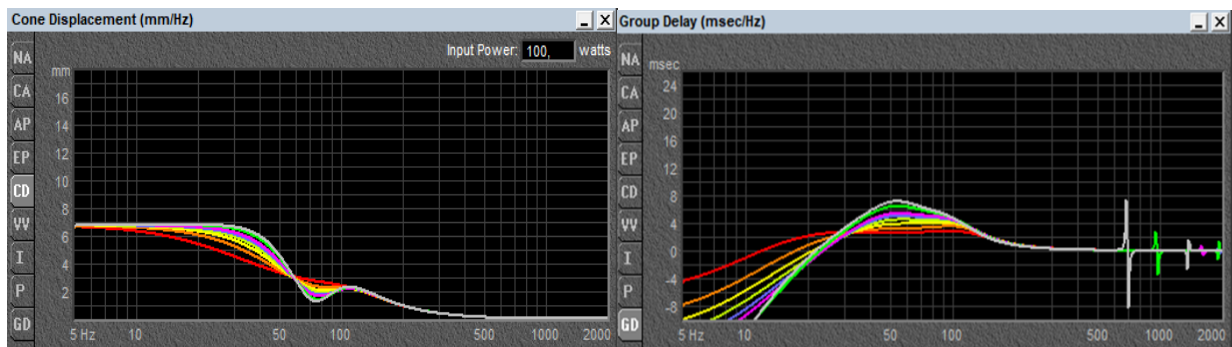


Рисунок 3.27 - Залежність зміщення дифузора та ГЗЧ сабвуфера акустичного оформлення «фазоінвертор» форми «куб» з щілинним портом від ширини порта

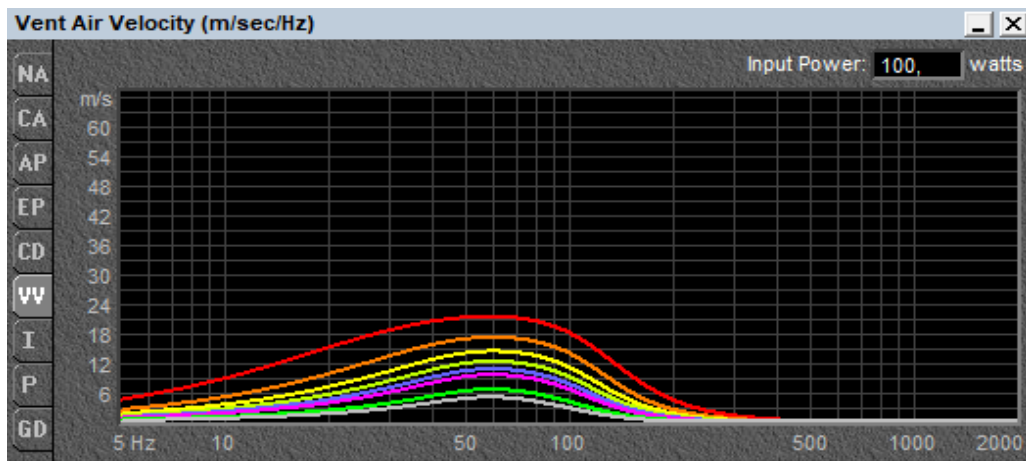


Рисунок 3.28 - Залежність швидкості потоку повітряного порта при акустичному оформленні «фазоінвертор» форми «куб» з щілинним портом від ширини порта

Зміщення дифузора та ГЗЧ мають схожий характер і значення дослідженню, описаному в розділі 3.3.4 (рис. 3.27), а швидкість потоку для щілинних портів малої ширини також виходять за прийняті нами критерії (рис. 3.28) і виключаються з подальших розрахунків. Результати досліджень вносимо до таблиці 3.0 (Додаток Б) відповідно за номерами 21-28.

3.3.6 Дослідження залежності параметрів сабвуфера форми корпусу «призма» акустичного оформлення «фазоінвертор» з щілинним повітряним портом від об'єма корпусу при незмінній площині основи

За результатами попереднього дослідження кращі подібні параметри сабвуфера спостерігалися при ширині щілинного повітряного порту від 20 до 30 мм. Зафіксуємо для подальших досліджень ширину порту на 20 мм, а його довжину братимемо рекомендовану розрахунковою програмою.

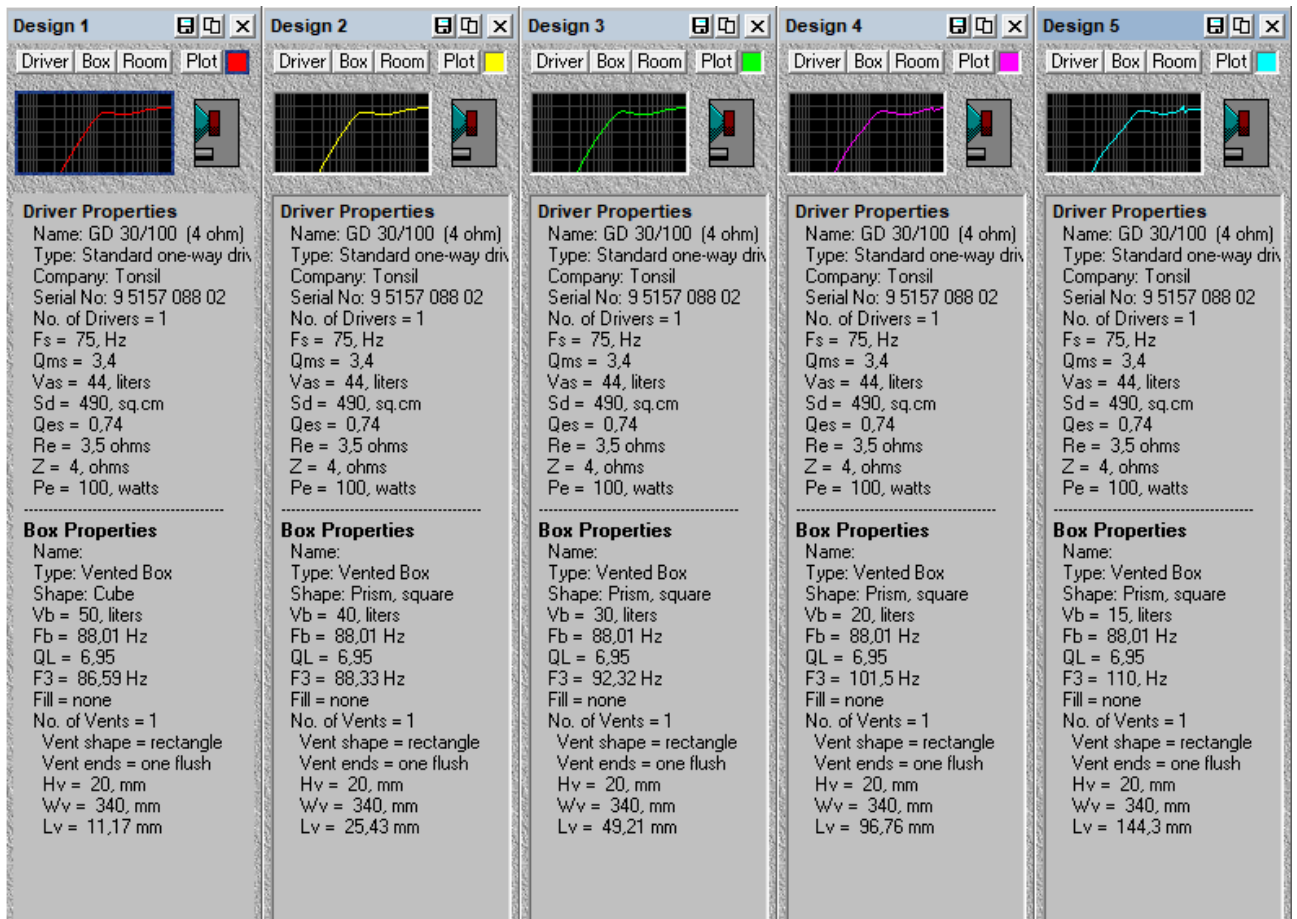


Рисунок 3.29 - Залежність параметрів сабвуфера форми корпуса «призма» акустичного оформлення «фазоінвертор» з щілинним повітряним портом від об'єма корпуса (об'єм зменшено)

Спочатку зменшуємо висоту куба (Додаток В) при збереженні основи до висоти динаміка (130 мм висоти відповідають об'єму корпусу 15 літрів), перетворюючи його на призму з квадратною основою (рис. 3.29).

При зменшенні висоти та відповідно об'єму корпусу, спостерігаємо небажане зростання робочої частоти сабвуфера та збільшення нерівномірності АЧХ (рис. 3.30), проте всі параметри знаходяться на досить високому рівні.

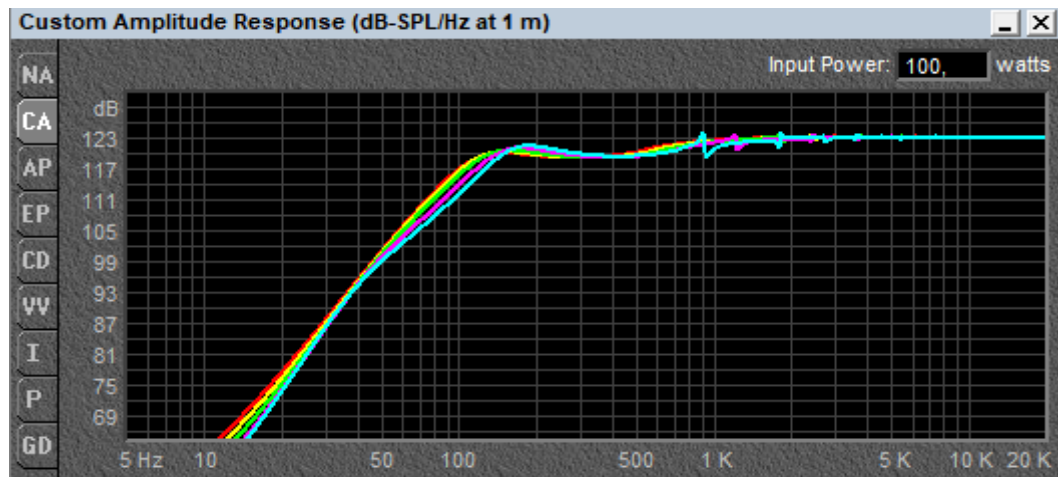


Рисунок 3.30 - Залежність максимального амплітудного відгука сабвуфера форми корпуса «призма» акустичного оформлення «фазоінвертор» з щілинним повітряним портом від об'єма корпуса (об'єм зменшено)

