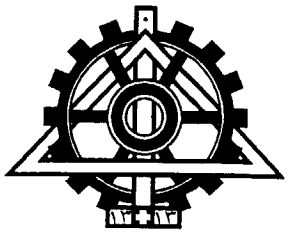
بسم الله الرحمن الرحيم

۳۰۳۱۱



دانشگاه تهران

دانشکدهٔ فنی

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه:

کارشناسی ارشد

طراحی قطعات جاذب صوت مورد استفاده در اتاقهای آکوستیک

استاد راهنما:

آقای دکتر محمدحسن رحیمیان

تهیه‌کننده:

مریم شکوهی تبریزی

بهار ۱۳۷۹

۳۰۳۱۱

۱۳۷۹ /۵/ ۲۵

موضوع:

طراحی قطعات جاذب صوت مورد استفاده در اتاقهای آکوستیک

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

توسط:

مریم شکوهی تبریزی

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش

تبدیل انرژی

از این پایان نامه در تاریخ۱۳۷۹/۳/۱۸ هیئت داوران دفاع به عمل آمد و مورد تصویب قرار گرفت.

امضاء

7624

سرپرست کمیته تحصیلات تکمیلی: .....

مدیر گروه آموزشی: .....

نماینده تحصیلات تکمیلی گروه: .....

استاد راهنما : .....

عضو هیئت داوران: .....

عضو هیئت داوران: .....

تشکر و قدردانی:

بر خود لازم می‌دانم که از زحمات دلسوزانه استاد محترم جناب آقای دکتر محمدحسن رحیمیان که در انجام این پروژه از هیچگونه راهنمایی و مساعدتی دریغ ننموده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم. همچنین از اساتید محترم هیئت داوران که زحمت مطالعهٔ این پروژه را قبول فرموده‌اند، کمال تشکر را دارم. در نهایت از کلیهٔ دوستان که به نحوی مرا در انجام پروژه یاری داده‌اند تشکر می‌نمایم.

فهرست مطالب

چکیده ۱

فصل اول ۱

مقدمه ۱

فصل دوم ۵

اطاق آکوستیک ۵

فصل سوم ۱۱

پیشینه مطالعاتی ۱۱

فصل چهارم ۱۸

معادلات حاکم ۱۸

شرایط مرزی ۲۰

شرایط مرزی برای مادهٔ متخلخل ۲۱

ایجاد میدان محاسباتی ۲۱

حل عددی ۲۳

فصل پنجم ۳۲

بررسی نتایج ۳۲

تأثیر تغییر طول پایهٔ قطعهٔ s ۳۴

تأثیر تغییر فاصلهٔ هوایی پشت قطعه t ۳۴

تأثیر تغییر عرض قطعه w ۳۴

تأثیر تغییر مقاومت جریانی σ ۳۵

نمودارها ۳۶

منابع ۵۱

چکیده:

اتاقهای آکوستیک و نیمه آکوستیک ابزار دقیقی برای اندازه‌گیری صوت می‌باشند، که کاربردهای صنعتی و تحقیقاتی بسیاری دارند. بدنه داخلی این اتاقها توسط قطعات هرمی شکلی که از مواد جاذب صوت ساخته شده‌اند پوشیده شده است که با جذب صوت از برگشت آن جلوگیری کرده و یک میدان آزاد به وجود می‌آید.

تعیین ابعاد و جنس این قطعات تاکنون با استفاده از نتایج تجربی موجود انجام شده است و میزان جذب و انعکاس صوت در هر قطعه توسط آزمایش لولهٔ امپدانس معین شده و با استفاده از آن در محدودهٔ فرکانس مورد نظر و مادهٔ انتخاب شده، ابعاد قطعهٔ جاذب معین می‌گردد.

