



دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی قم

معاونت بهداشت

روش‌های کنترل صدا و ارتعاش

کنترل ارتعاش

اصولاً برای کنترل ارتعاش از سه مشخصه جرم، فنریت (برای فرکانس‌های پایین) و میرایی (برای فرکانس‌های بالا) به صورت زوج یا ترکیبی استفاده می‌شود. بکارگیری این اجزاء در درون دستگاه یا در محل نصب میسر می‌باشد. تمام مواد یا سیستم‌هایی که برای کنترل ارتعاش به کار می‌روند، تحت نام کلی عایق‌های ارتعاشی یا ایزولاتورهای ارتعاشی نامگذاری می‌شوند. فرکانس نیروی محرکه، وزن تجهیزات و درجه حرارت از فاکتورهای مهم در بحث ایزولاتورها است. در استفاده از ایزولاتورها سعی می‌شود که فرکانس طبیعی سیستم کوچکتر از کمترین فرکانس اعمالی (و داشته) به سیستم باشد ($f_n < f$). در این حالت سطح بالایی از ایزولاسیون ایجاد می‌گردد.

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{d}}$$

g: شتاب ثقل ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$)

d: جابجایی استاتیکی (cm)

$$f_n \text{ (Hz)} = \frac{4.98}{\sqrt{d \text{ (cm)}}$$

$$f_n \text{ (Hz)} = \frac{3.13}{\sqrt{d \text{ (in)}}$$

نکته: اگر $\frac{f}{f_n}$ بزرگتر از 3 باشد 90 درصد ایزولاسیون انجام می‌شود.

انواع ایزولاسیون

ایزولاسیون اکتیو: در این سیستم نیروی محرکی درست هم اندازه نیروی وارده توسط سیستم مرتعشی با 180 درجه اختلاف جهت، ایجاد و به سیستم اعمال می‌شود.

ایزولاسیون پسیو: این نوع عایق‌سازی شامل فنر و میراکننده است (فنر ارتعاشات را نرم‌تر می‌کند و میراکننده انرژی آن را می‌گیرد). مثال این نوع فنر و کمک‌فنر ماشین است. در این سیستم دو عامل وجود دارد که فشارها و اثرات جاده را نرم‌تر می‌کند، یکی فنر و عامل دیگر یک جاذب شوک (کمک‌فنر) است. فنر خیلی سخت باعث می‌شود که ماشین روی جاده ناصاف پرتاب شود و فنر خیلی نرم باعث می‌شود که ارتباط بین لاستیک و جاده از بین برود.

وقتی میزان میرایی زیاد است تقریباً عوامل ایزولاسیون از بین می‌روند در حالی که وقتی که میرایی خیلی ضعیف است، تعداد پیک‌های رزونانس در سیستم دیده می‌شود. به همین جهت برای هر سیستم باید یک میزان بهینه محاسبه شود. بهترین حالت برای کنترل ارتعاش استفاده از فنریت و میرایی به طور همزمان است.

انواع ایزولاتورها

ایزولاتورهای دینامیک: برای سیستم‌های ارتعاشی مخصوصاً برای آن دسته‌ای که در باند فرکانسی محدود ارتعاش تولید می‌کنند، از ایزولاتور دینامیک استفاده می‌شود. این نوع برای باندهای فرکانسی پهن مناسب نیست. این نوع ایزولاتور در واقع یک سیستم ارتعاش محرکه است که بر روی سیستم ارتعاشی مورد نظر سوار می‌شود. ارتعاش سیستم محرکه که دارای جرم، فنریت، فرکانس و میرایی است و بر روی سیستم آزاد اعمال گردیده، باعث تغییر در دامنه جابجایی سیستم آزاد می‌شود. دامنه ارتعاشی جدید از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$d^2 = \frac{[(m_1 r / m)(\omega / \omega_n)^2]}{[1 - (\omega / \omega_n)^2]^2}$$

d : دامنه جابجایی پس از اعمال نیروی محرکه (متر) m_1 : جرم سیستم محرکه (کیلو گرم) ω_n : سرعت زاویه‌ای ارتعاش طبیعی
 f : دامنه جابجایی سیستم محرکه (متر) ω : سرعت زاویه‌ای نیروی محرکه m : جرم سیستم طبیعی (کیلو گرم)
 فنریت جاذب تا زمانی که مورد استفاده قرار می‌گیرد، با دامنه مساوی و جهت مخالف نیروی محرک خواهد بود و هیچ ارتعاشی به پایه‌ها و فونداسیون وارد نمی‌شود و در واقع نوعی کنترل در منبع می‌باشد.

ایزولاتورهای فنری: یکی از قدیمی‌ترین و معمول‌ترین نوع عایق‌های ارتعاشی می‌باشند. فنرها به عنوان تکیه‌گاه یا پایه برای دستگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. خصوصیات اصلی فنرها، دامنه جابجایی زیاد و میرایی بسیار آن‌ها است و لذا فقط برای کنترل ارتعاش با فرکانس‌های پایین (1 تا 10 هرتز) کاربرد مطلوبی دارند. فنرها دارای عملکرد خوب و عمر طولانی هستند و تخریب کمی دارند. برای حصول نتیجه بهتر در کنترل دامنه جابجایی، به همراه فنر از یک میراکننده استفاده می‌شود. برای نصب پایه‌های فنری، وجود فونداسیون بتنی با جرم حداقل $1/5$ برابر جرم دستگاه، لازم است. پایه‌های فنری قابلیت جابجایی استاتیک زیادی دارند. مهم‌ترین مشخصه ایزولاتورهای فنری، قابلیت آن‌ها در تحمل جابجایی‌های بزرگ و همچنین ایزولاسیون خوب آن‌ها برای ارتعاشاتی با فرکانس کم می‌باشد. برای انتخاب فنرها به عنوان پایه بایستی مشخصاتی مثل جرم، تعداد پایه‌های مورد نیاز و سرعت چرخش قطعات یا فرکانس سیستم معلوم باشد. در صورت طول زیاد فنر و جابجایی بالای آن، استفاده بالشتک‌های لاستیکی و کمک فنرهای روغنی نیاز است.

فنر برای فرکانس‌های بالا خیلی مناسب نیست چون اگر به تنهایی و بدون جرم بالا استفاده شود، احتمال انتقال ارتعاش وجود دارد.



ایزولاتورهای فنری پر استفاده‌ترین نوع ایزولاتور برای تجهیزات بزرگ و سنگین است. در رنج تغییرات حرارتی وسیع و جایی که اسید، روغن و... وجود دارند مناسب‌تر از سایر ایزولاتورها است. چون فاکتور میرایی ایزولاتورهای فنری پایین است، برای بالا بردن میراکنندگی (برای دستیابی به ایزولاسیون بالای 95 درصد) به آنها یک پد ارتعاش اضافه می‌شود. جابجایی استاتیکی بالا نشان می‌دهد که برای سیستم‌هایی با فرکانس ارتعاشی واداشته پایین کاربرد دارند (فرکانس طبیعی پایین). اگر فرکانس نیروی محرکه بالا باشد، با اضافه کردن این نوع ایزولاتور می‌توان فرکانس طبیعی سیستم را پایین آورده تا حالت تشدید ایجاد نشود.

مراحل انتخاب ایزولاتورهای فنری

1 - تعیین وزن کلی فنر و پایین‌ترین فرکانس نیروی محرکه: چون باید فنری تهیه شود که فرکانس طبیعی سیستم را کمتر از پایین‌ترین فرکانس نیروی محرکه نماید.

2 - با توجه به فرکانس نیروی محرکه و وزن تجهیزات، جابجایی استاتیکی مورد نیاز برای ایجاد ایزولاسیون مورد نظر، از جداول تعیین می‌گردد.

3- انتخاب فنر مورد نظر

گاهی برای کارایی بیشتر از بلوک‌های اینرسی استفاده می‌شود که چندین مزیت دارند:

- پایین آوردن مرکز جرم سیستم
- فراهم کردن یک پایه صلب مستحکم برای تجهیزات
- توزیع یکنواخت بار

نکته:

- وزن بلوک اینرسی باید حداقل $1/5$ برابر تجهیزات باشد.
 - از ایزولاتورهای فنری ممکن است برای $tension$ استفاده شود ولی استفاده اصلی آنها در $compression$ است.
- ایزولاتورهای قابی (کلافی):** این پایه‌های ضد ارتعاش از یک کلاف چهار گوش فولادی تشکیل شده‌اند که در زیر آن چهار فنر مارپیچ یا بیشتر به صورت زوج قرار گرفته است. این ایزولاتور ضمن کاهش انتقال ارتعاش، استهلاک داخلی دستگاه را کاهش می‌دهد. کاربرد این ایزولاتورها برای فرکانس‌های پایین است. برای افزایش کارایی و استفاده از جرم اضافی برای کنترل ارتعاش، داخل کلاف را با بتون پر نموده یا کلاف را به فونداسیون بتونی متصل می‌نمایند. برای دستیابی به نتیجه مطلوب بایستی جرم کلاف و بتون متصل به آن، از $1/5$ برابر جرم دستگاه کمتر نباشد. محاسبات و روش بکارگیری این عایق‌ها با ملاحظاتی، مشابه فنرها است.

ایزولاتورهای ایزولاتورهای لاستیکی (یا الاستومری): این عایق‌ها به عنوان پایه یا قطعاتی در محل اتصال دستگاه به فونداسیون یا در محل اتصال قطعات به هم بکار برده می‌شوند. محدوده فرکانس استفاده از این نوع عایق‌ها فرکانس‌های محدوده میانی (حدود 40 تا 5 هرتز) بوده و پوشش فرکانس این گروه نسبتاً وسیع است. برای انتخاب الاستومرها، بر اساس بار وارده، جابجایی استاتیکی و درجه سفتی (فشردگی) ماده سازنده تصمیم‌گیری می‌شود. این دسته از عایق‌های ارتعاش عمدتاً از جنس لاستیک طبیعی می‌باشند ولی مواردی مانند نیوپرن، سیلیکون یا مخلوطی از آن‌ها نیز می‌تواند بکار رود. الاستومرها به مراتب از فنرها و سایر ایزولاتورها مناسب‌تر هستند و این برتری زمانی نمایان می‌گردد که وزن و فضا محدودیت داشته باشد. الاستومرها به طور وسیعی در خودروها، موتورهای الکتریکی و محفظه‌های مرتعش بکار برده می‌شوند. برخی از این نوع بصورت بلوک‌های حجیم به عنوان کفپوش و نیز فونداسیون دستگاه کاربرد دارند. محدودیت عمده الاستومرها در کوتاهی دوام و عمر آن‌ها است. این عایق‌ها شدیداً به مواد نفتی حساس بوده و درجه حرارت نیز بر عمر آن‌ها اثر دارد به طوری که برای خارج از محدوده 50- تا 150 درجه فارنهایت مناسب نیستند. اسیدها، مواد خورنده و حلال‌ها می‌توانند دوام این عایق‌ها را کم نمایند. به دلیل استهلاک مکانیکی، حتی المقدور باید این عایق‌ها را در جابجایی استاتیکی کمتر از $0/5$ اینچ بکار برد.



قاب‌های سنگین پیش ساخته: می‌توان گفت که قاب‌های سنگین پیش ساخته غالباً ساده‌ترین وسایل موجود برای کنترل ارتعاش هستند. یک قاب سنگین، اساساً از یک چارچوب فولادی با پایه‌های ایزولاتور متصل به آن تشکیل شده است. قاب‌ها معمولاً از تیرهای فولادی و یا بتونی ساخته می‌شوند. نصب این قاب‌ها ساده می‌باشد. از طرفی از حرکت جزئی بین قسمت‌های متحرک و

محرك جلوگیری می‌کند. علاوه بر این قاب‌ها گرانیگاه سیستم را کاهش داده که خود باعث افزایش درجه پایداری و کاهش حرکات جانبی سیستم می‌شود. این قاب‌ها موجب می‌شود که فرکانس طبیعی سیستم نیز کاهش یابد.

بلوک‌های سنگین: مزیت نصب پایه ساکن در زیر سیستم مرتعش، کاهش مرکز جرم سیستم مرتعش می‌باشد. یکی از مزایای استفاده از بلوک‌های سنگین کاهش ارتفاع مرکز ثقل سیستم، تهیه یک قاب پایه مشترک سخت برای دستگاه و یکنواختی توزیع بار می‌باشد. بلوک‌های سنگین معمولاً از بتن مسلح ساخته می‌شوند و باید وزن آن حداقل $1/5$ برابر وزن دستگاه باشد.

