Petroleum industry- Noise and vibration control

صنعت نفت- کنترل صدا و ارتعاش

ویرایش دوم

اسفند ۱۴۰۱

استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۲۳۳۰۶ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

پیش‌گفتار صنعت نفت

استانداردهای نفت ایران (IPS) منعکس‌کننده دیدگاه‌های وزارت نفت ایران است و برای استفاده در تأسیسات تولید نفت و گاز، پالایشگاه‌های نفت، واحدهای شیمیایی و پتروشیمی، تأسیسات انتقال و فراورش گاز، فرآورده‌های نفتی و سایر تأسیسات مشابه تهیه شده است.

استانداردهای نفت، براساس استانداردهای قابل قبول بین‌المللی و داخلی تهیه شده و شامل گزیده‌هایی از استانداردهای مرجع می‌باشد. همچنین براساس تجربیات صنعت نفت کشور و قابلیت تأمین کالا از بازار داخلی و نیز برحسب نیاز، مواردی به طور تکمیلی و یا اصلاحی در این استاندارد لحاظ شده است. مواردی از گزینه‌های فنی که در متن استانداردها آورده نشده است در داده برگ‌ها به صورت شماره‌گذاری شده برای استفاده مناسب کاربران آورده شده است.

استانداردهای نفت، به شکلی کاملاً انعطاف پذیر تدوین شده است تا کاربران بتوانند نیازهای خود را با آن‌ها منطبق نمایند. با این حال ممکن است تمام نیازمندی‌های پروژه‌ها را پوشش ندهند. در این گونه موارد باید الحاقیه‌ای که نیازهای خاص آن‌ها را تامین می‌نماید تهیه و پیوست شوند. این الحاقیه همراه با استاندارد مربوطه، مشخصات فنی آن پروژه و یا کار خاص را تشکیل خواهند داد.

استانداردهای نفت هر پنج سال یکبار مورد بررسی قرارگرفته و روزآمد می‌گردند. در این بررسی‌ها ممکن است استانداردی حذف و یا الحاقیه‌ای به آن اضافه شود و بنابراین همواره آخرین ویرایش آن‌ها ملاک عمل می‌باشد.

در اجرای قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد ابلاغی ریاست محترم جمهوری، این استاندارد در تاریخ ۱۴۰۱/۱۲/۰۱ با شماره (INSO 23306) توسط سازمان ملی استاندارد ملی اعلام گردید.

از کاربران استاندارد، درخواست می‌شود نقطه نظرها و پیشنهادهای اصلاحی و یا هرگونه الحاقیه‌ای که برای موارد خاص تهیه نموده‌اند، به نشانی زیر ارسال نمایند. نظرات و پیشنهادهای دریافتی در کارگروه‌های فنی مربوطه بررسی و در صورت تصویب در تجدید نظرهای بعدی استاندارد منعکس خواهد شد.

ایران، تهران، خیابان کریمخان زند، خردمند شمالی، کوچه چهاردهم، شماره ۱۷
استانداردها و ضوابط فنی
کدپستی : ۱۵۸۵۸۸۶۸۵۱
تلفن : ۶۰ - ۸۸۸۱۰۴۵۹ و ۶۶۱۵۳۰۵۵
دور نگار : ۸۸۸۱۰۴۶۲
پست الکترونیک: Standards@nioc.ir

استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۲۳۳۰۶ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک مادهٔ ۷ قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد ، ابلاغ‌شده در دی ماه ۱۳۹۶، وظیفهٔ تعیین، تدوین، به‌روزرسانی و نشر استانداردهای ملی را بر عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند درکمیته ملی طرح، بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)[1]، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، واسنجی وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2- International Electrotechnical Commission
3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)
4- Contact point
5- Codex Alimentarius Commission

استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۲۳۳۰۶ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«صنعت نفت- کنترل صدا و ارتعاش»

رئیس:	**سمت و/یا محل اشتغال:**
گل‌محمدی، رستم (دکتری مهندسی محیط زیست)	عضو هیأت علمی- دانشگاه علوم پزشکی همدان
دبیر:	
تابان، ابراهیم (دکتری مهندسی بهداشت حرفه‌ای)	عضو هیأت علمی- دانشگاه علوم پزشکی مشهد
اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
ابوالحسن نژاد، وحیده (دکتری مهندسی بهداشت حرفه‌ای)	عضو هیأت علمی- دانشگاه علوم پزشکی بیرجند
احسنی، مریم (کارشناسی ارشد مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط زیست)	اداره کل بهداشت، ایمنی و محیط زیست وزارت نفت
احمدیانی، محسن (کارشناسی ارشد مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط زیست)	شرکت پالایش نفت ستاره خلیج فارس
بادنوروز، زهرا (کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست)	شرکت نفت مناطق مرکزی ایران
توکلی گلپایگانی، علی (دکتری مهندسی پزشکی- بیومکانیک)	عضو هیأت علمی- پژوهشگاه استاندارد
رهبر، ناصر (کارشناس ارشد مهندسی شیمی)	سازمان آتش‌نشانی تهران
زارعی، محسن (کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای)	شرکت ملی پالایش و پخش فراورده‌های نفتی
سیفی، فاطمه (کارشناسی ارشد مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط زیست)	پژوهشگاه صنعت نفت
شیخ مظفری، محمدجواد (کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای)	کارشناس مستقل

استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۲۳۳۰۶ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	**سمت و/یا محل اشتغال:**
صداقت، علی (دکتری مهندسی مواد- سرامیک)	پژوهشگاه مواد و انرژی
فرجی، رحیم (کارشناسی ارشد مهندسی پزشکی)	پژوهشگاه استاندارد
کشی‌زاده، فاطمه (کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای)	پژوهشگاه صنعت نفت
گلستانی‌فر، حافظ (کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست)	شرکت ملی نفت ایران
منابری، حمیدرضا (کارشناسی ارشد مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط زیست)	اداره کل بهداشت، ایمنی و محیط زیست وزارت نفت
موسوی، الهه (کارشناس ارشد مهندسی شیمی)	شرکت ملی نفت ایران
ندری، حامد (دکتری مهندسی بهداشت حرفه‌ای)	عضو هیأت علمی- دانشگاه علوم پزشکی اهواز

ویراستار:	
خالقی‌مقدم، ماهرو (دکتری شیمی آلی)	عضو هیأت علمی- پژوهشگاه استاندارد

استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۲۳۳۰۶ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

پیش‌گفتار ح
مقدمه ط
۱ هدف و دامنه کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۱
۳ اصطلاحات و تعاریف ۱
۴ کنترل صدای شغلی در صنعت ۸
۴-۱ تعیین منابع اصلی هدف کنترل صدا ۸
۴-۲ تعیین محدوده‌های هدف کنترل صدا ۸
۴-۳ تعیین گروه‌های شغلی هدف کنترل صدا ۸
۴-۴ قواعد مشترک در طرح‌های کنترل صدا ۹
۴-۵ اولویت‌بندی طرح‌های کنترل صدا ۹
۴-۶ کنترل مدیریتی صدا ۱۰
۴-۷ کنترل مهندسی صدا ۱۱
۴-۸ وسایل حفاظت شنوایی ۱۵
۴-۹ تهیه مستندات فنی مرتبط با کنترل صدا شامل نقشه‌ها، اطلاعات فنی تجهیزات و اطلاعات مربوط به نحوه نگهداری تجهیزات و اطلاعات مواجهه کارکنان با صدا ۲۰
۵ روش‌های فنی کنترل صدا در صنعت ۲۰
۵-۱ تراز توان صوتی مجاز برای تجهیزات ۲۱
۵-۲ تراز نشر صوتی مجاز برای تجهیزات ۲۲
۵-۳ پیش‌بینی و پیشگیری فنی مواجهه غیرمجاز با صدای شغلی ۲۲
۵-۴ مستندسازی طرح‌های کنترل صدا (کنترل صدا در منبع و روش‌های آن، کنترل صدا در محیط انتشار، اتاقک‌سازی) ۳۴
۵-۵ گزارش مهندسی کنترل صدا ۳۴
۵-۶ آزمون‌های موفقیت روش‌های کنترل صدا ۳۵
۵-۷ کنترل صدای واحدهای غیرفرایندی ۳۵
۵-۸ نظارت و پایش اجرای کنترل صدا ۳۶
۵-۹ تهیه و نگهداری اسناد ۳۶
۶ راهنمای طراحی آکوستیک برای محیط انتشار ۳۶
۷ راهنمای طراحی برای کنترل صدا تجهیزات ۳۷

عنوان **صفحه**

۷-۱ صدای جریان آیرودینامیکی ۳۹
۷-۲ صدای فن ۴۰
۷-۳ ساکت‌کننده‌ها و انباره‌ها (سایلنسرها و مافلرها) ۴۲
۷-۴ صدای کمپرسورها ۴۴
۷-۵ صدای پمپ‌ها ۴۵
۷-۶ صدای مشعل‌ها ۴۶
۷-۷ صدای ناشی از فلر ۴۷
۸ طراحی عایق صوتی برای لوله‌ها، شیرها و فلنج‌ها ۴۸
۹ طراحی اتاقک‌ها و محفظه‌ها ۴۸
۱۰ روش‌های کنترل ارتعاش شغلی ۵۰
۱۰-۱ انتخاب روش کنترل ارتعاش ۵۰
۱۰-۲ کنترل ارتعاش در مرحله طراحی و ساخت ۵۱
۱۰-۳ کنترل ارتعاش در مرحله نصب و بهره‌برداری ۵۱
۱۰-۴ الزامات طراحی فنی کنترل ارتعاش ۵۲
۱۰-۵ تهیه مستندات مربوط به طراحی‌های فنی کنترل ارتعاش ۵۲
۱۰-۶ گزارش مهندسی کنترل ارتعاش ۵۲
۱۰-۷ آزمون‌های موفقیت روش‌های کنترل ارتعاش ۵۳
پیوست الف (آگاهی‌دهنده) شناسایی، اندازه‌گیری و ارزیابی صدا و ارتعاش شغلی ۵۶
پیوست ب (آگاهی‌دهنده) چک لیست غربالگری صدا ۸۶
پیوست پ (آگاهی‌دهنده) فرم اندازه‌گیری صدا ۸۹
پیوست ت (آگاهی‌دهنده) موارد اقدام و تخصیص مسئولیت ۹۴
پیوست ث (آگاهی‌دهنده) اجرای آزمون‌های صدا ۹۵
پیوست ج (آگاهی‌دهنده) آزمون سامانه‌های عایق صوتی ۹۶
پیوست چ (آگاهی‌دهنده) طراحی آکوستیکی ۱۰۲
پیوست ح (آگاهی‌دهنده) نظارت و پایش اجرای کنترل صدا ۱۰۶
پیوست خ (آگاهی‌دهنده) عایق‌های ارتعاشی ۱۰۸
کتاب‌نامه ۱۲۲