در این پروژه سعی شده است که آزمایش در لولهٔ امپدانس برای تعیین میزان جذب صوت، مدل‌سازی شود. به این منظور معادلات حاکم و شرایط مرزی به دست آورده شده و سپس توسط یک برنامه به زبان فرترن ۷۷ حل عددی معادلات و نهایتاً میزان جذب و انعکاس صوت برای قطعه به دست آورده شده است.

توسط اطلاعات این برنامه می‌توان منحنی‌های لازم برای طراحی ابعاد قطعه را به دست آورد که در نهایت با مقایسه با مقادیر تجربی نتایج مطلوبی بدست آمده است.

فصل اول

مقدمه

علم آکوستیک از علوم قدیمی است که نخستین دانشمندان علم فیزیک نیز به آن پرداخته‌اند. در قرن هجدهم دالامبر (Dalembert) و دانیل برنولی (Daniel Bernoulli) فرمول ریاضی مهم پخش صوت را، هم در فیزیک و هم در ریاضی کشف کردند. پس از آن پیشرفتهای بسیاری در زمینه‌های متفاوت آکوستیک انجام گرفت و نظریه موجی بودن صوت توسط هویگنس Huygens پی‌ریزی گردید.

باتوجه به وسعت علم آکوستیک، هم‌اکنون شاخه‌های گوناگونی از این علم ایجاد گردیده است. یکی از موضوعات مورد توجه در سالیان متمادی مبحث جذب صوت می‌باشد. مواد گوناگونی ازجمله پشم شیشه glass wool، پشم معدنی Mineral wool، فوم Foam و یا مواد فیبری Fibrous Material بعنوان جاذب صوت در صنعت وکارهای ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

تحقیق بر روی نحوه جذب صوت توسط این مواد و ایجاد یک تئوری جامع، مورد توجه بسیار بوده است. دو تئوری عمده در مورد چگونگی جذب صوت مطرح شده است:

۱- تئوری انعکاس محلی Locally Reaction

۲- تئوری انعکاس توده‌ای Bulk Reaction

که باتوجه به شرایط مختلف می‌توان یکی از تئوری‌های مطرح شده را بکارگرفت.

بررسی فرآیند جذب صوت در مواد متخلخل نشان داده است که به علت وجود فشار صوتی، مولکولهای هوا (علاوه بر حرکت رندوم ذاتی آنها) در حفره‌های هوایی با فرکانس موج صوتی محرک نوسان می‌کنند. این نوسانات به علت اصطکاک میرا می‌شوند. همچنین تغییر جهت

حرکت و انقباض و انبساط جریان هوا، حین عبور از حفره‌های ماده متخلخل باعث کاهش مومنتوم جریان در هنگام پخش موج می‌گردد. این دو فرآیند علت اصلی کاهش انرژی به هنگام عبور از یک ماده متخلخل در فرکانسهای بالا می‌باشد. در فرکانسهای پایین، انتقال حرارت هدایتی، عامل دیگری برای کاهش انرژی صوتی است. به علت وجود موج محرک صوتی، هوای داخل حفره‌ها، یک دوره انبساط و انقباض را می‌گذارد و در اثر آن تغییر دما می‌دهد. به علت زمان نسبتاً طولانی در هر نیم پریود نوسان، نسبت سطح به حجم بالا و توانایی انتقال حرارت هدایتی بالای فیبرها، فرآیند تبدیل انرژی حرارتی اساساً به صورت دما ثابت انجام می‌گیرد. که این عامل عمده درکاهش انرژی صوتی در فرکانسهای پایین می‌باشد، ولی در فرکانسهای بالا فرآیند انقباض آدیاباتیک انجام می‌شود.

یکی ازکاربردهای مهم مواد جاذب در اتاقهای آکوستیک و نیمه آکوستیک می‌باشد. این اتاقها محفظه‌هایی هستند که دیواره‌های آنها توسط قطعاتی که از مواد جاذب صوت ساخته شده‌اند، پوشیده شده است. این قطعات،صوت منتشر شده در اتاق را جذب نموده و از بازگشت صوت و ایجاد پژواک جلوگیری می‌کنند.