ایزولاتورهای صفحه‌ای

این نوع عایق که ایزولاتور بالشتکی نیز نامگذاری شده است، یکی از ساده‌ترین و پرمصرف‌ترین عایق‌های ارتعاش است. شکل عمومی این ایزولاتورها صفحه‌ای و از جنس لاستیک طبیعی، لاستیک مصنوعی، چوب پنبه، الیاف مختلف، نمد و پشم شیشه می‌باشد. استفاده از این ایزولاتورها به جهات زیر مناسب است:

- ❖ به راحتی می‌توانند در زیر دستگاه‌ها نصب گردند و حتی می‌توان کف کارگاه‌ها را در صورت نیاز با آن مفروش نمود.
- ❖ به شکل صفحات با ضخامت دلخواه می‌تواند مورد استفاده واقع شود.
- ❖ می‌توان برای دستیابی به دامنه جابجایی استاتیکی مورد نظر، بیشتر از چند لایه آن‌ها استفاده نمود تا همانند یک ایزولاتور مخصوص فرکانس پایین عمل کند اگرچه ماهیتاً این نوع برای فرکانس‌های بالا مناسب است.

در ادامه معروفترین انواع ایزولاتورهای صفحه‌ای معرفی می‌شود:

1) لاستیکی 2) چوب پنبه 3) نمدی 4) پشم شیشه

صفحات لاستیکی: اصول انتخاب صفحات لاستیکی مانند پایه‌های لاستیکی می‌باشد. در انتخاب آن‌ها میزان بار وارده از یک سو و میزان انقباض استاتیکی مورد نیاز به اینچ اهمیت دارد. صفحات لاستیکی به صورت شیاردار و بدون شیار می‌تواند به ابعاد دلخواه برش داده شده و مورد استفاده قرار گیرد. همچنین می‌توان از عایق چند لایه برای بالا بردن دامنه جابجایی و ایزولاسیون در ناحیه فرکانس‌های 500 – 50 هرتز استفاده نمود. برای هر یک از صفحات لاستیکی حداکثر بار مجاز 70 پوند بر اینچ مربع یا 70 psi است. برای انتخاب این نوع عایق همانند پایه‌های لاستیکی سه عامل جابجایی استاتیکی مورد نیاز متناسب با پوشش ایزولاسیون، فرکانس ارتعاش و میزان جابجایی استاتیکی آن بر حسب بار وارده تعیین می‌شود.



صفحات چوب پنبه‌ای cork pad: چوب پنبه شاید یکی از قدیمی‌ترین و یکی از مناسب‌ترین عایق‌های صفحه‌ای است. ایزولاتورهای چوب پنبه‌ای معمولاً به شکل بلوک‌هایی با ضخامت $0/5$ اینچ و ابعاد 6-10 اینچ تهیه می‌شوند. دانسیته این نوع به گونه‌ای است که فنریت مناسبی را برای ایزولاسیون دارد. برای تهیه این نوع بلوک‌ها، ذرات چوب پنبه را تحت فشار و بخار فشرده می‌کنند. با کاهش حجم هوای سلول‌های خود، تحت فشار کاهش حجم پیدا کرده و این تغییر حجم با کاهش فشار به راحتی به حالت اولیه باز می‌گردد. این نوع ایزولاتور دارای فنریت خوبی است و بر اثر فشار تغییر حجم جانبی پیدا نمی‌کند.



مزایا:

- ✓ برای ایزولاسیون مشابه، در مقایسه با لاستیک نیاز به ثابت فنریت کمتری دارد.
- ✓ می‌تواند به طور ثابت و دائمی در درجه حرارت‌های بالای 100 درجه فارنهایت بدون تغییر در فشردگی مورد استفاده قرار گیرد.
- ✓ حساسیت ویژه‌ای به حلال‌ها، اسیدها و روغن‌ها ندارد.
- ✓ تغییر شکل نمی‌دهد و همیشه حالت صفحه‌ای خود را حفظ می‌کند.
- ✓ دارای میرایی درونی بالا (یا نسبت میرایی پایین) است ($\frac{C_c}{C_e} = 0.06$). این بدان معنی است که ایزولاسیون بهتری می‌دهد.

معایب:

- در این نوع ایزولاتورها به دلیل وجود حفره‌های هوا در اثر کمپرس شدن حجم آنها کاهش می‌یابد.
- دامنه سختی محدود نسبت به پدهای لاستیکی
- در درجه حرارت‌های کمتر از 100 درجه فارنهایت دچار انقباض قابل توجه می‌شوند.
- نمی‌توان آنها را قالب‌بندی کرد.
- مقدار دقیق ایزولاسیون را نمی‌توان برای آنها محاسبه کرد.

نکته:

- ✓ پد چوب پنبه‌ای جابجایی استاتیکی خطی از خود نشان نمی‌دهد بلکه این جابجایی به طور دینامیکی با چگالی تغییر می‌کند.
- ✓ Cork pad هایی که سختی آنها در رنج 50 تا 60 می‌باشد، همانند پدهای لاستیکی عمل می‌کنند.

صفحات نمدی Felt pads : نمدهای مویی می‌تواند به عنوان ایزولاتورهای مناسب بکار روند. نمدها بر اساس دانسیته آنها تقسیم‌بندی می‌شوند. مانند نرم، متوسط و متراکم. نوع نرم تا بار 50Psi، نوع متوسط تا 100 Psi و نوع متراکم تا 200 Psi را به خوبی تحمل می‌کند. فشردگی نمدها هنگام استفاده ممکن است تا 25٪ مقدار اولیه برسد. هرچه فشردگی زیادتر باشد به دلیل افزایش ضریب فنریت، ایزولاسیون آن در فرکانس‌های بالا کمتر می‌شود. نحوه انتخاب نمدها برای ایزولاسیون ارتعاش، مانند صفحات چوب پنبه‌ای است. دامنه جابجایی استاتیکی نمدها کوچک است لذا برای مواردی مناسب می‌باشند که دارای فرکانس بالا و جابجایی استاتیکی کم باشد.

اندازه تجاری آن به ضخامت 3-0/5 اینچ تهیه می‌شوند ولی اغلب دارای ضخامت 1 اینچ هستند. هر چه فشردگی افزایش یابد به دلیل افزایش ضریب فنریت، ایزولاسیون آن در فرکانس‌های بالا کمتر است. در بیشتر از 25 درصد فشردگی سختی به شدت افزایش می‌یابد و ضریب انتقال ارتعاش افزایش می‌یابد. چون نمدها از الیاف مویی و آلی است، از نظر دوام به حلال‌ها و مواد نفتی حساس می‌باشد.

صفحات پشم شیشه: این صفحات تقریباً مشابه نمدها عمل می‌کنند. در این نوع با افزایش بار وارده متراکم گردیده و در تراکم 20 تا 30 درصد فنریت آن به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. استفاده از چند لایه (حداکثر تا 20 لایه یا 10 اینچ ضخامت) برای کنترل ارتعاش با فرکانس بالا توصیه شده است. در این حالت ایزولاسیون حدود 99٪ در فرکانس 40 هرتز است. این الیاف برای فرکانس کمتر از 20 هرتز مناسب نیستند. الیاف پشم شیشه به خاطر ترکیب ویژه به حلال‌ها، روغن‌ها و اسیدها حساس نیستند. اندازه تجاری صفحات پشم شیشه 1-0/5 اینچ است.

ایزولاتورهای مارپیچی: یکی از معتبرترین پایه‌های عایق ارتعاش نوع مارپیچی است. این عایق از سیم‌های فنری تابیده فولاد ضدزنگ یک شکل حلقوی بوده و دارای توان زیادی در تحمل بار است. هر پایه عایق دارای ثابت فنریت مخصوص به خود بوده که وابسته به قطر، ضخامت، طول و تعداد رشته‌های سیم و نحوه بافت مارپیچ فولادی است. این پایه‌ها برای تحمل بار زیاد در محیط‌های خشن و نیز جابجایی استاتیکی بالا در دستگاه‌ها مناسب است. کاربرد این نوع در تجهیزات کشتی‌ها و زیر سطح باربر در کشتی‌های کانتینربر می‌باشد. مناسب‌ترین کاربرد این عایق‌ها برای فرکانس 7-5 هرتز و بیشترین نسبت میرایی پایه آن‌ها بین 0/15 تا 0/2 است. قدرت میراکنندگی آنها 20-15 میراکنندگی بحرانی است. در برابر شرایط محیطی مقاومت زیادی دارند.

بالشتک‌های هوا یا ایزولاتور بادی: یک محفظه قابل ارتجاع توخالی از جنس‌های مختلف است که نیمه مسدود بوده و به عنوان ایزولاتور ارتعاشی در فرکانس پائین کاربرد دارد. این گروه از عایق‌های ارتعاشی خود به 2 گروه عمده تقسیم می‌شوند:

الف) بالشتک‌های ثابت (ب) تایرها (و تیوب‌ها)

در گروه اول، محفظه قابل ارتجاع از دو سمت با ورقه یا جوشن فلزی (معمولاً فولادی) محدود شده است و برای دستگاه‌هایی با فرکانس پائین و ارتعاشات ضربه‌ای مانند پرس‌های ضربه‌ای، مناسب می‌باشد. محفظه‌های ذکر شده معمولاً استوانه‌ای بوده و به آنها فنر هوایی نیز گفته می‌شود.

در ارتعاش ضربه‌ای هر بار که شوک ارتعاشی وارد می‌گردد، ارتعاش آزاد سیستم را به هم ریخته و ضربات تخریب کننده‌ای را به دنبال دارد. باید ایزولاتور دارای میرایی درونی بالایی بوده و خود نیز دارای فرکانس طبیعی بسیار کوچکی باشد تا بتواند تحمل مناسبی در برابر ضربه ارتعاشی داشته باشد.

فرکانس طبیعی سیستمی که این بالشتک‌ها در بهترین حالت در مقابل شوک ناشی از آن مقاومت نموده و آن را میرا می‌نمایند، با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\gamma \times A \times g}{V}}$$

f_n : فرکانس طبیعی سیستم (هرتز) γ : ضریب اتمیسیته g : شتاب ثقل برابر 386 اینچ بر مجذور ثانیه

A : سطح مقطع محفظه استوانه هوا (اینچ مربع) V : حجم هوای محفظه (اینچ مکعب)

استفاده از این محفظه‌های لاستیکی هوا به تنهایی یا به همراه بخش داخلی (تیوب) می‌تواند برای تحمل بار زیاد و شوک‌های ارتعاشی شدید در فرکانس‌های پایین و متوسط مناسب باشد.

تایرها نیز نوعی از بالشتک‌های هوا می‌باشند که عمدتاً برای خودروها طراحی شده‌اند. تایرها میرایی درونی بالایی دارند. برای استحکام و بالا بردن فنریت لاستیک، درون بافت آن از سیم‌های فلزی استفاده می‌شود. نکته اساسی در استفاده از این عایق‌ها علاوه بر مشخصات لاستیک، میزان فشار داخلی هوای تایر است. لذا باید برای دستیابی به بهترین بازدهی فشار داخلی با میزان بار وارده و میزان جابجایی استاتیکی مورد نیاز متناسب گردد.

محدودیت استفاده از ایزولاتورهای بادی این است که تنها برای نیروی فشاری (Compression) و جهت عمودی (Vertical orientation) مناسب است.

کمک فنرها Shock Absorber

از یک سیلندر حاوی روغن ویسکوز ساخته شده که بخش ثابت آن را تشکیل می‌دهد و در بخش متحرک یک پیستون با ضخامت کم متصل به یک دسته می‌باشد. وجود روغن ویسکوز در فضای محدود و در محل تخلیه از یک سمت به سمت دیگر پیستون باعث می‌شود که میرایی نسبتاً بالایی را ایجاد نماید.

این ایزولاتورها معمولاً همراه با فنرها به کار می‌روند که دارای طول زیاد و دامنه جابجایی استاتیکی بالایی می‌باشند. استفاده از این عایق‌ها به همراه فنر از تغییرات دامنه شدید و ناگهانی فنر در اثر شوک‌های ارتعاشی جلوگیری می‌نماید.