پیش‌گفتار

استاندارد «صنعت نفت- کنترل صدا و ارتعاش » که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط تهیه و تدوین‌شده است، در سیصد و بیست وپنجمین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد محیط‌زیست مورخ ۱۴۰۱/۱۲/۰۱ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۷ قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد، ابلاغ‌شده در دی ماه ۱۳۹۶، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینهٔ صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون‌های مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

منابع و مآخذی که برای تهیه و تدوین این استاندارد مورداستفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

1- IPS-G-SF-900: 1997, General standard for noise control and vibration

۲- گل‌محمدی، رستم، مهندسی صدا و ارتعاش در صنعت نفت و محیط زیست،۱۳۹۳

استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۲۳۳۰۶ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

مقدمه

مواجهه شغلی با صدا و ارتعاش به‌طور عمومی می‌تواند سبب اختلال در آسایش، اختلال در عملکرد ذهنی، اختلال در خواب و ارتباطات انسانی گردیده و به‌علاوه می‌تواند بر کارایی شغلی و بهره‌وری تاثیر نامطلوب داشته باشد. صدا یک عمل تنش‌زای فیزیکی است که می‌تواند به‌طور موقت یا دایم افت شنوایی ایجاد کند. مواجهه با ارتعاش نیز می‌تواند علاوه بر اثرات عمومی ذکر شده اختلال فیزیولوژیک در سیستم عصبی– عروقی و اسکلتی ایجاد کند. ارتعاش می‌تواند باعث آسیب دائم به عروق، مفاصل و بافت‌های دست و انگشتان شده و اختلالات دردناک در سایر بخش‌های اسکلتی بدن، خصوصا ستون فقرات ایجاد کند. صدا و ارتعاش هر دو به دلیل احتمال ایجاد خطای انسانی و محدود کردن ارتباطات شغلی از عوامل ریسک بروز حوادث هستند. مسئله صدا و ارتعاشات صنعتی نیازمند به برنامه‌های مدون پیش‌بینی، شناسایی، ارزیابی و کنترل دارد تا با پایش مستمر و پیشگیرانه اثر مواجهه غیرضرور و غیرمجاز شاغلین جلوگیری به‌عمل آید.

این استاندارد برای استفاده در تأسیسات تولید نفت و گاز، پالایشگاه‌های نفت و گاز، پتروپالایشگاه‌ها، کارخانه‌های شیمیایی و پتروشیمی و سایر تأسیسات مرتبط با نفت و گاز در نظر گرفته شده است.

در این استاندارد برخی مطالب استاندارد صنعت نفت IPS-G-SF-900 نیز مورد استفاده قرار گرفته است که با الزامات اضافی یا اصلاحات بر اساس تجربیات علمی، عملی و ملاحظات اجرایی در صنعت نفت ایران تدوین شده است. در این استاندارد رئوس کلی مطالب موردنیاز و مفاهیم و الزامات مهم برای اقدامات پیشگیرانه و پایش مستمر کنترل صدا و ارتعاش آمده است. کاربران می‌توانند در صورت لزوم به فهرست منابع مرتبط مراجعه و نیازهای خود را متناسب با این استاندارد برطرف کنند.

این استاندارد راهنماهایی را در موارد زیر ارائه می‌دهد:

الف– اصول و استانداردهای ضروری صدا و ارتعاش منتشرشده از ماشین آلات و تجهیزات؛

ب– اصول و مبانی مهم صدا و ارتعاش در محیط کار و روش‌های کنترل صدا در تأسیسات نفتی و مجتمع‌ها، محیط‌های غیر فرایندی و اداری؛

پ– تدابیر پیشگیرانه فنی و مدیریتی و چگونگی پایش اقدامات کنترل صدا و ارتعاش.

با توجه به اینکه تصمیم‌گیری در خصوص کنترل صدا و ارتعاش مستلزم اندازه‌گیری و ارزیابی صحیح و معتبر این دو عامل است، در پیوست آگاهی‌دهنده این استاندارد اصول کلی مرتبط با روش‌ها و تجهیزات موردنیاز و روش‌های اندازه‌گیری و ارزیابی آورده شده است.

استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۲۳۳۰۶ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

صنعت نفت- کنترل صدا و ارتعاش

۱ هدف و دامنهٔ کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تشخیص و تعیین منابع انتشار، روش‌های پیشگیری، کنترل و پایش آلودگی صدا و ارتعاش در تأسیسات و تجهیزات و تعیین رویه‌های کنترل آن از جنبه بهداشت شغلی، ایمنی و محیط زیست و تشریح الزامات و استانداردهای مربوطه در طراحی، ساخت، راه‌اندازی، بهره‌برداری و برچیدن تأسیسات و تجهیزات در صنعت نفت می‌باشد.

یادآوری- حدود مجاز آلودگی صوتی و ارتعاش توسط مراجع ذی‌صلاح قانونی تعیین می‌شود.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین‌ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مرجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

2-1 ISO 3744, Acoustics — Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure — Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane.

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۸۳: سال ۱۳۹۷، آکوستیک- تعیین ترازهای توان صدا و ترازهای انرژی صدای منابع نوفه با استفاده از فشار صدا- روش‌های مهندسی برای یک میدان ضرورتاً آزاد بالای یک صفحه بازتابی با استفاده از استاندارد ISO 3744: 2010 تدوین شده است.