اتاقهای آکوستیک و نیمه آکوستیک را می‌توان ابزار دقیق اندازه‌گیری صوت دانست، که کاربردهای صنعتی و تحقیقاتی بسیاری دارند. ازجمله تعیین شدت صوت دستگاههای مکانیکی و ماشین آلات مختلف، اندازه‌گیری صوت، کالیبره کردن میکروفونها و وسایل الکترو آکوستیک و تحقیق بر روی شنوایی انسان را می‌توان موارد کاربرد اتاقهای آکوستیک دانست.

از مهمترین مراکزی که از این محفظه‌ها استفاده می‌کنند مراکز تست و تحقیق بر روی خودرو می‌باشند. درگذشته آزمایشات مختلفی که برای اندازه‌گیری صدای حاصله یک خودرو و یا قطعات آن لازم بود، در یک محیط آزاد که شرایط لازم را مهیا می‌نمود، انجام می‌گرفت. باتوجه به

اشکالات فراوان و مشکلات محیطی، لزوم ایجاد یک فضای بسته احساس می‌شد. اتاقهای آکوستیک با جذب صوت، اثرات باز تاباننده مرزهای اتاق را از بین برده و یک میدان آزاد ایجاد می‌کنند. منظور از میدان آزاد، فضایی است که در آن هیچگونه بازگشت صوت نداریم و در حالت ایده‌آل هیچ مرزی محیط را احاطه نکرده است.

یک میدان آزاد بر روی سطح بازتاباننده، همان شرایط گفته شده را بر روی یک سطح صلب ایجاد می‌کند که اتاق نیمه آکوستیک ایجاد کننده چنین شرایطی است.

مرکز تحقیقات و آزمایش قطعات و مجموعه‌های خودرو (ایتراک) مرکزی است که در راستای ایجاد و ارائه استانداردهای خودرو و قطعات آن در ایران فعالیت می‌نماید. باتوجه به نیاز این مرکز به اتاق آکوستیک برای انجام آزمایشات اندازه‌گیری صوت و بررسی استاندارد بودن قطعات خودرو ازنظر صدای دستگاهها، همزمان با تهیه یک اتاق آکوستیک از خارج ازکشور، تصمیم به انجام تحقیقاتی در این زمینه گرفته شد.

با هماهنگی‌های انجام شده بین مرکز تحقیقات و آزمایش قطعات و مجموعه‌های خودرو، پروژه‌ای برای بررسی چگونگی طراحی اتاق آکوستیک و قطعات جاذب تعریف و انجام شد.

هدف از این پروژه به دست آوردن منحنی‌هایی است که می‌توان با در دست داشتن اطلاعات اولیه در رابطه با محدوده کاری اتاق مورد نظر، ابعاد قطعات و سپس ابعاد اتاق را تعیین نمود.

هر چند برای طراحی کامل یک اتاق آکوستیک، پارامترهای بسیاری ازجمله:

- طراحی بخش الکترو آکوستیک و تعبیه میکروفونها
- ایزوله کردن ارتعاشات
- سیستم تهویه هوای بدون صدا
- سیستم‌های مکانیکی در ورودی و محل نصب وسیله مورد نظر

و .... مطرح می‌شود، اما انجام این پروژه را می‌توان قدم اول و اساسی برای طراحی کامل و ساخت یک اتاق آکوستیک در داخل کشور دانست.

فصل دوم

اطاق آکوستیک

در یک اطاق آکوستیک تمامی شش وجه اتاق، شامل دیوارها، کف و سقف از لبه‌های جاذب پوشیده شده است. اما در اتاق نیمه آکوستیک کف اتاق شامل یک سطح بازتاباننده و تخت است که ضریب جذب انرژی در آن در حدود ۰/۰۶ برای فرکانس مورد نظر می‌باشد. همانطورکه در شکل ۱ دیده می‌شود قطعات جاذب به شکل اجزایی با سطح مقطع مثلثی و لبه‌های تیز می‌باشد. به‌طور معمول کف اتاق صفحه‌ای متحرک است که بالای لبه‌های جاذب قرار می‌گیرد و پس از انجام عملیات نصب وسیله این سطح متحرک کنار رفت و یک اتاق آکوستیک کامل پدید می آید.