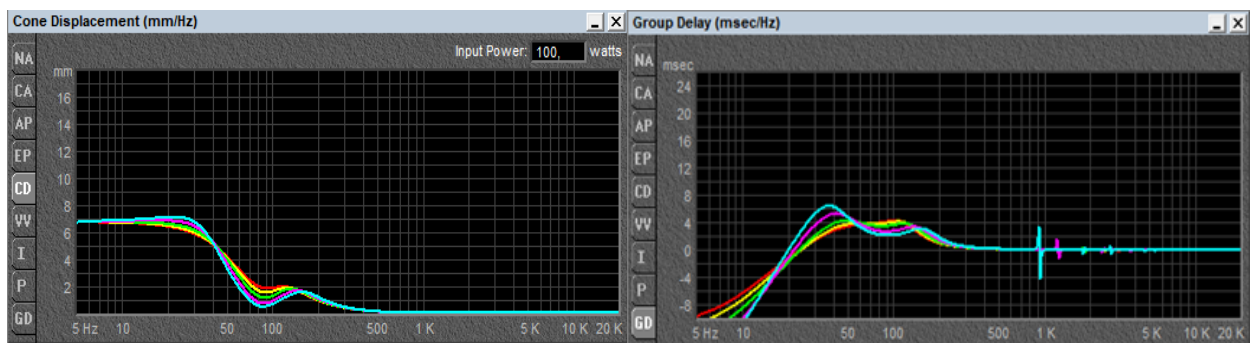


Рисунок 3.31 - Залежність зміщення дифузора та ГЗЧ сабвуфера форми корпуса «призма» акустичного оформлення «фазоінвертор» з щілинним повітряним портом від об'єма корпуса (об'єм зменшено)

Що стосується інших параметрів, зміщення дифузора, ГЗЧ і швидкість потоку повітряного порту повторюють попередні залежності (рис. 3.31) і не виходять за граничні умови (рис. 3.32).

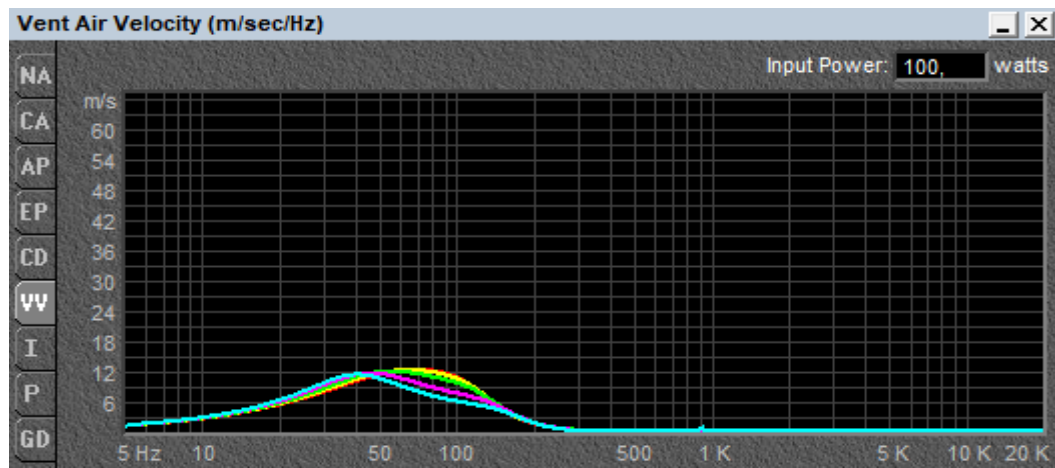


Рисунок 3.32 - Залежність швидкості потоку повітряного порта сабвуфера форми корпусу «призма» акустичного оформлення «фазоінвертор» з щільним повітряним портом від об'єма корпусу (об'єм зменшено)

Результати досліджень вносимо до таблиці 3.0 (Додаток Б) відповідно за номерами 29-32.

На наступному етапі досліджень збільшуємо об'єм з 50 до 100 літрів (50,60,70,80,100 л.) за збереження розмірів основи призми (рис. 3.33).

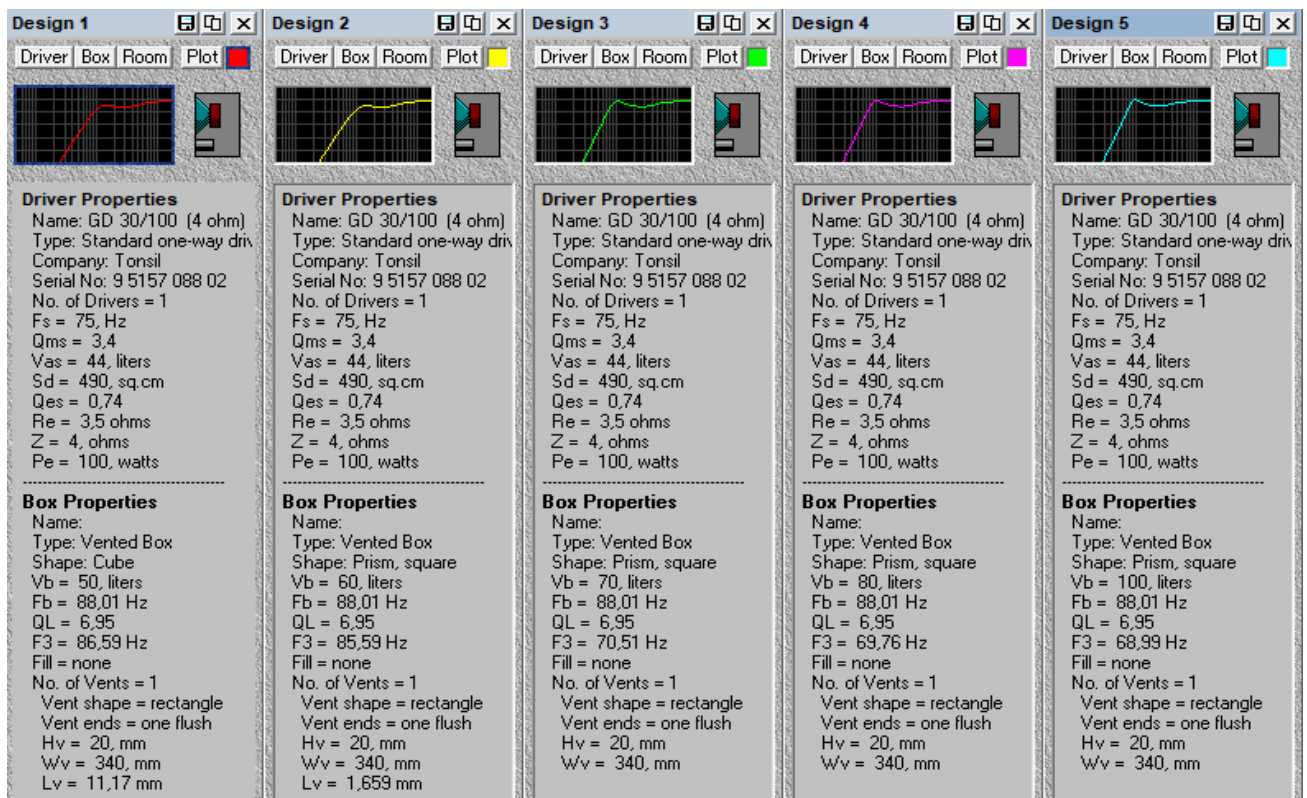


Рисунок 3.33 - Залежність параметрів сабвуфера форми корпуса «призма» акустичного оформлення «фазоінвертор» з щілинним повітряним портом від об'єма корпуса (об'єм збільшено)

Маємо рівеньку АЧХ з гарним амплітудним відгуком (рис. 3.34), але це все має сенс лише за умови об'єма до 60 літрів.

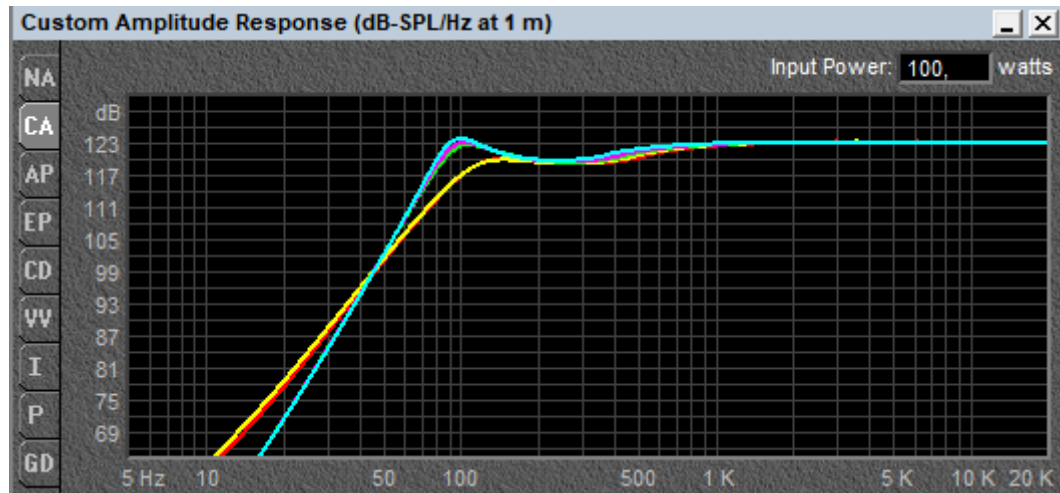


Рисунок 3.34 - Залежність максимального амплітудного відгуку сабвуфера форми корпуса «призма» акустичного оформлення «фазоінвертор» з щілинним повітряним портом від об'єма корпуса (об'єм збільшено)

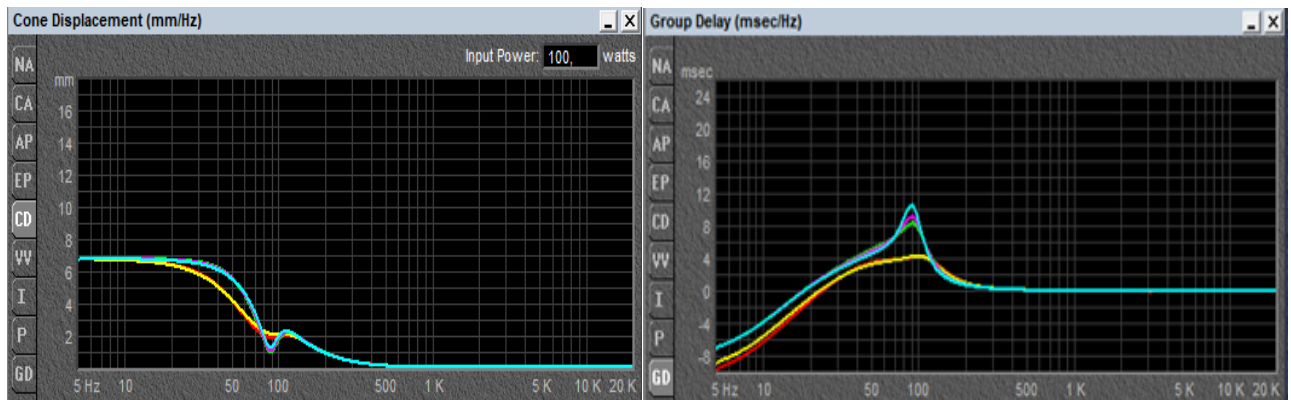


Рисунок 3.35 - Залежність зміщення дифузора та ГЗЧ сабвуфера форми корпуса «призма» акустичного оформлення «фазоінвертор» з щілинним повітряним портом від об'єма корпуса (об'єм збільшено)

При великих значеннях об'єма значно збільшується ГЗЧ, що ускладнює питання узгодження сабвуфера з іншою акустикою і навколишнім неідеальним простором (рис. 3.35), а також виходить за граничні умови швидкість повітря в щілинному порту фазоінвертора (рис. 3.36).