۳ اصطلاحات و تعاریف

۳-۱

صوت

sound

نوعی از امواج مکانیکی طولی هستند که عموماً در هوا منتشر شده (اگرچه قابل انتشار در تمام محیط‌های مادی نیز می‌باشند) و در برخورد با گوش انسان، احساس شنیدن را ایجاد می‌کنند.

۲-۳

نوفه

noise

اصوات نامنظمی که ناخوشایند و ناخواسته بوده و بین دامنه‌های فشار و فرکانس آن‌ها در طول زمان رابطه معینی وجود ندارد و اغلب در طول زمان دامنه‌های تصادفی دارند و به‌همین دلیل آزاردهنده هستند.

۳-۳

آکوستیک

acoustic

علم صوت‌شناسی و یکی از شاخه‌های علم فیزیک و موضوع آن بررسی موج‌های مکانیکی در گازها، مایعات و جامدات، از جمله صوت، فراصوت و فروصوت است. کاربردهای آکوستیک متنوع است و یکی از آنها بررسی تولید و انتشار امواج صوتی در محیط‌های صنعتی و شهری و هم‌چنین مباحث کنترل صدا می‌باشد.

۴-۳

پهنا یا باند

band

محدوده‌ای از فرکانس‌ها که توسط بالاترین و پایین‌ترین فرکانس‌های موجود در آن محدوده مرزبندی می‌شود. فرکانس‌ها بر حسب هرتز اندازه‌گیری می‌شوند (سیکل بر ثانیه).

۵-۳

توان صوت

sound power

مقدار انرژی که در واحد زمان از یک منبع منتشر می‌شود و معمولاً بر حسب وات (w) اندازه‌گیری می‌شود.

۶-۳

شدت صوت

sound intensity

مقدار انرژی صوت در محیط انتشار که از واحد سطح عبور می‌کند و واحد اندازه‌گیری آن وات بر مترمربع (w/m^2) است.

۷-۳

فشار صوت

sound pressure

نیروی وارد بر سطح ناشی از انرژی صوت در محل دریافت‌کننده است و با واحد حسب پاسکال $Pa(N/m^2)$ در سیستم MKS و میکروبار $\mu bar\ (din/cm^2)$ در سیستم CGS اندازه‌گیری می‌شود.

۸-۳

تراز صوت

sound level

نسبت مقادیر فیزیکی اندازه‌گیری صوت به مقادیر مبنا را گویند. مقادیر مبنا بر اساس آستانه شنوایی انسان

تعیین شده است. به‌همین منظور مقادیر لگاریتمی تراز برای توان، شدت و فشار صوت تعریف شده است که با واحد دسی‌بل معرفی می‌شود.

۹-۳

دسی‌بل
dB

decibel
یک واحد لگاریتمی که برای بیان مقادیر اندازه‌گیری تولید و انتشار صوت به‌کار می‌رود. یک دسی‌بل، یک دهم بل است.

۱۰-۳

تراز توان صوت
L_W

sound power level
لگاریتمی از نسبت توان صوت منبع بر حسب وات (w) بر توان صوت مرجع (w_0) است که مقدار توان مرجع برابر با $w\ ^{-۱۲}$ ۱۰ است. واحد تراز توان صوت دسی‌بل می‌باشد. رابطه تراز توان صوت به‌صورت زیر است:

$$Lw = 10\ Log\ \frac{W}{W_0} = 10\ Log\ w+120$$

۱۱-۳

تراز نشر صوتی منبع

emission level
به میزان انتشار انرژی صوت توسط هر منبع واحد گفته می‌شود.

۱۲-۳

تراز شدت صوت
L_I

sound intensity level
به تراز انرژی صوت در میدان انتشار گفته می‌شود.

۱۳-۳

تراز فشار صوت
Lp

sound pressure level
لگاریتم نسبت فشار صوت منبع در محل دریافت‌کننده بر حسب پاسکال ($Pa= N/m^2$) بر فشار صوت مرجع (P_0) می‌باشد که مقدار فشار مرجع برابر $2 \times 10^{-5}\ \frac{N}{m^2}$. واحد تراز فشار صوت دسی‌بل است. رابطه تراز فشار صوت از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Lp = 20\ Log\ \frac{p}{p_0} = 20LogP+94$$

۱۴-۳

صوت پیوسته

continuous sound

یک ویژگی صوت است به شکلی که انتشار اصوات در محیط اغلب در طول زمان به‌صورت دامنه‌های متغیر ولی پیوسته است.

۱۵-۳

صوت یکنواخت

steady noise

به صوتی که نوسانات و تغییرات فشار صوت آن در یک دستگاه ترازسنج صوت بیشتر از ۵ دسی‌بل نباشد، گفته می‌شود.

۱۶-۳

ترازسنج صوت

sound level meter

دستگاهی که برای سنجش صوت هوایی به‌کار می‌رود و معمولاً برای اندازه‌گیری متناظر صدای دریافتی در محل شنونده استفاده می‌شود.

۱۷-۳

صوت متغیر با زمان

fluctuation sound

به صوتی که نوسانات و تغییرات فشار صوت آن در یک دستگاه ترازسنج صوت بین ۵ دسی‌بل تا ۱۵ دسی‌بل باشد، گفته می‌شود.