ایزولاتورهای اتصالی لوله‌ها Connector Isolators: باید تا حد امکان به پمپ‌ها، دنده‌ها و ... نزدیک‌تر باشد. کانکتورهای که نسبت به هم زاویه 90 درجه دارند، بهتر از اتصال یک کانکتور به تنهایی است.

کنترل ارتعاش به منظور کنترل صدا

صدا و ارتعاش ماهیتاً از یک جنس هستند و علل مشابهی نیز برای تولید دارند. تجربیات نشان داده است که میزان کاهش صدای پیکری وابسته به درصد ایزولاسیون ارتعاش دارد. رابطه زیر بیان کننده این مطلب است.

$$\Delta SWL = 10 \log(100 - T) = 10 \log I_s$$

ΔSWL : تراز توان صوت کاهش یافته منبع T : عبور ارتعاش بر حسب درصد I_s : ایزولاسیون ارتعاش بر حسب درصد

XX

کنترل صدا

هدف از کنترل صدا:

- جذب امواج صوتی و جلوگیری از انعکاس
- جلوگیری از عبور صدا
- حذف امواج ارتعاشی (میرا کردن)
- کنترل صدا به سه روش انجام می‌شود:
- کنترل مبتنی بر دفاع صوتی Active
- کنترل مبتنی بر سازه Passive

- حفاظت فردی
- اساس این روش‌ها شامل مراحل زیر است:
- کنترل در منبع
- کنترل در مسیر
- حفاظت پرسنل از طریق پناهگاه سازی

کنترل مبتنی بر دفاع صوتی Active noise control

در این روش که می‌توان آن را کنترل صدا با صدا نیز نامید از اصوات تولید شده غیر هم فاز در برابر منابع تولید صدا برای کنترل آن استفاده می‌شود. در این روش توسط منابع صوتی قابل برنامه‌ریزی، اصواتی متقابل با صوت منبع اصلی تولید شده و در نتیجه تراز فشار صوت ایجاد شده را بدون استفاده از مانع یا جاذب کاهش می‌دهد. در این روش از پدیده تداخل برای حذف یا کاهش صدا استفاده می‌شود.

Active noise control معمولاً در فرکانس‌های پایین (20 تا 400 هرتز) کاربرد دارد.

کنترل مبتنی بر سازه Passive

این روش مبتنی بر استفاد از مواد آکوستیکی می‌باشد.

مواد آکوستیکی

مواد آکوستیکی به سه دسته تقسیم می‌شوند.

الف- جاذب‌های صوتی ب- موانع صوتی Barrier material ج- مواد میرا کننده Damping material

xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

الف- مواد جاذب

جاذب‌ها موادی هستند سبک با دانسیته کم و آمپدانس آکوستیکی نزدیک به آمپدانس آکوستیکی هوا. آمپدانس آکوستیکی مقاومت در برابر پذیرش امواج صوتی می‌باشد. اگر آمپدانس آکوستیکی جاذب و هوا متفاوت باشد باعث ارتعاش جاذب و برگشت صوت به محیط شده و مقدار کمی جذب می‌شود. در واقع هدف اصلی از استفاده از جاذب جلوگیری از انعکاس صوت می‌باشد. وجود سه سطح منعکس کننده در اطراف منبع صوتی باعث افزایش تا حدود 9 دسی‌بل در صدا می‌شود.

پدیده جذب صوت

خاصیت جذب صوت کم و بیش در تمام مصالح وجود دارد. میزان جذب صوت در مصالح مختلف اختصاصی بوده و برای هر نوع ماده ثابت است. هر ماده‌ای از نظر درصد جذب انرژی صوت در کل باند فرکانسی و نیز در هر فرکانس، ضریب جذب مخصوص خود را دارد. ضریب جذب (آماری) صوت در هر ماده عبارت از نسبت انرژی صوتی جذب شده به انرژی صوتی اولیه می‌باشد. هر چه ضریب جذب به یک نزدیک‌تر باشد کارایی جاذب بیشتر است. ضریب جذب در برابر ضریب انعکاس قرار می‌گیرد و هر چه ضریب جذب بیشتر باشد ضریب انعکاس کمتر است.

$$\alpha = \frac{E_a}{E_i}$$

α : ضریب جذب صوتی جاذب (نسبتی از یک) E_a : انرژی جذب شده صوت (شدت یا فشار) E_i : انرژی اولیه صوت (شدت یا فشار)
برای محاسبه ضریب جذب کلی هر ماده جاذب، متوسط ضریب جذب آن را در فرکانس‌های 250، 500، 1000 و 2000 هرتز محاسبه می‌شود که رابطه آن به قرار زیر است

$$NRC = \frac{\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000}}{4}$$

NRC بیشتر جنبه تجاری دارد و برای طراحی باید ضریب جذب در فرکانس‌های مختلف را بدانیم.

خصوصیات جاذب خوب:

- نزدیک بودن خصوصیات فیزیکی جاذب به خصوصیات هوا مثل چگالی
- سبک بودن
- غیر همگن بودن
- تخلخل بالا

عوامل مؤثر در ضریب جذب:

- زاویه برخورد: ضریب جذب نرمال تحت زاویه صفر از خط عمود است. با افزایش زاویه ضریب جذب کاهش می‌یابد در زاویه 90 درجه نسبت به خط قائم به جاذب، کمترین ضریب جذب را داریم چون کمترین احتمال برخورد موج صوتی با جاذب وجود دارد.
- نوع ماده، تخلخل، چگالی و
- فرکانس
- روش نصب
- مقاومت نشستی: میزان فشردگی جاذب را می‌گویند.

عوامل اصلی که باعث مقاومت در برابر حرکت موج در مواد می‌شوند شامل الیاف و فضاهاى هوایی بین آنها است.

برای مواد فیبری مقاومت آکوستیکی (مقاومت نشستی) به روش زیر به دست می‌آید:

$$r = \frac{sp}{u}$$

P: اختلاف فشار هوا در نمونه مورد آزمایش I: مقاومت u: سرعت جریان هوا در نمونه (متر بر ثانیه) S: سزح نمونه (متر

مربع)

برای مواد هموزن مقاومت مینا (r_0) که عبارت است از مقاومت برای واحد ضخامت، پارامتر بهتری است.

$$r_0 = \frac{sp}{Tu}$$

T: ضخامت ماده بر حسب متر

نکته:

- هر چه فضای هوای پشت جاذب عمیق تر باشد، فرکانس‌های پایین بهتر جذب می‌شود.
- کیفیت جاذب در فرکانس‌های مختلف شنوایی متفاوت است و معمولاً در فرکانس‌های بالاتر بیشتر است.
- امواج بازتابی نقش اساسی در آزاردهندگی و بیماری‌زایی صدا دارند و در کنترل صدا حذف امواج بازتابی نقش اساسی دارند. موادی که برای حذف امواج بازتابی استفاده می‌شوند جاذب صدا هستند.
- بهترین حالت برای جاذب‌های صدا این است که سبک باشند و دانسیته آنها نزدیک به دانسیته و ویژگی‌های هوا باشد.

انواع جاذب صوتی

جاذب‌های صوتی در سه گروه طبقه‌بندی می‌شوند:

- جاذب صفحه‌ای ساده
- جاذب صفحه‌ای سوراخ‌دار (معروف به کاشی آکوستیکی یا آکوستیک تایل)
- جاذب محفظه‌ای (هولم هولتز، مافلر)

جاذب‌های صوتی به سه دسته تقسیم می‌شوند (تقسیم‌بندی دیگر)::

- رشته‌ای
- فومی

- رزوناتور(هولم هولتز، مافلر): جذب صوت در فرکانس‌های پایین(زیر 1000) و باند باریک و نیز در مکان‌های عمومی و پر جمعیت مثل تالارها و در محیط‌های اداری برای فرکانس‌های گفتاری کاربرد دارد.

استفاده از کاشی‌های اکوستیکی در سقف راه اصلی جلوگیری از بازتاب صوت است. کاشی‌ها از مقوا یا پشم شیشه فشرده بوده و دارای منفذ می‌باشند. این وسایل از موثرترین راه‌های کاهش صدای بازتابی است. و در محیط‌های غیر صنعتی مثل بیمارستان، اداری، آموزشی کاربرد دارند. در صنایع باید از سقف کاذب برای نصب جاذب‌های اکوستیکی استفاده می‌شود.

ضریب جذب جاذب‌های الیافی، کاشی‌های اکوستیکی، فوم‌های اکوستیکی در فرکانس‌های پایین (زیر 1000 هرتز) کم است و با افزایش فرکانس زیاد می‌شود. بهتر است این جاذب‌ها در فرکانس‌های بالا استفاده شوند چون در فرکانس‌های پایین جذب خوبی ندارند این مشکل را می‌توان تا حدی با افزایش ضخامت جبران نمود ولی این افزایش ضخامت محدودیت دارد و اگر از حدی بیشتر شد دیگر اثری ندارد. اگر مشکل در فرکانس‌های پایین باشد می‌توان از مجموعه‌ای از جاذب‌ها استفاده کرد. یکی دیگر از روش‌های افزایش کارایی این است که جاذب به طور مستقیم روی دیوار قرار نگیرد و 1 تا 2 سانتی‌متر از دیوار فاصله داشته باشد چون هوا جاذبی ایده‌آل با ضریب جذب یک است.

فرکانس حد برای جاذب‌های صفحه‌ای ساده

جاذب‌های صفحه‌ای ساده بیشترین کاربرد را در جذب صدا در فرکانس‌های پائین دارند. این نوع شامل یک لایه ماده سبک با چگالی کم و متخلخل مثل تخته‌های چوبی چند لایه نئوپان، پلی اورتان(اسفنج)، پلاستوفوم(یونولیت) و ... است. میزان فرکانس حد یا فرکانس بیشترین کارایی آن‌ها بر اساس رابطه زیر بدست می‌آید:

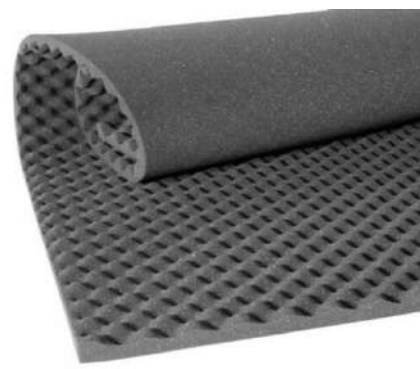
$$f(\text{Hz}) = \frac{60}{\sqrt{md}}$$

m: چگالی سطحی صفحه بر حسب کیلوگرم بر متر مربع d: ضخامت کلاف زیرین یا فاصله صفحه تا دیوار بر حسب متر

در جاذب‌های صفحه‌ای با افزایش تعداد صفحات، ضریب جذب به طور خطی افزایش می‌یابد.

نکته:

با افزایش ضخامت در فوم پلی‌اورتان(جاذب صفحه‌ای)، جذب در فرکانس‌های پایین افزایش می‌یابد. در این نوع جاذب، ضریب جذب با افزایش فرکانس افزایش می‌یابد. این مواد برای ساختمان‌ها مناسب نیست و برای ساختمان‌ها صفحات چوبی و پانلی مناسب است.



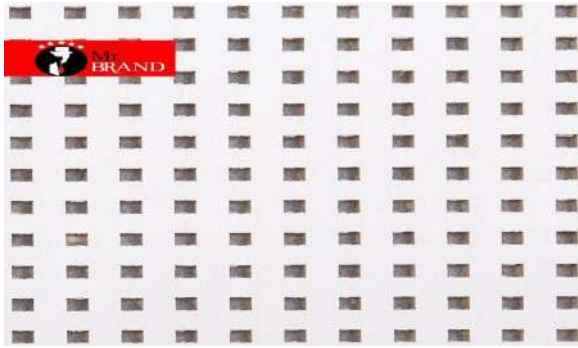
فرکانس حد برای جاذب‌های صفحه‌ای سوراخ‌دار

جاذب‌های صفحه‌ای سوراخ‌دار برای جذب صوت در فرکانس‌های بالا مناسب هستند. این جاذب‌ها با نام عمومی اکوستیک تایل در بازار به فروش می‌رسند. برای مواد جاذب سوراخ‌دار گرد و روکش سخت می‌توان فرکانس بیشترین کارایی یا فرکانس حد را با رابطه زیر تعیین نمود:

$$f(\text{HZ}) = \frac{3500 \times a}{d^2}$$

d: فاصله دو سوراخ بر حسب سانتیمتر

a: قطر سوراخها بر حسب سانتیمتر



فرکانس حد برای جاذب‌های محفظه‌ای (سایلنسر یا رزوناتور هولمز هولتز)

رزوناتور هولمز هولتز حجمی است که سر راه کانال قرار می‌گیرد. خاصیت مهم این نوع انتخابی بودن حذف فرکانس‌ها و کاربرد آن در فرکانس‌های پایین است. این جاذب‌ها برای جذب صدا در یک محدوده فرکانس باریک مناسب است و اگر صدا در محدوده پهن باشد باید از بیش از یک محفظه استفاده شود.