Результати досліджень вносимо до таблиці 3.0 (Додаток Б) відповідно за номерами 33-36.

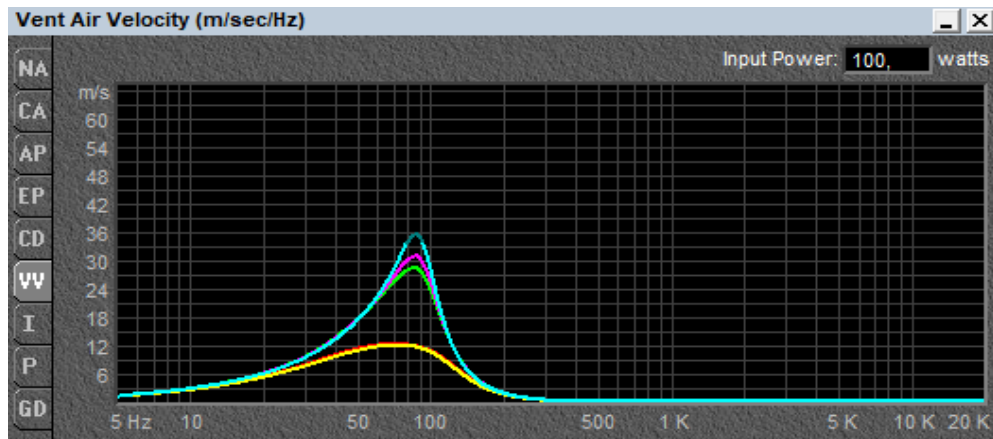


Рисунок 3.36 - Залежність швидкості потоку повітряного порта сабвуфера форми корпуса «призма» акустичного оформлення «фазоінвертор» з щілинним повітряним портом від об'єма корпуса (об'єм збільшено)

Таким чином, проаналізувавши поточні результати проведених досліджень і розрахувавши запропонований нами параметр якості сабвуфера K , виходячи з компромісного рішення між максимальним звуковим тиском і мінімальним об'ємом корпусу при дотриманні інших важливих параметрів і граничних умов, можна зробити висновок про застосування в якості кращої моделі для обраного динаміка Tonsil GD30/100 акустичного рішення "фазоінвертор" з щілинним повітряним портом у корпусі "призма" з квадратною основою об'ємом 20 літрів.

3.3.7 Дослідження залежності параметрів сабвуфера форми корпуса «призма» об'ємом 20 л від акустичного оформлення

Проведемо це дослідження для підтвердження чи навпаки, заперечення наших попередніх висновків. Для цього збережемо як вхідні дані лише корпус «призму» з квадратною основою об'ємом 20 літрів і обраний динамік.

Виберемо такі типи акустичного оформлення:

- фазоінвертор щілинний порт 20 мм (червоний колір на графіках);
- закрита скринька (жовтий);

- бандпас з двома закритими камерами (зелений);
- бандпас з щілинним портом на більшій камері (синій);
- фазоінвертор 2 щілинних порта по 20 мм (пурпур);
- пасивний радіатор, в ньому параметри Тіля-Смолла ідентичні Тонсіл GD 300/100 (блакитний колір).

Більш повні дані та попередні результати дослідження на (рис. 3.37).

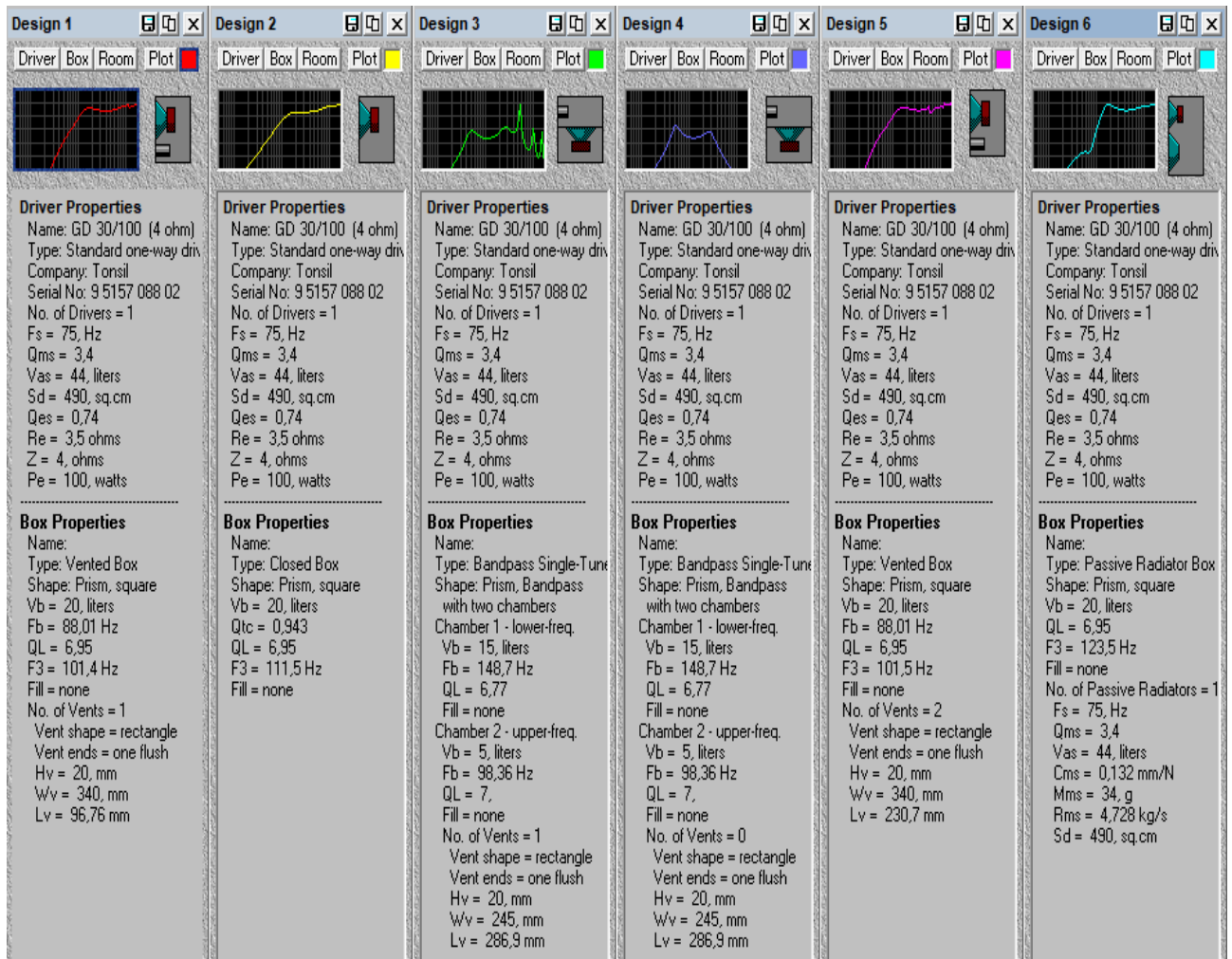


Рисунок 3.37 - Залежність параметрів сабвуфера форми корпуса «призма» об'ємом 20 л від акустичного оформлення

Якщо порівнювати отримані результати із запропонованим нами найкращим рішенням (рис. 3.38), то для варіанта «закритий ящик» маємо суттєво більш високу робочу частоту при меншому амплітудному відгуку та приблизно однакової нерівномірності АЧХ. Варіанти бандпас виключаються з розгляду через низьку віддачу та нереальну нерівномірність АЧХ.

Використання фазоінвертора з додатковим ідентичним щілинним портом не дає додаткових переваг, крім зниження швидкості повітряного потоку (рис. 3.40). Навпаки, нерівномірність АЧХ значно зростає, що повторює характер залежності зі збільшенням ширини повітряного порту (розділ 3.3.5).



Рисунок 3.38 - Залежність максимального амплітудного відгука сабвуфера форми корпусу «призма» об'ємом 20 л від акустичного оформлення

Що стосується акустичного оформлення «пасивний радіатор», то наявність другого дифузора дозволяє розвантажити основний динамік (рис. 3.39) і отримати при цьому найбільший амплітудний відгук у нашій серії досліджень - 124 dB.