۱۸-۳

اصوات منقطع یا نوبتی

intermittent sound

در صورتی که تراز صدا چندین مرتبه به‌طور ناگهانی تا حد تراز صدای زمینه کاهش یابد یا تغییرات تراز فشار صوت بیشتر از ۱۵ دسی‌بل در طول زمان باشد، در گروه اصوات منقطع یا نوبتی طبقه‌بندی می‌شود.

۱۹-۳

اصوات ضربه‌ای و کوبه‌ای

impulsive/impact sound

هنگامی که صوت دارای بی‌نظمی‌های برجسته‌ای باشد مانند ضربات شدید، سقوط اشیا از ارتفاع زیاد، صدای شلیک گلوله، انفجار گلوله‌های خمپاره و یا اگر صدا تنها برای لحظات بسیار کوتاهی ایجاد شود، در این صورت در گروه اصوات ضربه‌ای یا کوبه‌ای طبقه‌بندی می‌شود. اصوات ضربه‌ای بدون پس‌موج و اغلب در فضای باز ایجاد و منتشر می‌شوند ولی اصوات کوبه‌ای دارای چندین پس‌موج هستند.

۲۰-۳

دستگاه

machine

هرگونه منبع صدا (مانند تجهیزات صنعتی) که خصوصیات آکوستیکی و صوتی آن مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرد.

۲۱-۳

اصوات با باند پهن

wide band sound

در این گروه اصوات، حداکثر انرژی صوتی در یک پهنه وسیع از بیناب فرکانس منتشر می‌شود. مانند صدای یک کمپرسور یا فن.

۲۲-۳

اصوات با باند باریک

narrow band noise

در این گروه اصوات، حداکثر انرژی صوتی یا فشار صوتی در یک پهنه محدودی از فرکانس منتشر می‌شود. مثل زنگ اخبار، بوق و نازل خروج سیال.

۲۳-۳

اکتاوباند

octave bands

بیناب صوتی شامل پهنه ۲۰ Hz تا ۲۰۰۰۰Hz است، برای سهولت در ارزیابی و تجزیه فرکانسی صوت، این بیناب را به باندهایی تقسیم نموده‌اند و فرکانس مرکزی هر باند را به‌عنوان شاخص آن باند مور بررسی قرار می‌دهند. معمولاً در مطالعات صدا از تقسیم‌بندی یک اکتاوباند و یک سوم اکتاوباند استفاده می‌شود. یک باند فرکانسی زمانی یک اکتاو نامیده می‌شود که فرکانس حد بالای آن (F_2) دو برابر فرکانس حد پایین آن (F_1) باشد.

۲۴-۳

فرکانس غالب

dominant frequency

به فرکانسی گویند که بیشترین تراز فشار صوت را در طیف اکتاوباند دارد.

۲۵-۳

سطح مرجع

reference surface

برای اندازه‌گیری غیرمستقیم توان صوت منبع یک شکل سه بعدی مانند مکعب مستطیل فرضی در اطراف منبع صوتی مشخص می‌شود که آن را در برگرفته و تا سطح زمین ادامه دارد. تراز فشار یا تراز شدت صوت

منبع در نقاط معینی از روی این سطح اندازه‌گیری و طبق محاسبات مخصوصی تراز توان صوتی منبع تعیین می‌شود. (به مراجع [8] و [13] کتابنامه مراجعه شود)

۲۶-۳

کنترل نوفه

noise control

اگر مقادیر توان صوت منبع یا تراز فشار صوت در محل دریافت‌کننده از حدود مجاز فراتر رود، باید اقدامات کنترل نوفه انجام شود. منظور از کنترل نوفه، کنترل فنی آن است.

۲۷-۳

کنترل صدا در منبع

source treatment

بهترین راه حل برای کنترل صدا، اعمال مداخلاتی است که منجر به کاهش انرژی صوتی تولیدشده توسط منبع شود. اصلاح و بهبود فناوری، نصب کاهش‌دهنده‌های صدا و اتاقک‌سازی از جمله این روش‌ها است.

۲۸-۳

کنترل صدا در مسیر انتشار صوت

path treatment

یک مرحله در سلسله مراتب کنترل صدا تعیین روش‌هایی برای کنترل مسیر انتشار صوت است. کنترل‌های مسیر انتشار صوت معمولاً شامل اضافه کردن مواد جاذب صوت روی سطوح بازتابشی، استفاده از مانع‌ها و عایق‌ها می‌باشد.

۲۹-۳

افت انتقال صدا

TL

sound transmission loss

به میزان عایق‌بندی صوتی یک مانع گفته می‌شود که به‌واسطه آن انرژی صوت در حین عبور از آن کاهش می‌یابد. افت انتقال نظری صدا با رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$TL = 20\text{Log } fw - 47.5$$

که در آن:

f فرکانس موج صوتی، برحسب هرتز؛

w چگالی سطحی مانع (عایق)، برحسب کیلوگرم بر مترمربع.

افت عملیاتی هر عایق صوتی وابسته به میزان نشت صدا ناشی از درزها و شکاف‌های عایق صوتی می‌باشد. به‌طور مثال اگر نسبت درز یا شکاف یک دیواره عایق ٪ ۱ باشد، در هر صورت افت انتقال آن بیشتر از ۲۰ دسی‌بل می‌شود.

۳-۳۰

افت نسبی/الحاقی انتقال صوت

IL

insertion loss

به اختلاف تراز فشار صوتی در یک نقطه معین قبل و بعد از نصب تجهیزات گفته می‌شود که از واژه IL استفاده می‌شود. هم‌چنین برای برخی تجهیزات کاهش صدا نیز از این شاخص استفاده می‌شود.