جاذب‌های محفظه‌ای برای جذب صوتی در مکان‌های عمومی و پر جمعیت و نیز تالارها نیز استفاده می‌شود. فرکانس جذبی، فرکانس حد یا فرکانس تشدید یا رزونانس در جاذب محفظه‌ای تابع رابطه زیر است:

$$f_n = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{lV}}$$

$$l = L + 0.8\sqrt{A}$$

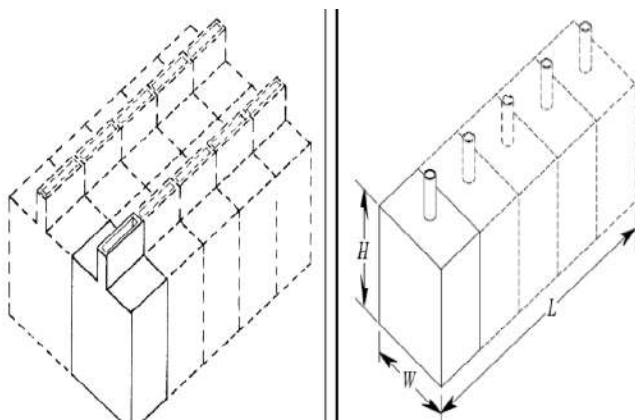
l: طول مجرای مؤثر c: سرعت صوت (متر بر ثانیه یا فوت بر ثانیه) V: حجم محفظه (متر مکعب یا فوت مکعب) A: سطح

مقطع مجرا (متر مربع یا فوت مربع) L: طول سیلندر (متر یا فوت)

در صورتی که مجرا به شکل شکاف باشد فرکانس حد از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$f = 128\sqrt{HB}$$

B: عرض شکاف (اینچ) H: ارتفاع شکاف (اینچ)



استفاده از جاذب سطحی با استفاده از ویژگی‌های ثابت اتاق

در جاذب‌های سطحی میزان جذب صوت بستگی به نوع ماده جاذب، ضخامت و کل سطحی خواهد داشت که توسط آن پوشانده شده است. ضریب جذب متوسط اتاق یا کارگاه با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \alpha_i}{\sum S_i}$$

S_i : مساحت هر سطح جاذب بر حسب متر مربع α_i : ضریب جذب هر سطح جاذب $\bar{\alpha}$: ضریب جذب متوسط اتاق یا کارگاه صورت کسر در رابطه فوق را سطح موثر جذبی یا سابین بر اساس سابین متر مربع یا سابین فوت مربع می‌باشد. ضریب جذب سابین ضریب جذب محاسبه شده بر اساس میزان نابودی و زوال انرژی صوتی در اتاق بازآوا است. در مواردی ضریب جذب آماری و سابین در حد 20-30 درصد اختلاف دارند.

برای معین نمودن وضعیت جذب صوت و تأثیر آن بر کنترل صدا، ابتدا کمیتی به نام ثابت جذب اتاق طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$R = \frac{S \bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}}$$

R : ثابت جذب اتاق S : سطح کلی داخلی کارگاه (متر مربع) $\bar{\alpha}$: سطح موثر جذب (سابین متر مربع یا سابین فوت مربع) هر چه ثابت جذب اتاق بیشتر باشد مطلوب‌تر است و هر چه سطح جذب بزرگ‌تر باشد، ثابت جذب اتاق عددی بزرگ‌تر است. هر چه ثابت جذب اتاق کوچکتر باشد، اثر فاصله زودتر از بین می‌رود. پس از محاسبه ثابت جذب اتاق با داشتن ضریب جذب می‌توان رابطه زیر را برای تراز فشار صوت قبل و بعد از نصب جاذب محاسبه نمود:

$$LP = LW + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right)$$

LP : تراز فشار صوت (دسی‌بل) LW : تراز توان منبع صوت (دسی‌بل) R : ثابت جذب اتاق Q : ضریب جهت r : فاصله از منبع صوتی (متر)

در این زمینه در مورد فشار مطلق صوت نیز رابطه زیر برقرار است:

$$LP = w \times \rho c \times \left(\frac{Q_\theta}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right)$$

W : توان منبع صوت (وات) Q_θ : فاکتور جهت ρc : امپدانس صوتی هوا (415 MKS rays)

اگر ثابت اتاق بزرگ شود $1 \rightarrow \bar{\alpha}$ ، در نتیجه امواج بازتابی هر چه بیشتر جذب شده و در نتیجه محیط به میدان آزاد نزدیک خواهد شد و در نتیجه با افزایش فاصله تراز فشار صوت کاهش می‌یابد. مثل اتاق اکوستیک ($\bar{\alpha} = 1$). چند حالت کلی برای ضریب جذب در نظر می‌گیرند:

1 - اگر ضریب جذب کوچک و به سمت صفر میل کند، کیفیت جذب پایین است و امواج بازتابی زیاد است و در نتیجه R به سمت صفر میل می‌کند و رابطه زیر برقرار است.

$$LP = LW + 10 \log \left(\frac{4}{R} \right)$$

در نتیجه میدان بازآوا می‌باشد و:

$$LP = LW - 10 \log R + 6$$

مشاهده می‌شود که اثر فاصله حذف شده است و در نتیجه در جایی که کیفیت جذب پایین است و امواج بازتابی زیاد است، کاهش فاصله نقشی در کاهش تراز فشار صوت ندارد.

2 - کیفیت جذب آنقدر بالا است که ضریب جذب به سمت 1 میل می‌کند و R به سمت بی‌نهایت میل می‌کند. در این حالت میدان آزاد می‌باشد و با افزایش فاصله تراز فشار صوت کاهش می‌یابد.

$$LP = LW + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{\infty} \right)$$

$$LP = LW - 20 \log r - 11$$

در میدان آزاد به ازای دو برابر شدن فاصله 6 دسی بل کاهش صدا داریم اما در عمل در صنعت این مقدار 4 دسی بل خواهد بود.

استفاده از جاذب‌های سطحی با استفاده از زمان بازآوایی صوتی

اگر تولید صوت توسط منبع در یک محیط قطع گردد، با توجه به مشخصات جذبی سطوح و نیز حجم کارگاه، مدت زمانی طول می‌کشد تا به طور کامل یا نسبی صوت به حداقل مورد نظر برسد. به طور قراردادی مدت زمان کاهش صدا در یک محیط به اندازه 60 دسی بل را زمان بازآوایی (Reverberation Time) صوتی محیط می‌نامند. در تعیین زمان بازآوایی معمولاً از صدای پیوسته استفاده نمی‌شود و بیشتر از صدای ضربه‌ای یا کوبه‌ای که به وسیله دستگاه تپ‌زن تولید می‌شود، استفاده می‌کنند. به دلیل بازتاب‌های مکرر صوت در سطوح داخلی، فاصله از منبع اهمیت خود را از دست می‌دهد، لذا بر این اساس رابطه زیر برای زمان بازآوایی تعریف شده است:

$$R_t = \frac{0.16 \times V}{S \bar{\alpha}}$$

R_t : زمان بازآوایی (ثانیه) V : حجم کارگاه (متر مکعب) : سطح داخلی کل کارگاه (متر مربع) $\bar{\alpha}$: ضریب جذب صوتی متوسط کارگاه

تعریف دیگر از زمان بازآوایی این است که مدت زمان لازم برای کاهش فشار صدا به یک هزارم مقدار اولیه است.

حال برای محاسبه تراز فشار صوت در قبل و بعد از نصب جاذب به روش فوق از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$LP = LW - 10 \log V + 10 \log R_t + 14$$

R_t : زمان بازآوایی بر حسب ثانیه V : حجم کارگاه بر حسب متر مکعب LW : تراز توان منبع صوت بر حسب دسی بل
در عمل در اتاق‌های با کیفیت بالای جذب که $1 \rightarrow \bar{\alpha}$ (در محیط‌های اداری، ساختمان‌های سخنرانی و ...) است نیز زمان بازآوایی به صفر نزدیک نمی‌شود. بنابراین زمانی که ضریب جذب به سمت 0/6 و بیشتر میل کند Eyring رابطه زمان بازآوایی را به صورت زیر تغییر می‌دهد:

$$T = 0.161 \frac{V}{S[-\ln(1-\bar{\alpha})]}$$

هر چه قدر زمان بازآوایی کمتر باشد جذب اتاق بیشتر است.

استفاده از جاذب‌های سطحی با استفاده از نسبت سطح موثر جاذب

در این روش میزان کاهش صوت به طور تقریبی با استفاده از نسبت سطح موثر جاذب قبل و بعد از نصب آن محاسبه می‌گردد. محاسبات این روش بسیار ساده بوده و مستقیماً می‌توان تاثیر جاذب سطحی را تعیین نمود. از رابطه زیر که از رابطه اصلی تاثیر جاذب در کنترل صدا گرفته شده است، میزان کاهش تراز فشار صوت در اثر نصب جاذب محاسبه می‌شود.

$$\Delta LP = NA = 10 \log \left[1 + \frac{S \bar{\alpha}_a}{S \bar{\alpha}_i} \right]$$

$S \bar{\alpha}_a$: سطح موثر جاذب بعد از نصب آن (سایین) $S \bar{\alpha}_i$: سطح موثر جاذب مصالح قبل از نصب جاذب (سایین)

نکته:

- جذب مؤثرتر زمانی اتفاق می‌افتد که پنل‌های جاذب به صورت عمودی و افقی در محیط آویزان باشد.
- در ناحیه فنریت و یا ناحیه فرکانس پایین، با افزایش فرکانس میزان کاهش صدا کاهش می‌یابد.
- در صورت امکان محل مناسب نصب جاذب‌ها سقف است.
- داشتن طول موج برای تعیین محل نصب جاذب مهم است. مکانی که مضرب فردی از $\frac{\lambda}{4}$ است محل ایجاد شکم و محل مناسب نصب جاذب است اما محلی که مضرب فردی از $\frac{\lambda}{2}$ است محل ایجاد گره بوده و در کاهش صدا اثر ندارد.
- رنگ‌های روغنی ضریب جذب را کاهش می‌دهند و رنگ‌های محلول در آب اثر کمتری دارند.
- افزایش سطح جاذب با شکل دادن به آن به بازدهی جاذب کمک می‌کند.

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

مافلر یا سایلنسر(انباره‌ها)

مافلر یا سایلنسر نام عمومی برای محفظه‌های کنترل صدا است که می‌تواند تراز صدای ناشی از خروج پرفشار یک گاز را در خروجی کاهش دهند. این وسایل به طور کلی به 3 دسته تقسیم می‌شوند(به طور جزئی‌تر در منابع تا 9 دسته هم ذکر شده است)

(1) انباره‌های جذبی Absorptive or Dissipative: شامل مواد fibrous و یا porous هستند.

(2) انباره‌های پخش Dispersive

(3) reactive یا انعکاسی: در فرکانس‌های پایین جذب خوبی دارند.