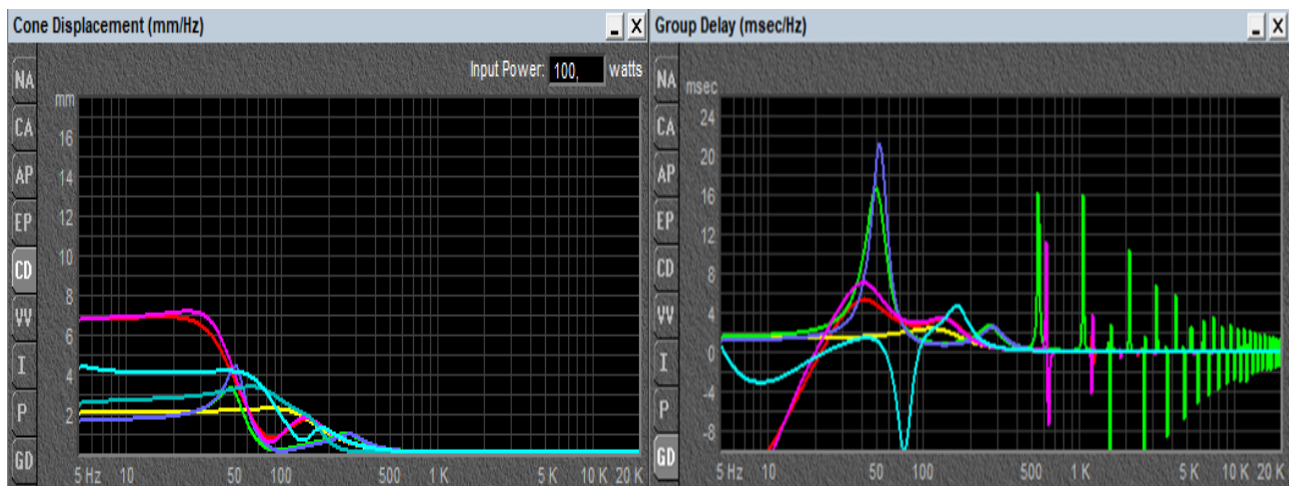


Рисунок 3.39 - Залежність зміщення дифузора та ГЗЧ сабвуфера форми корпуса «призма» об'ємом 20 л від акустичного оформлення

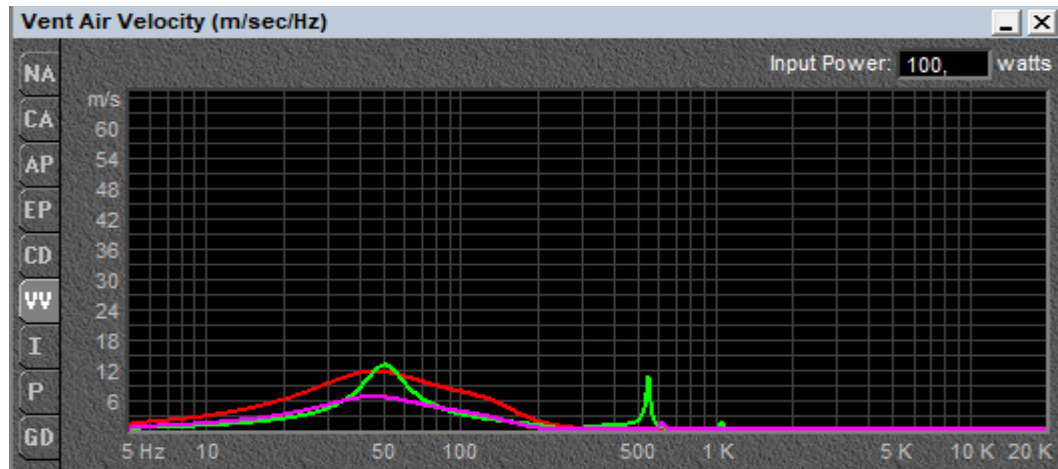


Рисунок 3.40 - Залежність швидкості потоку повітряного порта сабвуфера форми корпуса «призма» об'ємом 20 л від акустичного оформлення

На жаль, за це доводиться розплачуватися високою робочою частотою, складністю та дорожнечою конструкції. Інтегральний параметр якості для цього виду акустичного оформлення вийшов невисоким. Результати досліджень вносимо до таблиці 3.0 (Додаток Б) відповідно за номерами 37-41.

Кращі за інтегральним параметром якості сабвуфера варіанти досліджень вносимо до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Дослідження параметрів сабвуферів при використанні динаміка Тонсіл GD 300/100 з найбільшими параметрами якості

№ дослідження	Форма корпуса	Тип акустичного оформлення	Об'єм Корпусу V, літри	Звуковий тиск A max, dB	Робоча частота F min - 3dB, Гц	Нерівномірність АЧХ N, dB	Зміщення дифузора, мм	Розмір повітряного порта, мм	Швидкість вихода повітряного порта V _{vmax} , м/с	Групова затримка max, мс	$K = A * 10^5 / (V * F * N)$
31	Призма кв. основа	ФІ	20	123	101.5	3	7	1xH _v =20 W _v =340 L _v =96.76	12	5	2020
30	Призма кв.	ФІ	30	123	92.32	3	7	1xH _v =20 W _v =340	12	4	1480

	ОСНОВА							$L_v=49.21$			
37	Призма кв. ОСНОВА	ЗС	20	113	111.5	4	2	відсутній		2	1267

3.3.8 Дослідження залежності параметрів сабвуфера акустичного оформлення «фазоінвертор» з щільним повітряним портом об'ємом 20 л для різних динаміків фірми Тонсіл

Спробуємо застосувати для найкращого за результатами досліджень акустичного рішення інші динаміки. Візьмемо динаміки польської фірми Тонсіл, які цінуються в Європі за хорошу якість та низькі ціни: GD 300/100 (червоний колір на графіках), GDN 25/55/1 (жовтий), GDN 20/60/30 (зелений), GDN 16/50/6 (пурпур), GDN30/100DC (блакитний).

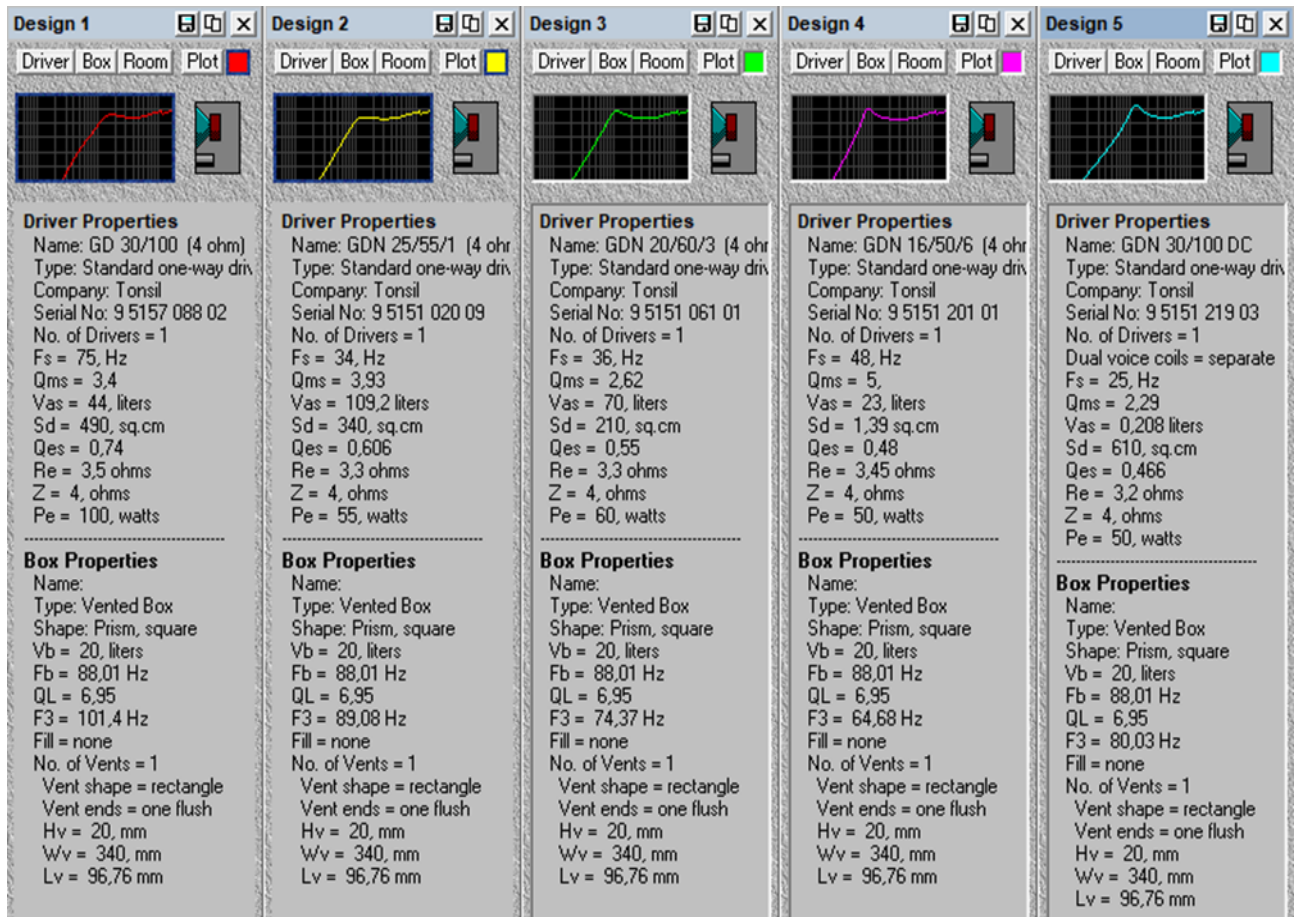


Рисунок 3.41 - Залежність параметрів сабвуфера акустичного оформлення «фазоінвертор» з щільним повітряним портом об'ємом 20 л для різних динаміків фірми Тонсіл

Так як динамік GDN 16/50/6 розрахований на номінальну потужність в 50 Вт, цю частину дослідження проводимо за рівних умов для всіх динаміків по корпусу, ширині і довжині щілинного повітряного порту а також потужності сигналу 50 Вт, що підводиться (рис 3.41).

Виходячи з акустичного рішення, маємо схожі за формою графіки АЧХ та рівні максимального амплітудного відгуку, що в рази відрізняються (рис 3.42). Найгірший результат дав найслабший динамік GDN 16/50/6 (пурпурний колір), площа дифузору якого мінімальна з усіх п'яти варіантів, проте він показав при цьому найкращу мінімальну робочу частоту сабвуфера в цілому, хоча його власна частота велика (друга з п'яти).