۳-۳۱

جمع‌آوری داده

data acquisition

به فرایند دیجیتال کردن داده‌هایی که از محیط اطراف به‌دست می‌آیند گفته می‌شود. این کار به‌گونه‌ای انجام می‌شود که بتوان داده‌ها را نمایش داد، تحلیل و ذخیره کرد.

۳-۳۲

ارتعاش

vibration

حرکت نوسانی یا دوره‌ای یک جسم سخت یا کشسان حول نقطه تعادل خود را ارتعاش گویند. واحدهای اندازه‌گیری دامنه ارتعاش شامل جابه‌جایی X /d ، سرعت V و شتاب A است. برای بیان مقادیر دامنه ارتعاش از واحدهای لگاریتمی (تراز جابه‌جایی، تراز سرعت و تراز شتاب همانند صوت) که بیان‌کننده تراز مقایر فوق است نیز استفاده می‌شود. معمولاً برای ارزیابی اثرات ارتعاش از دامنه شتاب و برای کنترل آن از دامنه جابه‌جایی استفاده می‌شود. دامنه جابه‌جایی بر حسب متر (m) و دامنه شتاب بر حسب متر بر مجذور ثانیه (m/s^2) بیان و اندازه‌گیری می‌شود.

۳-۳۳

ارتعاش ضربه‌ای

impulsive vibration

امواج ضربه‌ای ناشی از ابزارها و دستگاه‌های مختلفی است که موج‌های ارتعاشی مجزا و ضربه‌ای با فرکانس بالا و زمان تناوب کوتاه دارند. این امواج به‌دلیل ضربه‌های مکانیکی و فیزیکی صدمه رسانی قابل ملاحظه‌ای دارند.

۳-۳۴

ارتعاش آزاد

free vibration

در صورتی که نیروی ارتعاش محیط درونی باشد، ارتعاش را آزاد گویند.

۳۵-۳

ارتعاش واداشته

forced vibration

ارتعاش واداشته در محیط‌های مکانیکی یا بیولوژیکی در اثر اعمال یک سامانه ارتعاشی مهاجم ایجاد می‌شود و می‌تواند سبب اختلال یا حتی تخریب در عملکرد محیط پذیرنده ارتعاش شود.

۳۶-۳

کنترل ارتعاش

vibration control

عبارت از تمام اقدامات فنی در منبع تولید ارتعاش یا محیط انتشاری است که سبب کاهش دامنه ارتعاش شود.

۴ کنترل صدای شغلی در صنعت

تعیین کنترل‌های صدا اولین مرحله کنترلی در برابر مواجهه بیش از حد با صدا است. برای دستیابی به اهداف مورد نظر، لحاظ نمودن حدود مجاز صدا برای مناطق داخل و خارج تأسیسات الزامی است. در این خصوص، ارزیابی و اظهارنظر در مورد تعیین حدود مجاز صدا با توجه به الزامات کمیته فنی بهداشت حرفه‌ای کشور صورت می‌گیرد. حدود مذکور باید برای تمامی شرایط عملیاتی مختلف در فاز طراحی فرایند یا راه‌اندازی، توقف، بازسازی، تعمیر و نگهداری در نظر گرفته شود (به پیوست **الف** بند الف- ۱-۳-۱ مراجعه شود).

۴-۱ تعیین منابع اصلی هدف کنترل صدا

انتشار صدا در محیط‌های بسته، تابع ویژگی‌های منابع صوتی و خصوصیات سطوح داخل بنا می‌باشد. در محیط‌های پربازتابش، اثر فاصله از منبع در پیش‌بینی تراز فشار صوت کاهش می‌یابد. در فضاهای باز، اثر بازتابشی سطوح، محدود نمی‌شود، اما اثر فاصله نمایان‌تر است. در هر صورت شناخت خصوصیات منابع صوتی و مدل‌های محاسباتی برای پیش‌بینی تراز نشر صوتی آنها همواره می‌تواند در ارزیابی و کنترل صدا نقش مهمی داشته باشد. مهمترین تجهیزات صنعتی که مولدهای اصلی صدا هستند شامل آسیاب‌ها، خردکننده‌ها، میکسرها، پرس‌های ضربه‌ای، دستگاه‌های پنوماتیک، مشعل‌ها، فن‌ها و بلوئرها، کمپرسورها، پمپ‌ها، موتورهای درون‌سوز، توربین‌ها، موتورهای الکتریکی و جت‌های سیال گاز و بخار هستند.

۴-۲ تعیین محدوده‌های هدف کنترل صدا

مرز محدوده‌های خطر باید بر اساس طول زمان مواجهه کارکنان با صدا در طول ۸ ساعت در هر شیفت کاری تعیین و برای کنترل مواجهه کارکنان، توقف و تردد در این نواحی محدود شود. هم‌چنین لازم است بررسی‌های جامع و دقیقی در این محدوده‌ها انجام شود.