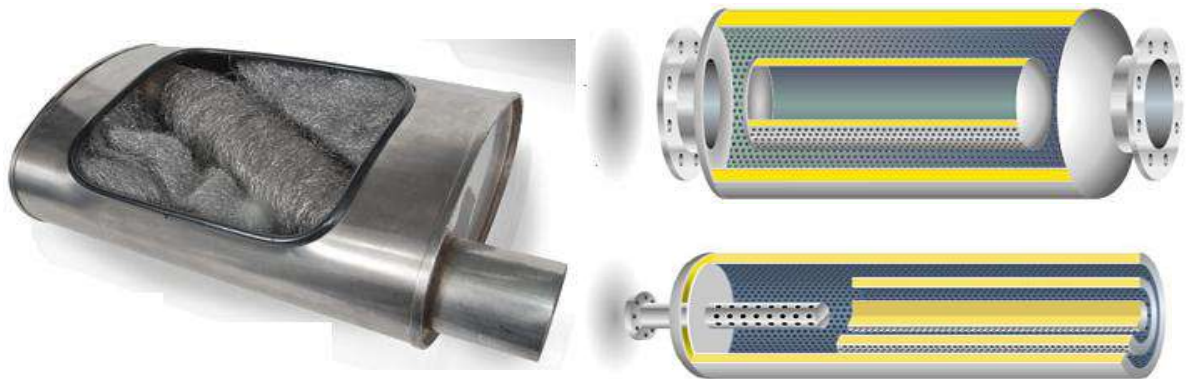
اصول کار این انباره‌ها(مافلرها) بر اساس جذب، انعکاس و پخش است. در طراحی مافلرهای کاهنده برای کاهش صدا در کانال به دلیل وابستگی به دمای شاره، باید سرعت انتشار صدا را در طراحی در نظر گرفت.

انباره‌های جذبی

بیشتر جنس مورد استفاده در مافلرهای جذبی الیاف فولادی یا fibrous metal می‌باشد. البته ممکن است از الیاف مرکب و fibrous glass نیز استفاده شود. مزیت الیاف فولادی این است که مقاوت دمایی و سختی بالایی دارند، قابلیت اشتعال ندارند و امکان جوشکاری، ماشین کاری و شکل‌دهی آن‌ها بالا است. این مواد در حالت خیس نیز کاربرد دارند.

Fibrous metal اکثراً در توربین‌های گازی، aero Space و صنایع پتروشیمیایی کاربرد دارند.

برای کنترل صدای خروجی موتورهای درون‌سوز و فشار و هوای فشرده ناشی از ابزارهای بادی و در محل‌های تغییر جهت(زانویی‌های) عبور سیالات کاربرد دارند.



پارامترهای مهمی که در طراحی به کار می‌روند:

- Insertion Loss: تفاوت تراز صوت در یک نقطه قبل و بعد از نصب مافلر است. راحت‌تر اندازه‌گیری می‌شود.
- Transmission Loss(TL): نسبت توان صوت ورودی به مافلر به توان صوت عبوری از مافلر است. افت انتقال، کاهش تراز توان صوت عبوری در مسیر کانال.
- Noise Reduction یا کاهش صدا
- Attenuation: تفاوت توان صوتی قبل و بعد از نصب مافلر

در مافلرهای جذبی در فرکانس‌هایی پایین جذب کم و در فرکانس‌های بالا جذب افزایش می‌یابد.

در طراحی مافلرها با عملکرد بالا، از هر دو نوع جذبی و انبساطی استفاده می‌شود.

مافلرهای جذبی در دو نوع می‌باشند:

موازی Parallel: مواد جاذب این نوع عمدتاً بافت فیبروز داشته و از نوع شیشه‌ای یا پشم معدنی است. عملکرد آکوستیکی این

نوع به سه پارامتر بستگی دارد. 1- ضخامت 2- فضای مافلر 3- طول مافلر

کاهش صدا در فرکانس‌های بالا در هنگامی که فضا تنگ می‌شود، افزایش می‌یابد. در فرکانس‌های پایین با افزایش ضخامت مواد جاذب می‌توان عملکرد را بهبود بخشید. با افزایش طول، عملکرد و کارایی افزایش می‌یابد ولی این رابطه خطی نیست و علت غیر خطی بودن این است که جذب سریع در چند فوت اولیه مافلر اتفاق می‌افتد. عملکرد مافلرهای جاذب در صورت حذف یا بلوکه شدن **Line of sight** به شدت افزایش می‌یابد. مافلرهای موازی مقاومت کمی در برابر دبی دارند و به همین علت در جاهایی که افت فشار بحرانی است مانند فن‌ها، تهویه مطبوع، فراوری هوا و توربین‌ها کاربرد دارد. **نکته:** هر چه مساحت خروجی کمتر و ارتفاع محفظه کوتاهتر باشد و هر چه ضریب جذب لایه‌ها و طول انباره بیشتر باشد، نتیجه بهینه خواهد بود.

لوله‌ای Tubular: با ورودی دایره‌ای (warped around) یا exhaust duct

برای فرکانس‌های بالا عملکرد خوبی دارد اما برای فرکانس‌های پایین عملکرد ضعیفی دارد. در صنعت برای فلوهای بالای گاز در دمای بالا کاربرد دارد. دیواره‌های بیرونی سایلنسر و فلنج‌ها باید از فلزات با ضخامت زیاد ساخته شود. حداقل طول سایلنسر 5 فوت یا 1/5 متر می‌باشد و حداقل قطر آن 12 اینچ است. عملکرد سایلنسرهای جذبی در حضور جریان گاز یا هوا کاهش می‌یابد. تولید خودبخودی صدا زمانی رخ می‌دهد که سرعت در دهانه (Face velocity) بالا باشد. کاهش خطی صدا در لوله‌ها از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Attenuation = 12.6 \left(\frac{P}{S} \right) \alpha^{\frac{1}{4}}$$

P : محیط لوله داخلی به اینچ S : مساحت سطح مقطع درونی لوله به اینچ مربع α : ضریب جذب بر حسب سابین
این رابطه برای فرکانس‌های پایین (زیر 500) کاربرد دارد. همچنین کوچکترین بعد کانال باید بین 6-18 اینچ بوده و نسبت ارتفاع کانال به طول کانال نباید بیشتر از 2 باشد. اگر لوله خمیده با زاویه 180 (Switched Back) باشد، به همه فرکانس‌های بالای 250 هرتز، 5 دسی‌بل اضافه می‌شود.

اتاقک پلونوم

از نوع جذبی می‌باشد. این انباره شامل یک محفظه ساده به شکل مکعب بوده و سطح داخل آن با یک لایه جاذب پوشانده شده است. این انباره برای کنترل صدا در مجاری سیستم‌های تهویه، کاربرد دارد. شرط استفاده این است که در مسیر افت زیادی ایجاد نکند. باید حتماً فرکانس صدای مورد کنترل مشخص باشد. دارای دو نوع مکانیسم عملکرد است: 1 - بازتابی 2 - پراکنشی
در این نوع هر چه مساحت خروجی کمتر و ارتفاع اتاقک کمتر باشد و همچنین هر چه ضریب جذب لایه جاذب و طول انباره بیشتر باشد، کاهش صدا بیشتر خواهد بود.
در این انباره میزان کاهش صدا به دسی‌بل تابع رابطه زیر است:

$$NR \text{ or } AT = -10 \log \left[S_e \left(\frac{\cos \theta}{2\pi d^2} + \frac{1-\alpha}{\alpha S_w} \right) \right]$$

$$\cos \theta = \frac{W}{d}$$

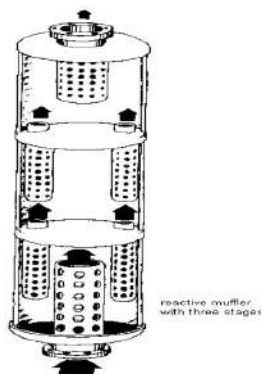
NR : میزان کاهش صدا در انباره (دسی‌بل) α : ضریب جذب لایه جاذب S_e : مساحت خروجی (متر مربع یا فوت مربع)
 S_w : مساحت دیواره انباره (متر مربع یا فوت مربع) d : فاصله بین ورودی و خروجی (متر یا فوت) θ : زاویه بین ورودی و خروجی (رادیان) (درجه)

نکته:

در اتاقک پلونوم اگر مساحت خروجی نصف شود کاهش تراز صدا 3 دسی بل افزایش می یابد.
در اتاقک پلونوم کاهش توان صوت را خواهیم داشت. کاهش توان فقط در منبع اتفاق می افتد.

انباره پخشی (بازتابی یا انبساطی)

این نوع انباره از یک یا چند محفظه انبساطی مکعب یا استوانه تشکیل شده است که کاربردهای مختلفی دارد. روی کانال یا با قطع کانال در مسیر آن قرار می گیرد. کاربرد اصلی برای صدای فرکانس پایین که با نوع جذبی قابل کنترل نباشد و همچنین برای کنترل صدای سیالات کثیفی که به جاذب صدمه می رسانند، کاربرد دارد. برای صدای لوله ها و کانال ها، ابزارهای گردنده، کمپرسورها، پمپ های مکنده، موتورهای احتراقی درونسوز و ... کاربرد دارد. اساس انباره اگزوز خودروها نیز این نوع می باشد. کاهش صدا در این دسته عمدتاً به انتشار جریان گاز با سرعت بالا به منطقه ای که سرعت جریان گاز در آن کم است، بستگی دارد. زمانی که حجم بالایی از هوا در فشار ورودی (Head pressure) پایین جابجا می شود، اغلب از سایلنسرهای پخشی استفاده می شود.



فاکتورهای طراحی

- مساحت ورودی و خروجی
- مساحت یا سطح مقطع خود مافلر

کاهش تراز فشار صوت در این انباره ها از رابطه زیر به دست می آید:

$$NR = 10 \log \left[1 + \frac{1}{4} \times \left(m - \frac{1}{m} \right)^2 \times \sin^2(KL) \right]$$

$$m = \frac{S_2}{S_1}$$

$$K = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi f}{v}$$

m : نسبت سطح مقطع انباره به سطح ورودی یا خروجی K : عدد موجی $(K(m^{-1} \text{ or } ft^{-1}) = 2\pi / \lambda = 2\pi f / v)$

L : طول انباره (متر یا فوت)

همچنین برای دستیابی به حداکثر کاهش تراز صدا باید سینوس کمان KL به یک نزدیک شود. لذا باید طول انباره را بزرگتر در نظر گرفت. رابطه زیر در این خصوص برقرار است.

$$KL = \frac{n\pi}{2} \Rightarrow L = \frac{n\pi}{2K} \Rightarrow L = \frac{n\lambda}{4} \Rightarrow L = \frac{(KL)V}{2\pi f}$$

بهتر است طول محفظه مضرب فردی از $\frac{\lambda}{4}$ یا $\frac{2\pi L}{\lambda}$ مضرب فردی از $\frac{\lambda}{2}$ باشد. چون سرعت صوت وابسته به دما است، دمای هوا یا گاز عبوری از انباره نیز اهمیت دارد. در مورد طول انباره رابطه زیر برقرار است.

$$L = \frac{n\lambda}{2K} \Rightarrow L = \frac{nV}{4f}$$

V: سرعت موج صوتی بر حسب متر بر ثانیه

یکی از معایب سایلنسرهای پخشی تمایل به بسته شدن یا جمع شدن آنها (Back Pressure) می باشد.

مافلرهای Acoustical Louver

مانند جاذب‌های صفحه‌ای هستند. بیشتر جاذب صدای فرکانس‌های پایین می‌باشند. کاربرد این مافلرها برای ورودی برج‌های خنک‌کن، ورودی Mechanical room، intake هوای تازه، external building wall penetrations است. این دسته دو ویژگی مهم دارند: 1 - نصب آسان 2 - افت فشار کم

مافلرهای درون دودکش

کاربرد آن در فرکانس‌های پایین است. کاهش صدا از طریق جذب انجام می‌شود. از الیاف شیشه، پشم معدنی، ورقه‌های فلزی، است. میزان کاهش با نصب مافلر در حداقل 5 برابر قطر دودکش در بالا دست دودکش قابل ملاحظه است.

Multi chamber Reactive Silencers

بر خلاف مافلرهای جذبی حداکثر کاهش در فرکانس‌های پایین و زیر 500 هرتز رخ می‌دهد.

مافلرهای ویژه

- **Tuned dissipative silencer** سایلنسر پخشی تطبیق یافته: به طور خاص برای فن‌های حجم بالا کاربرد دارد. همچنین برای تجهیزات کثیف مانند زغال سنگ، هیزم، کوره‌های سوخت مواد زائد و فاضلاب و نیروگاه‌های سوخت فسیلی، مناسب است.
- **Vent or exhaust silencer**: در این نوع باید به گاز اجازه داده شود که به آرامی از درون مافلر منبسط شود و فلوی خروجی باید کاهش یابد. در این نوع سایلنسر کاهش صدا در فرکانس‌های پایین رخ می‌دهد.
- **سایلنسر موتورها و burner**: صدای موتورهای الکتریکی اغلب به دلیل فن‌های خنک کننده هوا می‌باشد.