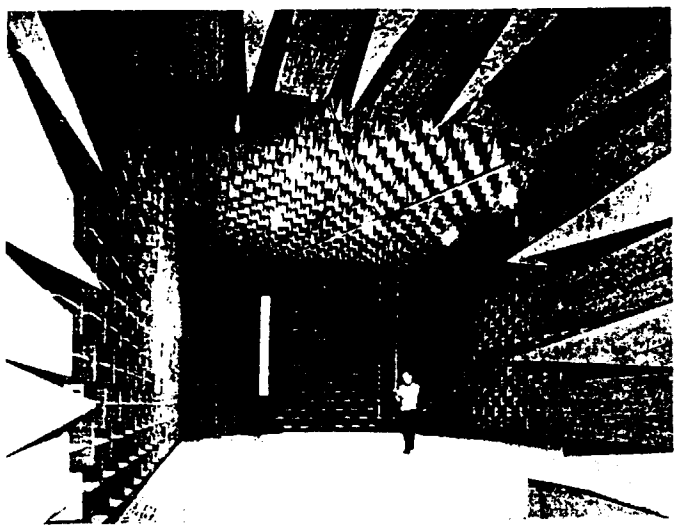


Fig. 1. The large anechoic room.

مفاهیم بسیاری در بررسی صوت و جذب آن مطرح می‌شود که به بیان آنها می‌پردازیم.

میدان آزاد: عبارت است از میدانی از یک محیط هموژن و ایزوتراپیک، که هیچ مرز بازگشت دهنده‌ای آن را احاطه نکرده است.

میدان آزاد بالای یک سطح بازتاباننده: میدانی از یک محیط هموژن و ایزوتراپیک در نیمه بالایی یک سطح صاف و صلب می‌باشد.

شدت آکوستیکی موج صوتی: مقدار انرژی است که در واحد زمان از واحد سطح عمود بر امتداد انتشار موج می‌گذرد.

امپدانس آکوستیکی ویژه: نسبت فشار آکوستیکی $P(x)$ در محیطی که موج در آن انتشار می‌یابد به سرعت ذره‌ای آن $U(x)$ امپدانس آکوستیکی ویژه Specific Acoustic Impedance محیط برای آن نوع موج انتشار یافته می‌نامند. امپدانس آکوستیکی ویژه محیط در موجهای تخت پیشرونده مقداری است حقیقی، ولی در موجهای ساکن و یا موجهای واگرا چنین نیست. بطور کلی می‌توان روشن کرد که امپدانس Z دارای دو قسمت حقیقی و موهومی است.

$$Z = \frac{P}{U} = r + ix$$

که در این رابطه، r مقاومت آکوستیکی ویژه است و به مصرف انرژی بستگی دارد و x راکتانس آکوستیکی ویژه محیط صوتی است و مؤلفه‌ای است که از جرم مؤثر و سختی محیط نتیجه می‌شود. امپدانس آکوستیکی ویژه برای موج تخت پیش رونده تبدیل به $\rho_0 C_0$ می‌شود که مقداری است حقیقی و به آن امپدانس (مقاومت) مشخصه محیط (Characteristic Impedance) می‌گویند.

هنگامی که فشار صوت با سرعت ذره‌ای آن همفاز نباشد امپدانس آکوستیکی یک پارامتر مختلط است.

فرکانس قطع (Cut - off Frequency): عبارت است از فرکانسی که عموماً برای لبه جاذب تعریف می‌شود و در این فرکانس و فرکانسهای بیش از آن انرژی جذب شده توسط لبه جاذب بیش از ۹۰٪ انرژی منتشر شده در محیط می‌باشد.