۴-۳ تعیین گروه‌های شغلی هدف کنترل صدا

مواجهات صوتی روزانه و هفتگی کارکنان با امواج صوتی باید موردبررسی قرار گرفته و ارزیابی در مقایسه با حد مجاز و حد اقدام تعیین شده در مقررات صوتی (پیوست **الف**؛ بند الف-۱-۳-۱) انجام شود. برخی وظایف یا فعالیت‌های خاص ممکن است مواجهه صوتی بسیار بالایی داشته اما به‌ندرت انجام شوند. به هر صورت، تصمیم‌گیری در خصوص کاهش ریسک مواجهه به پایین‌ترین سطح عملی با تدوین یک برنامه عملیاتی برای کنترل خطرات ضروری می‌باشد. لازم به ذکر است که ارزیابی مواجهه با صدا شامل ارزیابی روزانه است و تغییرات مواجهه در طول هفته یا دوره‌های زمانی دیگر، مجوزی برای افزایش مواجهه نیست. تنها یک مورد استثنا وجود دارد و آن این است که اگر فرد به‌صورت موردی یک روز با صدای بیش از حد مجاز مواجهه داشته باشد، این مواجهه می‌تواند تا ٪۳۰۰ دوز دریافتی بوده اما مواجهه کل هفته وی نباید از ٪ ۵۰۰ دوز فراتر رود.

۴-۴ قواعد مشترک در طرح‌های کنترل صدا

تصمیم‌گیری در خصوص کنترل صدا یک فرایند است که نیاز به مستندسازی و رعایت الگوریتم مشخص دارد. از جمله قواعد مشترکی که عموماً در طرح کنترل صدا باید رعایت شود به‌شرح زیر است:

الف- اندازه‌گیری تراز کلی فشار صوت و تعیین تراز معادل مواجهه کارکنان و میزان ترازی که باید کاهش یابد؛

ب- آنالیز فرکانس صدا در شبکه خطی به‌منظور تعیین فرکانس غالب؛

پ- مشاهده و بررسی دقیق محل مورد نظر و مصاحبه با افراد مطلع و بررسی شکایت اصلی؛

ت- امکان‌سنجی انواع روش‌های کنترل صدا و اولویت‌بندی راه‌حل‌های ممکن و برآورد اجمالی قابلیت اجرایی و میزان اثربخشی آنها؛

ث- انتخاب روش اصلی کنترل صدا از بین راه‌حل‌های ممکن با همفکری کارفرما و مسئولین فنی؛

ج- ارائه طرح مفهومی روش کنترل فنی و الزامات آن به کارفرما و دریافت نظرات؛

چ- طراحی فنی مشتمل بر محاسبات کنترل و میزان اثربخشی آن به‌همراه نقشه‌ها و راهنمای فنی اجرای طرح؛

ح- نظارت بر اجرای طرح؛

خ- ارزیابی نتایج و تهیه گزارش طرح.

۴-۵ اولویت‌بندی طرح‌های کنترل صدا

از دیدگاه مدیریت صدا با توجه به محدود بودن منابع مالی و گاه محدود بودن زمان، نیاز به تعیین اولویت برای اجرای طرح‌های کنترل صدا بوده و شاخص اولویت کنترل صدا (NCPI)[1] یک ابزار مهم جهت رتبه‌بندی واحدهای مختلف یک مجموعه از نظر آلودگی و تعیین اولویت کنترل صدا می‌باشد. در تدوین این شاخص با توجه به نتایج اندازه‌گیری صدا در واحد شغلی با لحاظ نمودن سه شاخص تعداد کارکنان در معرض صدا، ساعت مواجهه روزانه با صدا و تراز معادل فشار صوت یک معادله محاسباتی تدوین شده است که می‌تواند بدون در نظر گرفتن ماهیت کار یا نوع وظایف شغلی، محیط‌های مورد بررسی را تعیین سطح کند و با کمک آن واحدها از نظر آلودگی صدا رتبه‌بندی می‌شوند. در این روش محدوده‌های مقادیر تراز معادل مواجهه فشار صوت به فاکتور وزنی تبدیل شده و فاکتورهای وزنی بر مبنای اثر دوز و قاعده ۳ دسی‌بل تنظیم شده‌اند که افزایش آنها به‌صورت تصاعد هندسی متناظر با تراز فشار صوت افزایش می‌یابد. معیار تبدیل تراز معادل به فاکتور وزنی در جدول ۱ آمده است.

اطلاعات مربوط به تعداد افراد در معرض مستقر در هر ناحیه مورد بررسی نیز جمع‌آوری می‌شود. در این روش برای آن دسته از افرادی که در ایستگاه ثابتی مشغول به‌کار نبوده و در طی شیفت کاری خود در چندین ایستگاه که ناحیه‌های متفاوتی از گستره تراز فشار صوت تعیین‌شده را در بر می‌گیرد تحرک داشته باشند، میانگینی از فاکتورهای وزنی متناظر با تراز فشار صوتی ایستگاه‌های کاری که در آن فعالیت می‌کنند لحاظ می‌شود. پس از انجام محاسبه شاخص براساس رابطه زیر، هر کارگاه یا واحد شغلی با شاخص NCPI خود، مطابق فرمول ۱، معرفی می‌شود به‌طوری که عدد بزرگ‌تر شاخص نشان‌دهنده خطر بالاتر آلودگی صدا در آن واحد بوده و اولویت بالاتری در اجرای طرح‌های کنترل صدا دارد و نیازمند ضرورت در اجرای راه‌کارهای کنترلی است.

$$NCPI = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i \times p_i \times t_i}{\sum PT} \qquad (۱)$$

که در آن:

w_i فاکتور وزنی متناظر با تراز فشار صوت؛

p_i تعداد افراد در معرض مستقر در هر کارگاه یا ناحیه؛

t_i زمان مواجهه افراد، برحسب ساعت؛

P مجموع تعداد افراد در کل واحدهای خط تولید هر کارگاه یا ناحیه؛

T مجموع زمان مواجهه افراد، برحسب ساعت، است.