سری کاری انباره‌ها

برای افزایش کارایی انباره‌ها می‌توان آن‌ها را به صورت سری نصب کرد. در این صورت اگر اتاقک‌ها دارای کاهش برابر باشند کاهش کل صوت از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$NR_t = 3N + NR_0$$

NR_t : مجموع کاهش تراز فشار صوت در اثر انباره‌ها (دسی بل) N : تعداد انباره NR_0 : کاهش تراز فشار صوت در هر انباره (دسی بل)

در صورت برابر نبودن کاهش صدا در انباره‌ها، کاهش کل برابر با مجموع جبری کاهش تراز همه آن‌ها است. روش ساده برای محاسبه میزان کارایی مانع‌های صوتی از رابطه زیر است:

$$IL = 10 \log(3 + 20N) \rightarrow \rightarrow \rightarrow N = \frac{3.4}{\lambda}$$

N : عدد فرنل برای هر فرکانس

xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

ب - موانع صوتی و ایزولاسیون صوتی

موانع صوتی، دیوارهای صوتی، دیوارهای نیمه باز آوا یا مانع‌های ناقص، همگی به موانع اطلاق می‌شود که با مشخصات معین می‌توانند در مسیر انتشار از انتقال بخشی از انرژی صوتی ممانعت نمایند.

ایزولاسیون صوتی: ایزولاسیون در مقابل عبور صوت از یک مکان به مکان دیگر با استفاده از دیواره ایزولان یا مانع مطرح می‌شود. این خصیصه تحت عنوان آمپدانس اکوستیکی نیز ذکر می‌شود. ایزولاسیون صوتی هر دیواره تابعی از ضریب عبور یا ضریب انتقال صوت است. ضریب انتقال صوت، نسبت انرژی عبوری به انرژی برخوردی به هر مانع است.

$$\tau = \frac{E_t}{E_i}$$

τ : ضریب انتقال صوت از دیواره E_t : انرژی عبوری E_i : انرژی صوتی اولیه یا برخوردی به دیواره
در صورتی که دیواره مانع دارای چند بخش با ضریب انتقال صوتی مخصوص هر بخش باشد (مثلاً پنجره یا در روی دیوار)، بایستی برای دیواره ضریب انتقال متوسط محاسبه می‌گردد:

$$\bar{\tau} = \frac{\sum S_i \times \tau_i}{\sum S} \quad (\text{حالت موازی})$$

$$\frac{1}{\bar{\tau}} = \sum \frac{1}{\tau_i} \quad (\text{حالت سری})$$

ضریب انتقال نیز مانند ضریب جذب وابسته به فرکانس است و هر ماده برای فرکانس‌های 8 گانه 8 ضریب انتقال دارد. ثابت شده است که میزان افت تراز فشار صوت در اثر عبور از هر دیواره با لگاریتمی از ضریب عبور نسبت عکس دارد. لذا می‌توان نوشت:

$$TL = 10 \log \frac{1}{\bar{\tau}}$$

TL : شاخص افت انتقال یا شاخص ایزولاسیون مانع صوتی بر حسب دسی‌بل τ : ضریب انتقال صوت از دیواره
موانع صوتی بر عکس جاذب‌های صوت که سبک هستند، سخت و دانسیته سطحی بالایی دارند و در نتیجه کمتر جذب و بیشتر بازتاب می‌دهند. ضریب افت انتقال به زاویه تابش بستگی دارد به طوری که میزان افت عبور در زاویه نرمال (صفر درجه) ماکزیمم و در 90 درجه حداقل می‌باشد.

رابطه بین جذب صدا و افت انتقال صدا در مصالح: هر چه ضریب جذب مصالح بیشتر باشد، افت انتقال صوت در آن‌ها کمتر است.

$$TL = 10 \log \frac{1}{\alpha}$$

α : ضریب جذب مصالح

ضریب جذب فوم پلی اورتان با ضخامت 1 اینچ در فرکانس‌های 125 هرتز برابر با 0/14، در فرکانس 250 هرتز برابر با 0/3، در فرکانس 500 هرتز برابر با 0/63، در فرکانس 1000 هرتز برابر با 0/91، در فرکانس 2000 هرتز برابر با 0/98 و در فرکانس 4000 هرتز برابر با 0/91 می‌باشد.

افت انتقال صوت از موانع به موارد زیر بستگی دارد:

- جرم یا چگالی (به خصوص دانسیته سطحی)
- یکدستی و یک شکلی
- میرایی
- فنریت

جرم یا چگالی (به خصوص دانسیته سطحی): میزان افت عبور با افزایش جرم در واحد سطح افزایش می‌یابد. بر اساس قانون جرم هر چه ماده چگال‌تر باشد نسبت به صدا نفوذپذیری کمتری دارد و در نتیجه افت انتقال بیشتری دارد. شاخص افت انتقال عبارت است از اختلاف تراز فشار صوت در دو طرف یک دیواره به دسی‌بل (معمولاً برای فرکانس 500 هرتز تعیین شده است).
رابطه تجربی زیر ارتباط افت انتقال و جرم را نشان می‌دهد.

$$TL = 20 \log(f \times w) - c$$

TL : شاخص افت انتقال یا شاخص ایزولاسیون مانع صوتی (دسی‌بل) f : فرکانس w : چگالی سطحی (کیلوگرم بر متر مربع)
 C : در سیستم انگلیسی 33 و در سیستم متریک 47/5 می‌باشد.

آزمایش نشان داده است که یک دیوار آجری با ضخامت 12 سانتیمتر و چگالی 205 کیلوگرم بر متر مربع، به طور میانگین 45 دسی‌بل شاخص افت انتقال صوت دارد، در حالی که اگر ضخامت آن 2 برابر شود، شاخص افت انتقال فقط 5 دسی‌بل اضافه می‌شود.

نکته: به ازای دو برابر شدن جرم، افت انتقال 6 دسی بل (در عملکرد کمتر و حدود 4 دسی بل) افزایش می یابد.

یکدستی و یک شکلی: هر چه بیشتر باشد افت انتقال بیشتر و انرژی عبوری کمتر خواهد بود.

میرایی: با افزایش میرایی موانع، میزان افت انتقال آنها نیز افزایش می یابد.

فیریت: نوساناتی که در فرکانس های پایین و به دلیل ارتعاش دیواره و ارتعاش ناشی از صدای محیط، در افت انتقال ایجاد می شود به فیریت موسوم است. ارتباط بین افت انتقال و فرکانس از نوع همبستگی خطی و حتی لگاریتمی نیست بلکه از الگوی سه ناحیه ای پیروی می کند:

ناحیه اول: ناحیه تشدید یا ناحیه اثر فیریت: وقتی است که فرکانس صوت و دیواره نزدیک به هم است. این حالت در فرکانس های پایین رخ می دهد و افت زیادی ایجاد نمی شود در نتیجه عبور صوت راحت انجام می شود. برای مثال عبور صدای همسایه از دیوار مشترک صورت می گیرد (معمولاً در کنترل صدای بم مشکل داریم). در فرکانس های پایین افت انتقال بر اساس ماهیت رزونانسی دیواره نوسان دارد. فرکانس تشدید بستگی به ابعاد مانع و در پانل مستطیلی به طول و عرض و ضخامت مانع بستگی دارد. در صورتی که فرکانس صوت کوچکتر از فرکانس تشدید باشد در ناحیه فیریت قرار می گیرد.

ناحیه دوم: ناحیه چگالی یا ناحیه اثر جرم: در این ناحیه با افزایش فرکانس افت انتقال از جرم تبعیت می کند و هر چه جرم دیوار بیشتر باشد، افت انتقال دیوار بیشتر است. در این ناحیه به ازای افزایش فرکانس به میزان هر اکتاو باند، 6 دسی بل افزایش افت داریم. این ناحیه مناسب ترین ناحیه برای کاهش عبور صدا می باشد.

در صورتی که فرکانس صوت بزرگتر از فرکانس تشدید و کوچکتر از فرکانس بحرانی باشد در ناحیه جرم قرار دارد.

ناحیه سوم: ناحیه همزمانی فرکانس یا ناحیه اثر انطباق فرکانس (ناحیه کنترل شده میرا): بعد از ناحیه جرم، با افزایش فرکانس افت انتقال به یکباره کاهش می یابد و بخشی زیادی از انرژی صوتی عبور می کند. در یک فرکانس مشخص بین انرژی صوت تابشی و انرژی ارتعاشی مانع هم فازی پیش می آید. در این حالت طول موج صوت برخوردی به مانع با طول موج ارتعاشی یا خمشی مانع برابر است و افت انتقال در یک نقطه به حداقل ممکن می رسد. ناحیه شکست را ناحیه انطباق یا همزمانی فرکانس و نقطه حداقل را فرکانس بحرانی می نامند.

محاسبه میزان فرکانس بحرانی در ناحیه اثر انطباق فرکانس ناشی از فیریت

فرکانس بحرانی (فرکانس انطباق) از رابطه زیر برای هر ماده قابل محاسبه است:

$$f_c = \frac{C_a^2}{1.8 \times C_b \times t \times \sin \alpha_i}$$

f_c : فرکانس بحرانی (هرتز) C_b : سرعت صوت در دیوار (متر بر ثانیه) t : ضخامت دیوار (متر) C_a : سرعت صوت در

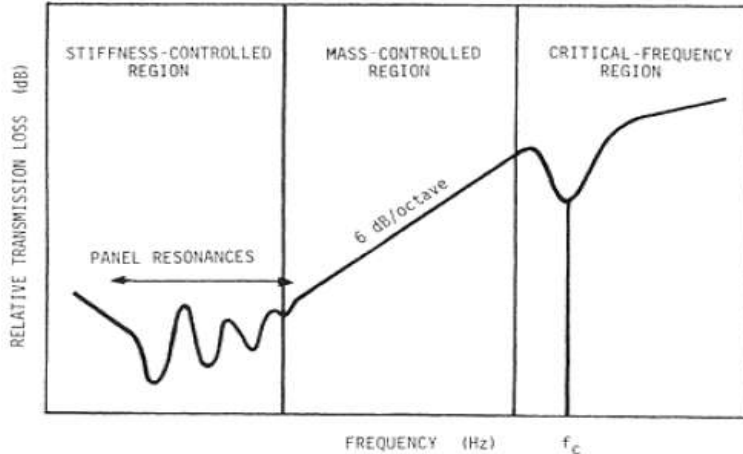
هوا (متر بر ثانیه) α_i : زاویه برخورد صوت به دیواره

فرکانس بحرانی با ضخامت پنل رابطه عکس دارد و هر چه پنل نازک تر باشد فرکانس انطباق بیشتر می شود. کمترین فرکانس انطباق برای زاویه ورودی 90 درجه می باشد.

ناحیه فرکانس همزمانی در فرکانس های بالا اتفاق می افتد. پدیده همزمانی هنگام انتقال موج از ناحیه 2 به ناحیه 3 رخ می دهد. در فرکانس های بالاتر از فرکانس بحرانی، انتقال شدیداً وابسته به فرکانس موج ورودی و میرایی داخلی مواد و اجزاء پنل دارد. در این ناحیه افت انتقال به میزان 10 دسی بل به ازای هر اکتاو باند افزایش خواهد یافت.

پدیده همزمانی تحت زوایای مختلف صورت می گیرد. هر چه ضخامت مانع بیشتر باشد فرکانس همزمانی کمتر است. اگر مانع نرم و میراکننده باشد، باعث کاهش پدیده همزمانی می شود.

در صورتی که فرکانس صوت بزرگتر از فرکانس بحرانی باشد در ناحیه میرایی قرار می گیرد.



برای کاهش اثر فنریت و همزمانی فرکانس می توان از میراکننده مناسب استفاده کرد. می توان برای فنریت از یک لایه کم وزن مثل فوم و برای همزمانی از یک لایه میراکننده داخلی مناسب مانند سرب استفاده کرد. خاصیت میرایی اثر زیادی بر انتقال در ناحیه فنریت دارد. موادی مثل استیل میرایی بیرونی کمی دارند و در اثر ضربه ارتعاش زیادی دارند (ارتعاش زمان زیادی ادامه دارد) ولی موادی مثل کائوچو و سرب میرایی بیرونی کمی دارند و صوت بسیار سریع کاهش می یابد

Sound Trans Class (STC): معیاری برای مقایسه میزان افت انتقال مواد و مصالح ساختمانی است. برای این منظور معیار استاندارد ا ارائه شده است که در آن افت انتقال از فرکانس 125، از صفر شروع شده و تا فرکانس 400 با شیب 9 دسی بل زیاد می شود. سپس از 400-1250 هرترز با شیب 3 دسی بل ادامه می یابد و از 1250 به بعد مسطح می شود. در این منحنی باید دقت کرد که اختلاف بین مقادیر در یک اکتاو باند بیش از 5 دسی بل و در یک سوم اکتاوباند بیش از 8 دسی بل نشود.