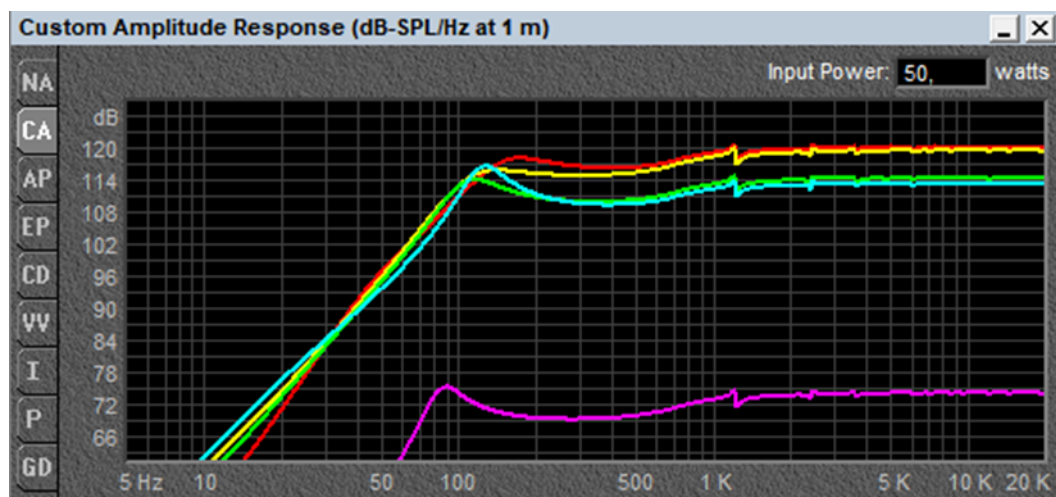


Рисунок 3.42 - Залежність максимального амплітудного відгуку сабвуфера для різних динаміків фірми Тонсіл

Для максимального зміщення дифузора простежується наступна закономірність: чим менша його площа, тим виходить більше зміщення, яке для динаміка GDN 20/60/30 (рис 3.43) вийшло за обумовлені вище граничні критерії в 20 мм щодо його лінійності.

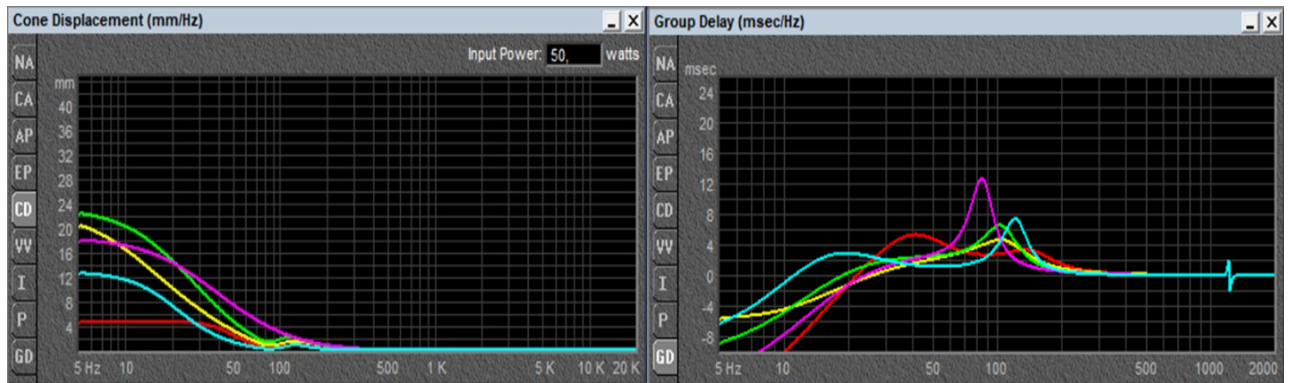


Рисунок 3.43 - Залежність зміщення дифузора та ГЗЧ сабвуфера для різних динаміків фірми Тонсіл

Що стосується швидкості повітряного потоку, то для всіх варіантів динаміків вона приблизно однакова, крім найменшого GDN 16/50/6. Це пояснюється максимальною близькістю значення еквівалентного об'єму динаміка $V_{as} = 23$ літри до запропонованого об'єму корпусу сабвуфера (рис 3.44).

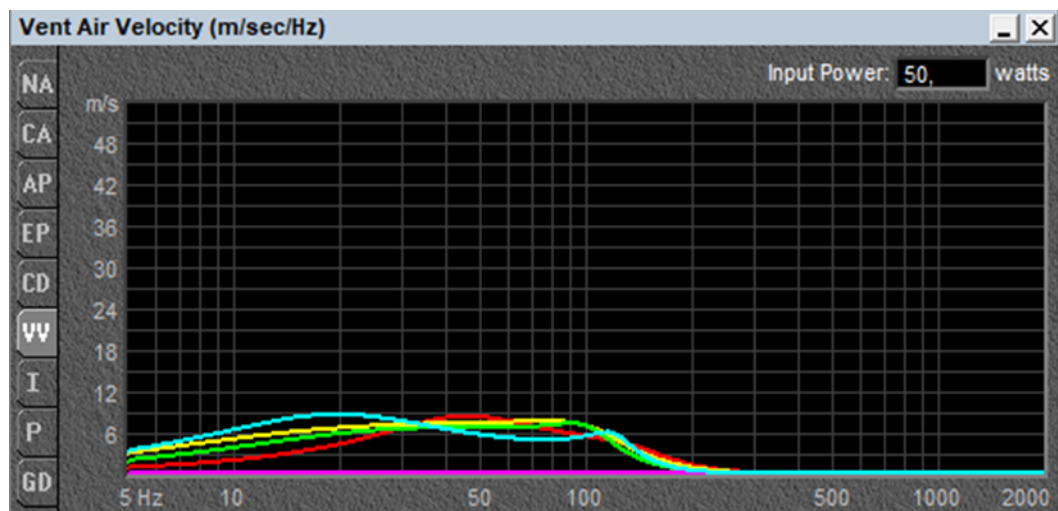


Рисунок 3.44 - Залежність швидкості потоку повітряного порта сабвуфера для різних динаміків фірми Тонсіл

При використанні динаміка GDN30/100DC, що має такий же діаметр дифузора як і базовий у дослідженні, і власну частоту втричі меншу (25 Гц), робоча частота сабвуфера знизилася лише на 20%. Результати досліджень вносимо до таблиці 3.2 відповідно за номерами 1- 5.

3.4 Висновки та рекомендації щодо результатів дослідження параметрів сабвуфера

Для проведення вищеописаного дослідження за допомогою програмних засобів, було запропоновано використання інтегрального параметра якості сабвуфера K , що відображає поставлене завдання отримання найбільшого амплітудного відгуку при мінімальній робочій частоті і нерівномірності АЧХ в можливо малому обсязі. Також були вироблені граничні критерії, спрямовані на максимальну лінеаризацію роботи пристрою та виключення струменевих шумів та інших небажаних акустичних впливів на звук, що отримується.

Таблиця 3.2 – Результати досліджень параметрів сабвуферів при використанні різних динаміків фірми Тонсіл

№ дослідження	Тип динаміка	Діаметр дифузора, мм	Потужність номінальна, Вт	Власна частота, Гц	Звуковий тиск A_{\max} , dB	Робоча частота F_{\min} - 3dB, Гц	Нерівномірність АЧХ N , dB	Зміщення дифузора a_{\max} , мм	Швидкість вихода порта V_v , м/с	Групова затримка t_{\max} , мс	$K = \frac{A \cdot 10^5}{V \cdot F \cdot N}$
1	GD 300/100	306	100	75	120	101.4	3	6	9	6	1972
2	GDN 25/55/1	250	55	34	118	89.08	6	20	8	4	1104
3	GDN 20/60/30	205	60	36	114	74.37	3	24	6	7	Вихід за межі граничних умов
4	GDN 16/50/6	198	50	48	76	64.68	6	18	2	13	979
5	GDN30/100DC	306	50	25	113	80.03	9	14	9	8	784

В результаті проведених численних випробувань було визначено, що максимальне значення $K = 2020$ було досягнуто при використанні динаміка

фірми Тонсіл GD 300/100 діаметром 306 мм в сабвуфері об'ємом 20 літрів форми «призма» з квадратною основою розмірами 373 x 383 x 148 мм.

Використання акустичного оформлення «фазоінвертор» із щілинним повітряним портом шириною 20 мм дозволяє уникати струменевих шумів та «органичних резонансів» при виконанні встановлених обмежувальних критеріїв.

При використанні корпусу трохи більшого об'єму в 30 літрів за збереження решти вхідних параметрів, також виходить гідний результат з $K = 1480$. «Закрита скринька» в 20 літрів, показав третій результат з $K = 1267$, і цілком можливий для подальшої реалізації через простоту та дешевизну конструкції.

4 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ НА ВПРОВАДЖЕННЯ САБФУФЕРА В КОРПУСІ МАЛОГО ОБ'ЄМУ

В даному розділі проведемо аналіз впровадження сабвуфера типу «фазоінвертор» з щілинним портом малого об'єму.

Ідея проєкту полягає у впровадженні результатів попередніх досліджень в практичну реалізацію пристрою у середовищі цінителів якісного звуку та професіоналів (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Зміст ідеї і можливі потенційні ринки

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди користувача
Створення приладу для практичної реалізації	1. Аматорське використання	Можливість самостійного використання в домашніх умовах або автомобілі
	2. Професійне використання	Використання можливе постановниками звуку з великим досвідом або попереднім проходженням навчанням

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг порівняно з пропозиціями конкурентів передбачає:

- визначення переліку техніко-економічних властивостей та характеристик;
- визначення попереднього кола конкурентів або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку;
- проведення збору інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів конкурентів;
- проведення порівняльного аналізу показників: для власної ідеї визначаються показники, що мають (табл. 4.2):
 - а) гірші значення (W, слабкі);
 - б) аналогічні (N, нейтральні) значення;
 - в) кращі значення (S, сильні).

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційної пропозиції представлено в таблиці 4.2, що є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

Таблиця 4.2 – Визначення характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Потенційні товари/концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Запропонований метод	Загальноживаний метод			
1.	Малогабаритність пристрою	Дає змогу	Не дає змогу	–	Сабвуфери що існують на сьогодні	Рішення є більш ефективним відносно інших
2.	Можливість використовувати без поперенної настройки	Дає змогу	Не дає змогу	–	Сабвуфери що існують на сьогодні	Максимальний звуковий тиск

4.1 Технологічний аудит ідеї проекту

Було проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту. Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових (табл. 4.3):

- за якою технологією буде виготовлено пристрій згідно ідеї проекту;
- чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/допрацювати;
- чи доступні такі технології авторам проекту.

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Мало габаритність пристрою	Традиційне виготовлення	наявна	доступна
2	Відсутність необхідності поперенної настройки	Створення простої конструкції	наявна	доступна

4.2 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проєкту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проєкту, дозволяє спланувати напрями розвитку проєкту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проєктів конкурентів. Спочатку проводиться аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (табл. 4.4).

Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку) порівнюється із банківським відсотком на вкладення. За результатами попереднього оцінювання ринок є привабливим для входження.

Таблиця 4.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкт

№ п/п	Показник стану ринку (найменування)	Характеристика
1.	Кількість головних конкурентів	3
2.	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
3.	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Немає
4.	Специфічні вимоги до стандартизації та	ДСТУ, СТТУ,

	сертифікації	ТУУ
5.	Середня норма рентабельності в галузі або по ринку, %	90%

Надалі визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.5).

Після визначення потенційних груп клієнтів проведений аналіз ринкового середовища: складені таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. 4.6), (табл. 4.7). Фактори в таблиці подані в порядку зменшення значущості.

Таблиця 4.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1.	Малогабаритний пристрій (сабвуфер) без необхідності попередньої настройки	Поціновувачі якісного звуку Професійні звукорежисери	Особливостей купівлі та експлуатації товару немає	Надійність, мобільність, простота конструкції, зручність, доступність

Таблиця 4.6 – Фактор загрози

№ п/п	Фактор загрози	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Необхідність акустичного узгодження	Для узгодження фази та ГЗЧ потрібно звернутися до спеціаліста	Укладання договорів з спеціалістами по звуку (звукорежисерами)

Таблиця 4.7 – Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст	Можлива
---	--------	-------	---------

п/п	можливостей	можливості	реакція компанії
1.	Конкуренція	Спонукає розробляти та виробляти нові продукти, знижувати собівартість виробництва	Ускладнення структури та функціональної наповненості пропозиції
2.	Попит	Існування стійкого попиту означає, що більшість потенційних клієнтів зацікавлені у придбанні пристрою	Рекламна діяльність, просування товару в Інтернеті

Надалі проведений аналіз пропозиції: визначені загальні риси конкуренції на ринку (табл. 4.8).

Таблиця 4.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
Тип конкуренції -олігополія	На ринку присутня невелика кількість підприємств, що займаються розробкою такого типу пристроїв	Підвищувати якість послуг за рахунок використання прогресивних технологій
Локальний	Попит на пристрій по всій території країни	Окремий підхід до кожної локальної ділянки
Внутрішньо-галузєва	Використання акустичної системи без відокремленої низькочастотної ланки	Попереднє створення бази даних потенційних покупців
Товарно-видова	Потужність наявних технічних пристроїв для реалізації відтворення наднизьких частот	За необхідності, використання обладнання схожого типу
Цінова	Можливість заощадити за допомогою простоти конструкції та малих розмірів	Гнучка політика цін

За інтенсивністю - марочна	Використання та розміщення пристрою має бути стандартизованим	Реклама товару, проведення тендерів
----------------------------	---	-------------------------------------

Після аналізу конкуренції проведено більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (табл. 4.9) [17].

На основі аналізу конкуренції, наведеного в табл. 4.9, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 4.2), вимог споживачів до товару (табл. 4.5) та факторів маркетингового середовища (табл. 4.6) і (табл. 4.7), визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності, представлені в табл. 4.10.

Таблиця 4.9 – Аналіз конкуренції в галузі

Назва	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Технологічні постачальники	Необхідність пошуку дилерів з міжнародними зв'язками	Залучення малопопулярних постачальників	Незалежність у прийнятті клієнтських рішень	Надання переваги більш авторитетним технологічним рішенням
Висновки	Інтенсивність незначна	Можливість виходу на ринок є	Постачальники диктують цінову політику на пристрої	Клієнти диктують вимоги до якості	Обмеження існують лише для професійного використання

Таблиця 4.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Раціональніший ціновий показник	Можливість більш раціонально використати ресурсів

2	Доступність	Значно нижча ціна ніж у конкурентів
3	Спектр застосувань	Використання для ряду потреб користувачів.

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 4.10) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап проекту (табл. 4.11).

Таблиця 4.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1	Раціональніший ціновий показник	18		+					
2	Доступність	20				+			
3	Спектр застосувань	17	+						

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 4.12) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл. 4.11).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища.

Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад, зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза). Непередбачувальні загрози, пов'язані зі змовою виробників чи постачальників.

Таблиця 4.12 – SWOT- аналіз стартап-проекту.

Сильні сторони: створення пристрою (сабвуфера), який за	Слабкі сторони: необхідність узгодження з іншими елементами
--	--

розмірами можна розмістити практично будь де та використовувати його без попереднього налаштування	акустичної системи та довкіллям
Можливості: підключення до підсилювача без попередньої підготовки	Загрози: незацікавленість клієнтів, цінова конкуренція з інтегральними звуковими рішеннями

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 4.13).

Таблиця 4.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Дослідження поведінки споживачів, пошук наукових ресурсів, розробка обладнання, створення реклами, взаємодія з покупцями для перевірки працездатності пристрою	80%	6 міс
2.	Дослідження поведінки споживачів, пошук інвесторів, створення наукових ресурсів, розробка пристрою, тестування	65 %	1 рік

Обрано альтернативу №1.

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок (табл. 4.9), аналіз потенційних конкурентів.

4.3 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 4.14).

Таблиця 4.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Професійні постановники звуку	Готові	Високий	Середня	Середня
2	Аматори якісного звуку	Готові	Низький	Середня	Середня
Як цільову групу було обрано групу №1 та №2					

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку (табл. 4.15).

Таблиця 4.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Використання прогресивних технологій та обладнання	Встановлення нового стандарту якості та ціни	Компактність та простота роботи	Стратегія диференціації

Обрано стратегію диференціації. Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16).

Таблиця 4.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект "першопрохідцем"	Чи буде компанія шукати нових	Чи буде компанія копіювати	Стратегія конкурентної
-------	------------------------------	-------------------------------	----------------------------	------------------------

	на ринку?	споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	основні характеристики товару конкурента, і які?	поведінки*
1	Ні	Так, шукати нових та забирати існуючих	Так, основний функціонал	Наслідкування лідера

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап компанії) та до продукту (табл. 4.5), а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (табл. 4.15) та стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16) розробляється стратегія позиціонування (табл. 4.17). що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку та сам проєкт.

Таблиця 4.17 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспро- можні позиції власного стартап- проєкту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проєкту (три ключових)
1.	Висока якість пристрою	Диферен ціації	Простота запропонованого рішення, гарантія якості та потужності	Якість, простота, потужність

4.4 Розробка маркетингової програми стартап проєкту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у табл. 4.18 наведені результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Якість	Висока якість, потужність	Якість
2	Компактність	Малий розмір пристрою	Висока потужність в малому об'ємі

Надалі розробляється трьохрівнева маркетингова модель товару: уточняється ідея продукту та (або) послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (табл. 4.19).

Після формування маркетингової моделі товару слід особливо відмітити чим саме проєкт буде захищений від копіювання. Захист може бути організовано за рахунок захисту ідеї товару (захист інтелектуальної власності), або ноу-хау, чи комплексне поєднання властивостей і характеристик, закладене на другому та третьому рівнях товару.

Таблиця 4.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумкою	Якісний товар, стандартизована якість послуг та обладнання		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/ характеристики	М/Н м	Вр/Тх/Тл/ Е/Ор
	1. Вартість обслуговування	М	
	2. Сумісність з більшістю обладнання	М М	
	3. Висока надійність	М	
	4. Безпечний для користування		
	Якість: стабільна робота та високопродуктивний функціонал		
	Встановлення та налаштування		
III. Товар із підкріпленням	До продажу – послуги попереднього прослуховування		
	Після продажу – адаптація до існуючої акустичної системи та простору		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: захист інтелектуальної власності			

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проєкту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 4.20). Аналіз проводиться експертним методом.

Останнім кроком буде визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення. Так як налаштування обладнання у кінцевого користувача не потребує певних професійних навиків і обладнання налаштовано на стадії виробництва, то збут можна проводити в будь – яких точках продажу, де є можливість організувати попереднє прослуховування аудіоконтенту.

Таблиця 4.20 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар
1.	10000-25000 грн.	–	Середній	Н. 8000 – В. 20000 грн

4.5 Висновки по розділу

Було виконано опис ідеї проєкту, що полягає у створенні приладу (сабвуфера) з можливістю використовувати його самостійно без звернення до спеціалістів. Побудова відбувалась за рахунок обрання оптимальних та найбільш підходящих систем для організації усієї роботи, застосування яких на сьогоднішній день є дуже перспективним напрямом розвитку. На сьогоднішній день на українському ринку практично не має аналогів.

Для впровадження стартапу доцільно обрати альтернативу дослідження поведінки споживачів, здійснити пошук наукових ресурсів, розробити

необхідне технічне обладнання, налагодити зв'язки з рекламою, постійно взаємодіяти з покупцями для перевірки працездатності обладнання та отримання зворотного зв'язку. Подальше виконання стартап проекту вважається доцільним.

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі магістра було досліджено параметри сабвуферів в залежності від акустичного оформлення, топології повітряного порта, об'єма корпусу, типу динамиків та запропонована методологія їх оптимізації.

Для досягнення поставленої задачі було проаналізовано характеристики існуючих сабвуферів на предмет визначення головних параметрів для оптимізації, виходячи зі сфери його застосування. Були визначені граничні критерії при побудові сабвуфера, виходячи з мінімізації звукових спотворень, та встановлений їх рівень в 15 м/с для швидкості потоку повітряного порта і 20 мм за для максимального зміщення дифузора на лінійній ділянці роботи.

Було запропоновано використання інтегрального параметра якості сабвуфера K для визначення успішності проведеного дослідження, виходячи з необхідності отримання максимального амплітудного відгуку пристрою при мінімальній робочій частоті та нерівномірності АЧХ в малогабаритному корпусі.

Була проведена комп'ютерна симуляція запропонованих рішень програмними засобами також із різними динаміками фірми Тонсіл з наступним вибором кращих результатів згідно інтегрального параметра якості сабвуфера, їх детальний аналіз та надані рекомендації щодо їх подальшої модернізації.

Виходячи з компромісного рішення між максимальним звуковим тиском і мінімальним об'ємом корпусу а також найбільшим параметром якості $K = 2020$, в якості кращого варіанта для обраного як базовий динаміка Tonsil GD30/100, можна рекомендувати для подальшої реалізації сабвуфер акустичного оформлення типу "фазоінвертор" з щільним повітряним портом в корпусі "призма" з квадратною основою об'ємом 20 літрів.