ضریب جذب: این پارامتر تابعی از فرکانس است و به‌طور اساسی به نوع ماده، ضخامت آن و شکل قطعه جاذب وابسته است و عبارت است از نسبت انرژی جذب شده توسط ماده جاذب به انرژی صوتی که به ماده جاذب رسیده است.

میدان دور: قسمتی از میدان تابش منبع صوت است به صورتی که سطح فشار صوت در آن با دو برابر کردن مساحت سطح اندازه‌گیری ۳dB کاهش پیدا کند. این مسئله، با کاهش ۶dB برای هر دو برابر کردن فاصله از منبع، معادل است. و یا می‌توان گفت در میدان دور فشار مربع متوسط با قدرت آکوستیکی کل که از منبع تابش می‌کند متناسب است.

میدان نزدیک: بخشی از میدان انتشار صوت است که بین منبع و میدان دور قرار می‌گیرد.

حال باتوجه به تعاریفی که در بالا بیان شد به بررسی نحوه طراحی یک اطاق آکوستیک پرداخته می‌شود.

در یک اتاق آکوستیک با نصب جاذبها بر روی دیواره‌ها، مرزها و اثرات بازگشت‌دهنده آنها حذف می‌شود و شرایط میدان آزاد ایجاد می‌گردد، در نتیجه می‌توان گفت در اثر جذب امواج صوتی، تنها صدای منتشر شده از منبع صوت توسط گیرنده‌ها دریافت می‌شود و تنها صدای منبع تولید صوت اندازه‌گیری می‌گردد.

در طراحی اتاق آکوستیک دو عامل عمده مطرح می‌شود. عامل اول ابعاد اطاق است و عامل دوم طراحی قطعات جاذب صوت می‌باشد.

در رابطه با تعیین ابعاد اطاق، لازم است اتاق به اندازه کافی بزرگ بوده و نیز به اندازه کافی

جاذب‌های صوتی داشته باشد تا بتواند میدان مناسبی برای محدوده فرکانس مورد نظر ایجاد نماید. براساس استاندارد ISO 3745 حجم وسیله مورد آزمایش باید کمتر از ۰/۵٪ حجم کاری اتاق باشد. برای اندازه‌گیری براساس استاندارد میدان دور به این نتیجه می‌رسیم که حجم اتاق آزمایش باید حداقل ۲۰۰ برابر بزرگتر از حجم منبع صورت باشد که بکارگیری این رابطه برای وسایل بزرگ، نتایج بسیار بزرگی به دست می‌دهد ولی براساس استاندارد میدان نزدیک نیز می‌توان به نتایج قابل قبولی رسید. در این روش لازم است که محل اندازه‌گیری حداقل یک متر تا منبع صوت و $\frac{\lambda}{4}$ از دیواره فاصله داشته باشد و در نتیجه ابعاد مؤثر اتاق (بدون درنظرگرفتن طول جاذبها) از این رابطه بدست می‌آید:

$$L = 2 + T + \frac{\lambda}{2}$$

L(m): طول مؤثر اتاق (برای تعیین طول واقعی اتاق دو برابر طول یک قطعه جاذب به این مقدار افزوده می‌شود.)

T(m): طول منبع صوت (معمولاً یک حجم فرضی کروی به شعاع بزرگترین بعد وسیله تولید کننده صوت در نظرگرفته می‌شود)

λ(m): طول موج فرکانس قطع

در اتاقهای نیمه آکوستیک برای حداقل ارتفاع اتاق می‌توان از این رابطه استفاده نمود:

$$H = 2 + T + \frac{\lambda}{4}$$

H(m): ارتفاع مؤثر اتاق نیمه آکوستیک (برای تعیین ارتفاع واقعی طول یک قطعه جاذب به این مقدار افزوده می‌شود.)

براساس آزمایشات انجام شده ابعاد اتاقی که براساس این روابط بدست آورده شود شرایط اندازه‌گیری میدان نزدیک را به خوبی ارضاء می‌کند.