چند نکته:

- در موانع صوتی با افزایش ضخامت دیواره افت انتقال به صورت لگاریتمی افزایش می یابد اما در جاذبها این افزایش به صورت خطی است.
- کنترل فرکانسهای پایین مشکل تر از فرکانسهای بالا می باشد.
- مواد ضخیم تر فرکانس همزمانی بالاتری دارند. به دلیل تفاوت سرعت صوت در مواد مختلف، فرکانس همزمانی نیز در مواد مختلف متفاوت است.
- شرط استفاده از موانع داشتن چگالی سطحی کافی (طبق قانون جرم) است.

کنترل اتاق به اتاق

برای تعیین اثر کنترل صدا به وسیله مانع صوتی در صورتی که مانع مورد نظر بین دو مکان (مثلاً کارگاه و دفتر) قرار گرفته باشد، به صورت زیر انجام می شود:

$$TL = LP_1 - LP_2 + 10 \log \frac{S}{A}$$

TL: شاخص افت انتقال دیوار (دسی بل) S: سطح دیواره مانع (متر مربع) A: سطح جذبی دیوارهای داخلی اتاق کنترل

LP₁: تراز فشار صوت در اتاق منبع صوتی (دسی بل) LP₂: تراز فشار صوت در اتاق کنترل صدا (دسی بل)

برای حصول نتیجه بهتر، به جای سطح جذبی اتاق کنترل، از ثابت اتاق کنترل استفاده می شود. در این حالت رابطه قبل به صورت زیر خواهد بود:

$$TL = LP_1 - LP_2 + 10 \log \frac{S}{R}$$

R: ثابت اتاق کنترل

میزان کاهش صدا یا میزان کنترل صدا در شرایط بالا به صورت زیر خواهد بود:

$$NR = LP_1 - LP_2$$

NR: میزان کاهش صدا یا میزان کنترل صدا (دسی بل) LP_1 : تراز فشار صوت در اتاق منبع صوتی (دسی بل) LP_2 : تراز

فشار صوت در اتاق کنترل صدا (دسی بل)

برای محاسبه میزان کاهش بلافاصله بعد از دیواره از رابطه زیر استفاده می شود.

$$LP_2 = LP_1 - TL + 10 \log \left(\frac{1}{4} + \frac{SW}{R_2} \right)$$

SW: مساحت دیوار مشترک R_2 : ثابت اتاق دوم

اگر ضریب جذب اتاق به سمت 1 میل کند، ثابت اتاق به سمت بی نهایت میل می کند. یعنی اگر محیط مشرف به بیرون باشد رابطه زیر برقرار است: در عمل +4 می شود.

$$LP_2 = LP_1 - TL + 6$$

برای محاسبه تراز فشار صوت در فاصله قابل توجه از دیوار و در صورتی که ضریب جذب کم باشد، میزان کاهش صدا با استفاده از مانع، به ترتیب زیر محاسبه می شود:

$$LP_2 = LP_1 - TL + 10 \log \left(\frac{SW}{R_2} \right) \rightarrow \rightarrow \rightarrow TL = NR + 10 \log \frac{SW}{R_2}$$

SW: مساحت دیوار مشترک R_2 : ثابت اتاق دوم

کنترل اتاق به محوطه

در این نوع کنترل، هدف کاستن تراز فشار صوت برای ساکنین یا شاغلین خارج از کارگاه است. برای تعیین اثر کنترل صدا به وسیله مانع صوتی که بین مکان تولید صوت و فضای آزاد قرار گرفته باشد، به صورت زیر انجام می شود:

$$LP_2 = LP_1 - TL + 10 \log S + 10 \log \left[\frac{Q}{4\pi r^2} \right] - 6$$

TL: شاخص افت انتقال دیوار (دسی بل) LP_1 : تراز فشار صوت در کارگاه (دسی بل) Q: ضریب جهت که 2 فرض می شود

LP_2 : تراز فشار صوت در محوطه آزاد (دسی بل) S: سطح دیواره مانع (متر مربع) r: فاصله از دیواره مانع (متر)

میزان کاهش صدا در شرایط رابطه بالا به صورت زیر خواهد بود:

$$NR = LP_1 - LP_2$$

NR: میزان کاهش صدا یا میزان کنترل صدا (دسی بل) LP_1 : تراز فشار صوت در کارگاه (دسی بل) LP_2 : تراز فشار صوت

در محوطه آزاد (دسی بل)

موانع جزئی (نسبی)

دیوارهایی با ارتفاع محدود که در فاصله ای از منبع قرار می گیرند و کاهش صدا در آن ها بر اساس خاصیت پراکندگی امواج صوتی می باشد. معمولاً در این گروه هر گونه پیش بینی بالاتر از 25 دسی بل را به دلیل تأثیرات جوی و توربولانس هوا قابل پذیرش نمی دانند. این موانع تا زمانی که میدان به صورت دیفیوز در نیامده مؤثر می باشند، در غیر این صورت تقریباً کارایی ندارند. رابطه زیر فاصله ای که در آن محیط به شکل میدان دیفیوز در می آید و مانع جزئی مؤثر است را تخمین می زند.

$$r = 0.14 \sqrt{\alpha S}$$

بیشترین کاربرد این موانع در محیط ها روباز و برای جلوگیری از رسیدن صدای قطار و ترافیک به محل های مسکونی است. این نوع در محیط روباز اثربخشی بیشتری از صنعت دارند. در موانع جزئی علاوه بر ضریب عبور و دانسیته سطحی و ...، خاصیت هندسی امواج (طول موج و...) نیز مهم است. هرچه ارتفاع مانع بیشتر و به منبع نزدیک تر باشد، سایه ایجاد شده بیشتر می باشد.

با توجه به این که محل استقرار شنونده در پشت دیواره، می تواند در نقاط مختلف فرض شود، با محاسبه می توان در هر فاصله از پشت مانع، افت انتقال صوت را تعیین نمود. افت انتقال در این روش به طریق زیر محاسبه می شود:

$$A_b = 20 \log \left[\frac{\sqrt{2\pi N}}{\operatorname{tgh} \sqrt{2\pi N}} \right] + 5$$

A_b : افت انتقال مانع بر حسب دسی بل tgh : تانژانت هیپربولیک

N : عدد فرنل است که از رابطه زیر به دست می‌آید

$$N = \frac{2\delta}{\lambda}$$

λ : متوسط طول موج صوت بر حسب متر δ : فاصله موثر منبع صوت تا شنونده بر حسب متر

برای محاسبه فاصله موثر منبع صوت تا شنونده از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\delta = \sqrt{[S^2 + h^2] - S} + \sqrt{[R^2 + h^2] - R}$$

S : فاصله منبع صوت تا دیواره در خط ارتباط (متر) h : ارتفاع مثلث یا ارتفاع موثر دیواره (متر) R : فاصله شنونده تا دیواره در خط ارتباط (متر)

نظر به این که استفاده از این دیواره‌ها برای کاهش تراز فشار صوت است، این کمیت در پشت دیواره از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$LP = LW + DI - 20 \log r - A_b - 11$$

LP : تراز فشار صوت در پشت مانع (دسی بل) LW : تراز توان منبع (دسی بل) DI : اندیس جهت (دسی بل) r : فاصله شنونده تا

مانع (دسی بل) A_b : افت انتقال مانع (دسی بل)

نکته: رنج کاهش صدا توسط موانع جزئی بین 5 تا 25 دسی بل است.

xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

ج - میرا کننده‌ها

میرا کننده‌های صوتی انرژی صوتی را در درون خود با تبدیل به گرما جذب می‌کنند. همه مواد خاصیت میرایی دارند که در اثر اصطکاک مولکولی آن‌ها است. ویژگی‌های عمومی این مواد اصطکاک مولکولی داخلی آن‌ها است. عواملی که برای تشریح میرایی بیان شده است، شامل فاکتور افت، نرخ زوال و فاکتور نسبت میرایی است. فاکتور افت به وسیله انرژی کاهش یافته به ازای تناوب‌های ارتعاشی، به انرژی متوسط کلی سیستم ارتعاشی، با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$\eta = \frac{D}{2\pi W_0}$$

η : فاکتور افت (دسی بل) D : انرژی کاهش یافته به ازای تناوب‌های ارتعاشی W_0 : متوسط کل انرژی جنبشی و پتانسیل

سیستم ارتعاشی

نکته: برای کنترل مؤثر صوت فاکتور افت باید بالای 0.1 باشد.

نرخ زوال، یک مقدار تجربی است که مبتنی بر زوال ارتعاش آزاد در یک نمونه است. بزرگی یا بلندی زوال در طول زمان تغییر می‌کند و زمانی می‌تواند خطی باشد که پلات لگاریتمی آن ترسیم گردد:

$$\eta = \frac{\Delta}{27.3f} \rightarrow \Delta = 27.3\eta f$$

Δ : نرخ زوال بر حسب دسی بل بر ثانیه f : فرکانس زوال بر حسب دسی بل

عامل میرایی یا نسبت میرایی، حاصل تقسیم ضریب میرایی ارتعاشی ماده به ضریب بحرانی آن است. ضریب میرایی بحرانی می‌تواند، سیستم ارتعاشی را از ارتعاش باز دارد.

$$\zeta = \frac{C}{C_c}$$

ζ : فاکتور نسبت میرایی C : ضریب میرایی ویسکوزیته ماده (نیوتن ثانیه بر متر) C_c : ضریب میرایی ویسکوزیته بحرانی

ماده (نیوتن ثانیه بر متر)

به طور ساده می توان گفت که بین نسبت میرایی و فاکتور افت رابطه زیر برقرار است:

$$\eta = 2\zeta$$

Free Layer Damping

این میرا کننده ها توسط موادی شبیه مایع پوشانده می شوند. مشکل این دسته کنترل دما می باشد. این نوع میرا کننده یکی از بهترین روش های کاهش صدا در سیستم های خطوط آهن می باشد. در رنج باریکی از دما مواد میراکننده کارایی بهینه دارند. چون در دمای پایین تر که منطقه Glossy نام دارد، مواد میرا کننده سخت و گاهی شکننده می شوند. در دمای بالاتر، در منطقه Rubbery مواد نرم تر شده و بیشتر شبیه مایع می باشند. در منطقه Transition فاکتور افت حداکثر می باشد و در هر دو منطقه قبلی میرایی کاهش می یابد. نکته: بر اساس برخی منابع در حدود 80 درجه فارنهایت بهترین دمای عملکرد این نوع مراکننده می باشد

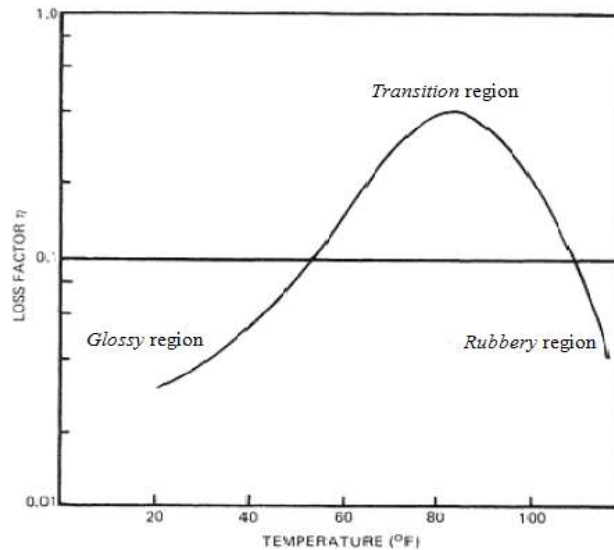


Figure 6.19
Dependence of the loss factor on temperature.