В подальшому було розроблено стартап проєкт на провадження сабвуфера запропонованого акустичного рішення. Розробка відбувалась за рахунок обрання оптимальних та найбільш підходящих параметрів для

організації усієї роботи, застосування яких на сьогоднішній день є перспективним. Визначено, що сьогоднішній день на українському ринку аналогів практично немає.

Для впровадження стартапу потрібно буде обрати альтернативне дослідження поведінки споживачів, здійснити пошук наукових та виробничих ресурсів, розробити необхідне технічне завдання при використанні відповідного обладнання, налагодити рекламні зв'язки, постійно взаємодіяти з покупцями для перевірки працездатності та якості обладнання та отримання зворотного зв'язку.

Подальше виконання стартап проекту вважаємо доцільним.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

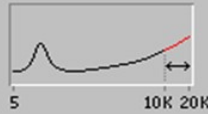
1. Офіційний сайт інтернет-магазину «klipsch.com.ua» [Електронний ресурс]:
<https://klipsch.com.ua/ru/product/klipsch-reference-r-112sw-black/> (1.12.2023)
2. Офіційний сайт фірми «Amcoustics» [Електронний ресурс]:
<https://amcoustics.com/tools/amroc> (1.12.2023)
3. Офіційний сайт фірми «Rotarywoofer» [Електронний ресурс]:
<http://www.rotarywoofer.com/> (1.12.2023)
4. Офіційний сайт фірми «Powersoft» [Електронний ресурс]:
<https://www.powersoft.com/en/products/transducers/m-force-technologies/>
(1.12.2023)
5. Офіційний сайт фірми «Mag cinema» [Електронний ресурс]:
https://mag-cinema.com/ua/index.php?route=product/product&product_id=200
(1.12.2023)
6. Офіційний сайт фірми «JBL» [Електронний ресурс]:
<https://jbl-speakershop.updatestar.com/> (1.12.2023)
7. Офіційний сайт фірми «HT audio» [Електронний ресурс]:
www.ht-audio.com (1.12.2023)
8. Офіційний сайт програми «Speaker box lite» [Електронний ресурс]:
<https://speakerboxlite.com/> (10.12.2023)
9. Офіційний сайт програми «Bassportmaster» [Електронний ресурс]:
<http://www.bassport.net/bassportmaster/> (10.12.2023)
10. Офіційний сайт програми «Subbox pro» [Електронний ресурс]:
<https://subbox.pro/en/> (10.12.2023)
11. Офіційний сайт фірми «Tolvan Data» [Електронний ресурс]:
<https://www.tolvan.com/> (10.12.2023)
12. Офіційний сайт фірми «Audiotester» [Електронний ресурс]:
<http://www.audiotester.de/> (10.12.2023)

13. Офіційний сайт фірми «Tonsil» [Електронний ресурс]:
<https://www.skleptonsil.pl/> (10.12.2023)
14. Maximizing Performance from Loudspeaker Ports*
ALEX SALVATTI,1 AES Member, ALLAN DEVANTIER,2 AES Member,
AND DOUG J. BUTTON,1 AES Member JBL Professional, Northridge, CA
91329, USA Infinity Systems, Northridge, CA 91329, USA
15. Офіційний сайт фірми «DD Audio» [Електронний ресурс]:
<https://ddaudio.com/> (20.12.2023)
16. Жан-П'єро Матараццо «Теорія і практика фазоінвертора» [Електронний
ресурс]:[https://ldsound.info/teoriya-i-praktika-fazoinvertora-
otredaktirovannoe/](https://ldsound.info/teoriya-i-praktika-fazoinvertora-otredaktirovannoe/) (20.12.2023)
17. Конкурентна перевага. Як досягати стабільно високих результатів
Код ІМ-00120301 Автор: Майкл Портер Видавництво: Наш Формат
Рік видання: 2019 Кількість сторінок: 624 ISBN: 9786177730650

ДОДАТОК А

Частотна залежність L_e

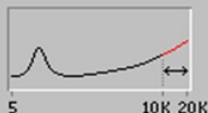
Driver Inductance Estimator



To estimate the equivalent inductance (L_e) of a driver you will need to have an impedance graph of the driver which goes to at least 10 kHz. Begin by entering the DC voice coil resistance (R_e), if it has not yet been entered. Next select a frequency between 10 kHz and 20 kHz (10000 Hz - 20000 Hz). Finally, enter the impedance magnitude at that frequency.

Re: ohms
 Frequency: kHz
 Impedance: ohms
 Le: mH

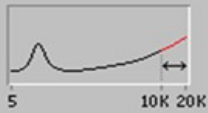
Driver Inductance Estimator



To estimate the equivalent inductance (L_e) of a driver you will need to have an impedance graph of the driver which goes to at least 10 kHz. Begin by entering the DC voice coil resistance (R_e), if it has not yet been entered. Next select a frequency between 10 kHz and 20 kHz (10000 Hz - 20000 Hz). Finally, enter the impedance magnitude at that frequency.

Re: ohms
 Frequency: kHz
 Impedance: ohms
 Le: mH

Driver Inductance Estimator



To estimate the equivalent inductance (L_e) of a driver you will need to have an impedance graph of the driver which goes to at least 10 kHz. Begin by entering the DC voice coil resistance (R_e), if it has not yet been entered. Next select a frequency between 10 kHz and 20 kHz (10000 Hz - 20000 Hz). Finally, enter the impedance magnitude at that frequency.

Re: ohms
 Frequency: kHz
 Impedance: ohms
 Le: mH

ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 – Результати досліджень параметрів сабвуферів при використанні динаміка Тонсіл GD 300/100

№ дослідження	Форма корпусу	Тип акустичного оформлення	Об'єм Корпусу V, літри	Звуковий тиск А max, дВ	Робоча частота F min - 3дВ, Гц	Нерівномірність АЧХ N, дВ	Зміщення дифузора max, мм	Розмір повітряного порта, мм	Швидкість виходу повітря з порту V _{vmax} , м/с	Групова затримка max, мс	$K = A * 10^5 / (V * F * N)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	конус	ЗС	50	117	103	3	4	відсутній		3	757
2	сфера	ЗС	50	117	103	3	4	відсутній		3	757
3	куб	ЗС	50	123	103	6	4	відсутній		3	398
4	Призма кв. основа	ЗС	50	123	101.3	6	4	відсутній		3	405
5	циліндр	ЗС	50	117	103	3	4	відсутній		3	757
6	конус	ФІ	50	117	71.10	9	7	1xD _v =175 L _v =82.16	6	7	365
7	сфера	ФІ	50	117	71.10	9	7	1xD _v =175 L _v =82.16	6	7	365
8	куб	ФІ	50	123	70.90	9	7	1xD _v =175 L _v =82.16	6	7	386
9	Призма кв. основа	ФІ	50	117	81.77	9	7	1xD _v =175 L _v =82.16	6	7	318
10	циліндр	ФІ	50	117	71.10	9	7	1xD _v =175 L _v =82.16	6	7	366
11	конус	ФІ	50	117	77.26	3	7	1xD _v =100 L _v =20	12	7	1009
12	сфера	ФІ	50	117	77.26	3	7	1xD _v =100 L _v =20	12	7	1009
13	куб	ФІ	50	123	76.94	6	7	1xD _v =100 L _v =20	12	7	533
14	Призма кв. основа	ФІ	50	123	76.74	6	7	1xD _v =100 L _v =20	12	7	533
15	циліндр	ФІ	50	117	77.26	3	7	1xD _v =100 L _v =20	12	7	1009
16	куб	ФІ	50					1xD _v =20 L _v =20	28		Вихід за межі граничних умов V _{vmax} <15
17	куб	ФІ	50					1xD _v =30 L _v =20	20		Вихід за межі граничних умов V _{vmax} <15
18	куб	ФІ	50					1xD _v =75 L _v =20	17		Вихід за межі граничних умов V _{vmax} <15

Продовження таблиці Б1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
19	куб	ФІ	50	120	75.16	6	7	$1 \times D_v=150$ $L_v=20$	7	6	532
20	куб	ФІ	50	123	77.91	9	7	$1 \times D_v=200$ $L_v=20$	5	6	351
21	куб	ФІ	50					$1 \times H_v=5$ $W_v=340$ $L_v=1,951$	24		Вихід за межі граничних умов $V_{vmax}<15$
22	куб	ФІ	50					$1 \times H_v=10$ $W_v=340$ $L_v=9.065$	18		Вихід за межі граничних умов $V_{vmax}<15$
23	куб	ФІ	50	123	84.88	3	7	$1 \times H_v=15$ $W_v=340$ $L_v=17.54$	14	4	966
24	куб	ФІ	50	123	81.83	3	7	$1 \times H_v=20$ $W_v=340$ $L_v=26.81$	12	5	1002
25	куб	ФІ	50	123	78.28	3	7	$1 \times H_v=25$ $W_v=340$ $L_v=36.63$	10	5	1047
26	куб	ФІ	50	123	77.97	6	7	$1 \times H_v=30$ $W_v=340$ $L_v=46.85$	8	6	514
27	куб	ФІ	50	123	73.73	6	7	$1 \times H_v=50$ $W_v=340$ $L_v=90.52$	7	7	556
28	куб	ФІ	50	123	70.99	9	7	$1 \times H_v=70$ $W_v=340$ $L_v=137.0$	6	8	385
29	Призма кв. основа	ФІ	40	123	88.33	3	7	$1 \times H_v=20$ $W_v=340$ $L_v=25.43$	12	4	1160
30	Призма кв. основа	ФІ	30	123	92.32	3	7	$1 \times H_v=20$ $W_v=340$ $L_v=49.21$	12	4	1480
31	Призма кв. основа	ФІ	20	123	101.5	3	7	$1 \times H_v=20$ $W_v=340$ $L_v=96.76$	12	5	2020
32	Призма кв. основа	ФІ	15	120	110.0	6	7	$1 \times H_v=20$ $W_v=340$ $L_v=144.3$	12	7	1212
33	Призма кв. основа	ФІ	60	123	85.59	6	7	$1 \times H_v=20$ $W_v=340$ $L_v=1.659$	12	4	399
34	Призма кв. основа	ФІ	70					$1 \times H_v=20$ $W_v=340$	28		Вихід за межі граничних умов $V_{vmax}<15$
35	Призма кв. основа	ФІ	80					$1 \times H_v=20$ $W_v=340$	32		Вихід за межі граничних умов $V_{vmax}<15$