Constrained Layer Damping

وقتی یک لایه Rigid Constraining محکم به یک لایه ویسکوالاستیک چسبانده می شود، میرایی افزایش می یابد. مزیت های Constrained Layer Damping نسبت به Free Layer Damping عبارت است از:

- 1- از نظر فضایی 2- از نظر وزنی 3- از نظر استحکام 4- از نظر نصب 5- صرفه جویی در زمان

عملکرد میرایی Constrained Layer و مشکلات آن به دما و فرکانس بستگی دارد. خم کردن، شکل دادن، بریدن و تکنیک های جوشکاری از مشکلات و معایب این مواد است. سیستم های تهویه، تهویه مطبوع، ماشین های محصور و موتورهای دیزلی، هواپیما و تجهیزات الکتریکی از موارد استفاده از این میرا کننده ها هستند.

XX

انتقال صوت در محیط های صوتی

عواملی چون سطوح بازتابشی، فشار هوا بارومتریک، رطوبت نسبی هوا، سرعت جریان هوا، متحرک بودن منبع، صدای زمینه، موانع صوتی و پوشش گیاهی مسیر بر تراز فشار صوت در هر نقطه ناشی از منبع صوتی معینی موثر هستند. کلیه عوامل مداخله کننده را می توان در یک فرمول کلی تحت عنوان افت انتقال کلی بیان نمود:

$$A_{total} = A_{div} + A_{air} + A_{ground} + A_{misc}$$

A_{total} : افت انتقال کلی بر حسب دسی بل A_{div} : افت ناشی از بعد فاصله و سطوح بازتابشی (اثر سطوح بازتابشی)
 A_{air} : افت ناشی از جذب صوتی هوا و عامل فشار بارومتریک A_{ground} : افت ناشی از زمین و عوارض آن A_{misc} : افت ناشی از ساختمان ها، درختان و محوطه‌های ساختمانی

اثر کاهش ناشی از فاصله

با توجه به مطالب فوق اثر خالص فاصله، ناشی از کاهش دانسیته انرژی صوتی در اثر بعد فاصله خواهد بود. لذا می‌توان با رابطه زیر مقدار آن را محاسبه نمود:

$$A_{div} = 20 \log r + 11$$

r : فاصله از منبع صوتی بر حسب متر

اثر جذبی هوا

رطوبت نسبی هوا و امپدانس طبیعی هوا، ناشی از توده هوای مسیر عبوری و درجه حرارت آن است. این عامل می‌تواند اثر کاهش دهنده در تراز فشار صوت عبوری داشته باشد. مقدار این عامل در فرکانس‌های مختلف به صورت انتخابی عمل می‌کند:

$$A_{air} = \frac{\alpha \times d}{100} + C$$

α : ضریب افت صوتی ناشی از مشخصه‌های هوا (دسی بل به ازای 100 متر) d : فاصله از منبع (متر) C : افت ناشی از فشار بارومتریک یا ارتفاع منطقه بر حسب دسی بل

اثر زمین

میزان کاهش صدا یا تشدید صدا توسط زمین وابسته به جنس آن و میزان بازتابش صوتی است. برای تخمین افت انتقال صوت ناشی از سطوح مسیر، رابطه زیر تعریف شده است. این رابطه نوع سطوح را دخالت نداده است و بدیهی است که برای سطوح سخت قابل استفاده نیست.

$$A_{ground} = 4.8 - \left[\left(\frac{2h_m}{r} \right) \left(17 + \frac{300}{r} \right) \right] \quad h_m = \left[\frac{(h_s + h_r)}{2} \right]$$

r : فاصله شنونده و منبع (متر) h_m : میانگین ارتفاع منبع صوتی و شنونده از سطح زمین (متر)

تعیین اثر زمین در فواصل طولانی

مقدار کلی افت انتقال صدا در فواصل طولانی بر اساس رابطه زیر بدست می‌آید:

$$A_{ground} = A_s + A_r + A_m$$

A_s : افت مربوط به فاصله منبع (دسی بل) A_r : افت مربوط به فاصله شنونده (دسی بل) A_m : افت مربوط به فاصله بین شنونده و منبع (دسی بل)

اثر بوته زارها و علفزارهای بلند

علاوه بر درختان، علفزارها و بوته‌زار نیز می‌توانند افت موثری داشته باشند:

$$A_g = 1.8 \log f - 3.1$$

A_g : افت انتقال به ازای هر 100 متر f : فرکانس صوت بر حسب هرتر

اثر بلوک‌های ساختمانی

ساختمان‌های مسیر نیز می‌توانند بر انتقال صدا موثر باشد و به عنوان موانع منقطع عمل نماید. رابطه محاسبه اثر بلوک‌های ساختمانی به صورت زیر است:

$$A_{housing} = 0.1 \times B \times S_b$$

B : تراکم بلوک‌های ساختمانی

S_b : طول مسیر عبور هوا بر حسب متر

تراکم بلوک‌های ساختمانی به صورت زیر محاسبه می‌شود

$$B = \frac{S_h}{S_t}$$

S_h : مساحت کل زیر بنای ساختمانها (متر مربع) S_t : مساحت کل زمینهای محدوده مورد بررسی (متر مربع)

اثر دیوارهای صوتی در فضای باز

دیوارهای صوتی مانع‌هایی هستند که در مسیر انتشار یا انتقال صدا و در حد فاصل منبع و شنونده باعث افت انتقال صوت می‌گردند. این موانع با مشخصات فنی لازم سبب می‌شود که در پشت آن سایه و نیم سایه صوتی ایجاد شود و آزار صوتی ناشی از منابع کاهش یابد. این موانع دارای چگالی سطحی نسبتاً بالا هستند و می‌توانند به صورت طبیعی یا مصنوعی پیش‌بینی شوند. میزان تاثیر هر مانع به طور قطعی زمانی معلوم می‌شود که نصب شده باشد. لذا در این حالت افت انتقال ناشی از مانع به صورت زیر خواهد بود:

$$IL_{\text{barrier}} = LP_1 - LP_2$$

IL_{barrier} : افت انتقال ناشی از مانع (دسی‌بل) LP_1 : تراز فشار صوت در نقطه مورد نظر قبل از نصب مانع (دسی‌بل)

LP_2 : تراز فشار صوت در نقطه مورد نظر بعد از نصب مانع (دسی‌بل)

دیوارهای صوتی نازک

شرط اولیه استفاده از موانع نازک، حداقل چگالی سطحی آنها بر اساس فرکانس تاثیر و میران افت مورد نیاز است. به منظور تعیین افت انتقال مانع باید عدد فرنل را حساب نمود:

$$N = \left(\frac{2}{\lambda} \right) [d_1 + d_2 - d]$$

N : عدد فرنل λ : طول موج (متر) d_1 : فاصله منبع صوتی تا مانع صوتی نازک (متر) d_2 : فاصله شنونده تا مانع صوتی

نازک (متر) d : فاصله شنونده تا منبع صوتی (متر)

افت انتقال دیواره نازک با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$TL_{\text{barrier}} = 10 \log[3 + 10NK] - A_{\text{ground}}$$

A_{ground} : میزان افت انتقال ناشی از زمین قبل از نصب مانع بر حسب دسی‌بل N : عدد فرنل K : عدد تصحیح مربوط به

اتم‌سفر هوا

K برای فواصل بین شنونده و منبع صوتی کمتر از 100 متر، برابر 1 است.

دیوارهای صوتی ضخیم

دیوارهای ضخیم یک یا چند لایه می‌تواند اثر مضاعفی در کاهش انتقال صدا داشته باشد. در صورتی که ضخامت دیواره از 3 متر بیشتر باشد، مانع مناسبی برای تمام فرکانس‌ها می‌باشد. در صورتیکه ضخامت از 3 متر کمتر باشد، می‌توان کارایی مناسبی برای

طول موج های صوتی کمتر از $\frac{t}{5}$ داشته باشد. برای دیوارهای با عرض بیش از 3 متر عدد فرنل به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$N = \left[\left(\frac{2}{\lambda} \right) \times [d_1 + t + d_2 - d] \right]$$

افت انتقال ناشی از مانع ضخیم نیز به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$TL_{\text{barrier}} = 10 \log[3 + 30NK] - A_{\text{ground}}$$

برای مسافت‌های کمتر از 100 متر مقدار $k=1$ در نظر گرفته می‌شود.

محاسبه تراز فشار صوت با وجود دیواره صوتی

تراز فشار صوت رسیده به شنونده ناشی از منبع یا منابع صوتی با در نظر گرفتن کلیه عوامل موثر و تاثیر دیواره صوتی، در فرمول زیر جمع‌بندی می‌شود:

$$LP_F = LW - A_{\text{total}} - TL_{\text{barrier}}$$

LP_F: تراز فشار صوت نهایی پس از نصب دیواره صوتی در فاصله مورد نظر (دسی بل) LW: تراز توان منبع صوتی (دسی بل)
 A_{total}: افت ناشی از عوامل مسیر انتقال صوت (دسی بل) TL_{barrier}: افت ناشی از دیواره صوتی

xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

کاهش صدا توسط وسایل حفاظت شنوایی

وسایل حفاظت شنوایی توسط عاملی به نام میزان کاهش دهندگی صدا معرفی می شود. برای محاسبه میزان تراز فشار صوت پس از استفاده از وسایل حفاظت فردی بر اساس روابط زیر عمل می کنیم:

➤ در صورتی که تراز صدای محیط بر مبنای مقیاس سنجش C اعلام شود:

$$LP_2 = LP_1 - \left(\frac{NRR}{2}\right)$$

➤ در صورتی که تراز صدای محیط بر مبنای مقیاس سنجش A اعلام شود:

$$LP_2 = LP_1 - \left(\frac{(NRR-7)}{2}\right)$$

➤ در صورتی که از ترکیب پلاگ و گوشی برای کاهش میزان تراز فشار صوت استفاده کند.

$$LP_2 = LP_1 - \left(\frac{(NRR_b+5)}{2}\right)$$

LP₂: تراز فشار صوتی در گوش کارگر پس از استفاده از وسایل حفاظت شنوایی بر حسب دسی بل

LP₁: تراز فشار صوتی محیط بر حسب دسی بل

NRR: میزان کاهش صوت توسط وسایل حفاظت شنوایی بر حسب دسی بل

NRR_b: میزان کاهش صوت وسیله حفاظت شنوایی قوی تر بر حسب دسی بل

شنوایی سنجی

در آزمایش ادیومتری به دو طریق هوایی و استخوانی آستانه شنوایی صوت خالص اندازه گیری می شود. در روش هوایی با استفاده از یک دستگاه ادیومتر صوت خالص در فرکانس های مرکزی یک اکتاو باند توسط گوشی به هر گوش و در روش استخوانی با عبور صوت از طریق استخوان ماستوئید آستانه درک هر گوش اندازه گیری می شود. برای تعیین افت دائم شنوایی در اثر صدا، آستانه شنوایی در هر یک از 4 فرکانس مهم 500، 1000، 2000 و 4000 هرتز پس از کسر اثر سن، در فرمول زیر وارد و میزان افت دائم شنوایی با شاخص افت دائم شنوایی محاسبه می شود. این شاخص اثر خالص صدا را بر شنوایی بیان خواهد کرد و برای بررسی میزان معلولیت شنوایی فرد باید از اثر سن کم نشود.

$$NIHL = \frac{TL_{500} + TL_{1000} + TL_{2000} + TL_{4000}}{4}$$

NIHL: افت دائم شنوایی ناشی از صدا بر حسب دسی بل

TL₅₀₀: آستانه شنوایی در فرکانس 500 هرتز در هر گوش بر حسب دسی بل

TL₁₀₀₀: آستانه شنوایی در فرکانس 1000 هرتز در هر گوش بر حسب دسی بل

TL₂₀₀₀: آستانه شنوایی در فرکانس 2000 هرتز در هر گوش بر حسب دسی بل

TL₄₀₀₀: آستانه شنوایی در فرکانس 4000 هرتز در هر گوش بر حسب دسی بل (در برخی منابع از آستانه 3000 هرتز استفاده می کنند).

با محاسبه افت دائم شنوایی ناشی از صدا برای هر گوش می توان با رابطه زیر افت کلی شنوایی ناشی از صدا را برای هر دو گوش محاسبه نمود:

$$NIHL_t = \frac{(NIHL_b \times 5) + (NIHL_p)}{6}$$

NIHL_t: افت دائم کلی هر دو گوش بر حسب دسی بل

NIHL_b: افت دائم گوش بهتر بر حسب دسی بل

NIHL_p: افت دائم گوش ضعیف بر حسب دسی بل