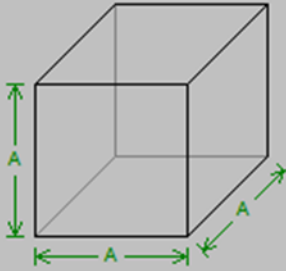
Продовження таблиці Б1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
36	Призма кв. основа	ФІ	100					$1 \times H_v = 20$ $W_v = 340$	36		Вихід за межі граничних умов $V_{vmax} < 15$
37	Призма кв. основа	ЗС	20	113	111.5	4	2	відсутній		2	1267
38	Призма кв. основа	Band pass	20	111		30	3	$H_v = 20$ $W_v = 245$ $L_v = 286.9$	14	16	Вихід за межі граничних умов
39	Призма кв. основа	Band pass	20	105		15	4	відсутній		22	Вихід за межі граничних умов
40	Призма кв. основа	ФІ	20	120	101.5	12	7	$2 \times H_v = 20$ $W_v = 340$ $L_v = 230.7$	7	8	492
41	Призма кв. основа	Passive Radiator	20	124	123.5	9	4/2	відсутній		10	558

ДОДАТОК В

Параметри корпусу сабвуфера

Box Properties - Design 3

Description	Box Design	Damping	Vents	Interior	Parts List
Type: <input type="text" value="Vented Box"/>	<input type="button" value="Suggest"/>	Shape: <input type="text" value="Cube"/>	Dimensions are: <input checked="" type="radio"/> Internal <input type="radio"/> External		
Internal Volume <input type="checkbox"/> Lock Vb <input checked="" type="checkbox"/>					
Vb: <input type="text" value="50"/> liters					
Total: <input type="text" value="52,03"/> liters					
Fb: <input type="text" value="88,01"/> Hz	<input type="button" value="Suggest Fb"/>				
QL: <input type="text" value="6,95"/>					
F3: <input type="text" value="86,73"/> Hz					
					
Dimensions <input type="checkbox"/> Override Vb <input checked="" type="checkbox"/>					
Wall Thickness, Front: <input type="text" value="20"/>		Side: <input type="text" value="20"/>		mm	
A: <input type="text" value="373,3"/>		mm			

ДОДАТОК Г

Параметри драйверів сабвуферів

Driver Properties - Design 1

Description	Configuration	Parameters	Dimensions	Response	External
Outer Shape: Round		Piston Type: Cone			
Diameter A: 306 mm					
Diameter B: 293 mm					
Diameter C: 274 mm					
Diameter D: 134 mm		<input type="checkbox"/> Square			
Depth E: 39 mm					
Depth F: 4 mm					
Depth G: 130 mm					
M-Vd: 2,974 liters					

Diagram showing the dimensions of the driver: A (outer diameter), B (inner diameter), C (diameter of the cone), D (height of the cone), E (height of the voice coil), F (height of the magnet gap), and G (height of the magnet assembly).

Buttons: Import Acoustic Data, Accept, Cancel

Driver Properties - Design 1

Description	Configuration
Driver Model: GD 30/100 (4 ohm)	
Driver Type: Standard one-way driver	
Company: Tonsil	
Serial Number: 9 5157 088 02	
Comment:	
Description of Drive	
Piston (cone):	
Suspension:	
Dust Cap:	
Frame:	
Voice Coil:	
Terminals:	
Magnet: Ferrite	

Edit Database Driver Data - New Driver: GDN 25/55/1 (4 ohm)

Description	Configuration	Parameters	Dimensions	Response	External
Outer Shape: Round		Piston Type: Cone			
Diameter A: 250 mm					
Diameter B: 233 mm					
Diameter C: 222 mm					
Diameter D: 110 mm		<input type="checkbox"/> Square			
Depth E: 34 mm					
Depth F: 9,3 mm					
Depth G: 105 mm					
Est M-Vd: liters					

Diagram showing the dimensions of the driver: A (outer diameter), B (inner diameter), C (diameter of the cone), D (height of the cone), E (height of the voice coil), F (height of the magnet gap), and G (height of the magnet assembly).

Fs: 34 Hz
Qms: 3,93
Vas: 109,2 liters
Xmax: mm
Sd: 340 sq.cm
Qes: 0,606
Re: 3,3 ohms
Le: mH
Z: 4 ohms
Pe: 55 watts

Edit Database Driver Data - New Driver: GDN 20/60/3 (4 ohm)

Description	Configuration	Parameters	Dimensions	Response	External
Outer Shape: Round	Piston Type: Cone				
Diameter A: 205, mm					
Diameter B: 193, mm					
Diameter C: 177, mm					
Diameter D: 90, mm	<input type="checkbox"/> Square				
Depth E: 27,5, mm					
Depth F: 11,3, mm					
Depth G: 81,7, mm					
Est M-Vd: <input type="text"/> liters					
				Fs: 36, Hz	
				Qms: 2,62	
				Vas: 70, liters	
				Xmax: <input type="text"/> mm	
				Sd: 210, sq.cm	
				Qes: 0,55	
				Re: 3,3, ohms	
				Le: <input type="text"/> mH	
				Z: 4, ohms	
				Pe: 60, watts	

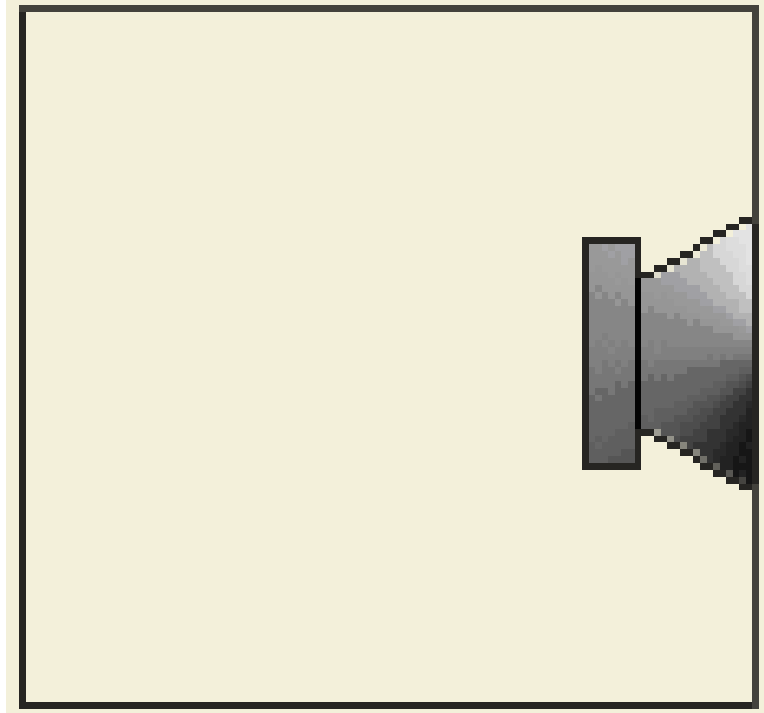
Driver Properties - Design 4

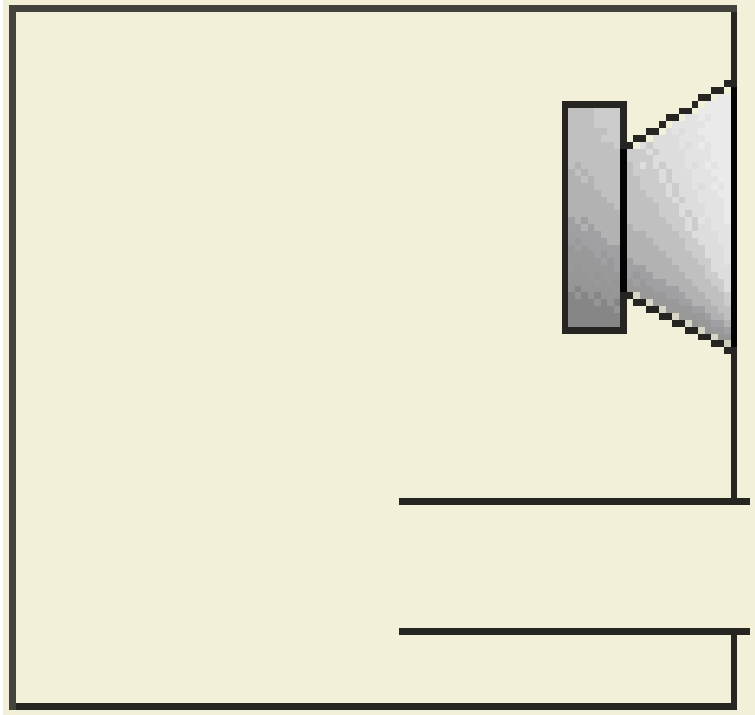
Description	Configuration	Parameters	Dimensions	Response	External
Outer Shape: Round	Piston Type: Cone				
Diameter A: 198, mm					
Diameter B: 182, mm					
Diameter C: 152,5, mm					
Diameter D: 90, mm	<input type="checkbox"/> Square				
Depth E: 29,5, mm					
Depth F: 2,6, mm					
Depth G: 78,8, mm					
Est M-Vd: <input type="text"/> liters					
				Fs: 48, Hz	
				Qms: 5,	
				Vas: 23, liters	
				Xmax: <input type="text"/> mm	
				Sd: 1,39, sq.cm	
				Qes: 0,48	
				Re: 3,45, ohms	
				Le: <input type="text"/> mH	
				Z: 4, ohms	
				Pe: 50, watts	

Edit Database Driver Data - New Driver: GDN 30/100 DC

Description	Configuration	Parameters	Dimensions	Response	External
Outer Shape: Round	Piston Type: Cone				
Diameter A: 306, mm					
Diameter B: 293, mm					
Diameter C: 274, mm					
Diameter D: 120, mm	<input type="checkbox"/> Square				
Depth E: 37, mm					
Depth F: 12, mm					
Depth G: 128, mm					
Est M-Vd: <input type="text"/> liters					
				Fs: 25, Hz	
				Qms: 2,29	
				Vas: 0,208, liters	
				Xmax: <input type="text"/> mm	
				Sd: 610, sq.cm	
				Qes: 0,466	
				Re: 3,2	
				Le: <input type="text"/> mH	
				Z: 4, ohms	
				Pe: 50, watts	

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА
АКУСТИЧНЕ ОФОРМЛЕННЯ ЗАКРИТА СКРИНЬКА



АКУСТИЧНЕ ОФОРМЛЕННЯ ФАЗОІНВЕРТОР

РІЗНОВИДИ ДИЗАЙНУ КОРПУСУ ПРОГРАМИ BASSBOX 6 PRO