1- Noise Control Priority Index

جدول ۱- فاکتورهای وزنی متناظر با گستره تراز فشار صوت بر مبنای اثر دوز و قاعده ۳ دسی‌بل

W_i	گستره تراز فشار صوت (dBA)		W_i	گستره تراز فشارصوت (dBA)	
	حد پایین	حد بالا		حد پایین	حد بالا
۲	۸۶٫۵	۸۹٫۵	۰٫۰۰۷۸	۶۲٫۵	۶۵٫۵
۴	۸۹٫۵	۹۲٫۵	۰٫۰۱۵۶	۶۵٫۵	۶۸٫۵
۸	۹۲٫۵	۹۵٫۵	۰٫۰۳۱۲	۶۸٫۵	۷۱٫۵
۱۶	۹۵٫۵	۹۸٫۵	۰٫۰۶۲۵	۷۱٫۵	۷۴٫۵
۳۲	۹۸٫۵	۱۰۱٫۵	۰٫۱۲۵	۷۴٫۵	۷۷٫۵
۶۴	۱۰۱٫۵	۱۰۴٫۵	۰٫۲۵	۷۷٫۵	۸۰٫۵
۱۲۸	۱۰۴٫۵	۱۰۷٫۵	۰٫۵	۸۰٫۵	۸۳٫۵
۲۵۶	۱۰۷٫۵	۱۱۰٫۵	۱	۸۳٫۵	۸۶٫۵

۴-۶ کنترل مدیریتی صدا

کنترل‌های مدیریتی، به‌عنوان یک نوع ممکن از کنترل صدا مطرح بوده که به‌طور معمول امکان کنترل از راه دور را ممکن ساخته است. از کنترل‌های مدیریتی می‌توان به کنترل‌های سازمانی، چرخشی کردن شغل، تغییر در فعالیت/ فرایند و دستگاه‌ها اشاره نمود. چرخشی کردن کارکنان و جابه‌جایی افراد در محیط‌های پر صدا با افرادی که در محیط‌های آرام‌تر کار می‌کنند به‌طور متناوب در زمان‌های به‌خصوصی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. البته بنا به مهارت‌های کاری و دستمزدهای مختلف اجرای این نوع کنترل معمول نیست. علاوه بر این، چرخش کارگر به معنی مواجهه تعداد افراد بیشتری با صدای بیش از حد مجاز می‌باشد. بنابراین، انتخاب صحیح بین مواجهه تعداد کمی کارگر برای مدت زمان طولانی و مواجهه تعداد بیشتری از کارکنان با سطوح بالای صدا برای دوره‌های زمانی کوتاه‌تر ضروری است. به‌طور کلی، باید دوره‌های زمانی استراحت در یک محیط آرام برای کارکنانی که با صدای بیش از حد مجاز، مواجهه داشتند، در نظر گرفته شود. در اجرای برنامه‌های پیشگیری مانند استفاده از تجهیزات حفاظت فردی نیز باید تلاش مستمر در امر آموزش و تضمین همکاری کارکنان صورت گیرد. توصیه می‌شود اعمال استانداردهای سخت‌گیرانه با توجه به اختلاف حساسیت مناطق اطراف نسبت به صدا در روزهای مختلف هفته و در زمان‌های مختلف در نظر گرفته شده و ترجیحاً انجام فرایندهای پر صدا برای زمان‌های کم‌حساسیت‌تر در روزهای هفته برنامه‌ریزی شود تا مدیریت بهتری صورت پذیرد.

۱-۶-۴ آموزش مبتنی بر خود مراقبتی، دیگر مراقبتی و ارتقا مهارت شغلی

لازم است همواره در محیط‌های شغلی برنامه آموزش سطح‌بندی شده (شامل رده‌های مدیریتی و کارکنان) برای آشنایی با مفاهیم مواجهه با صدا و اصول مراقبت، ارتقای مهارت، حفاظت فردی و کنترل‌های صدا برنامه‌ریزی و اجرا شود. خودمراقبتی، مراقبتی است که توسط افراد برای تأمین، حفظ و ارتقای سلامت

ایشـان انجـام و به‌عنوان مهم‌ترین شکل مراقبت بهداشتی اولیه مطرح می‌شود. انجام فعالیت‌های خودمراقبتی نیازمند یادگیری مجموعه‌ای از مهارت‌های عملی از جمله مهارت ارتباطی، کسب اطلاعات، تشخیص نیازهای فردی و هدف‌گذاری و برنامه‌ریزی و مهارت استفاده از تکنولوژی و ابزارها بوده و افرادی که مهارت خودمدیریتی دارند، به نقاط ضعف و قوت خود آشنایی دارند. این تلاش آگاهانه، رشد و توسعه فردی و ارتقا مهارت شغلی را به‌همراه دارد.

۴-۷ کنترل مهندسی صدا

۴-۷-۱ کنترل صدا در منبع

کنترل صدا باید اصولاً از طراحی دستگاه شروع شود. امـا در کـاربرد، لازم اسـت از روش‌هـا و دسـتگاه‌هـایی استفاده نمود که دارای منابع صوتی ضعیف‌تری باشند یا وسایل کنترل صدا قبلاً بر روی دستگاه نصب شـده باشند. به‌طور مثال استفاده از سامانه‌های هیدرولیکی به‌جای پنوماتیکی و ضربه‌ای در پرس‌هـا، بـه‌کـارگیری اره‌های موسوم به آب صابونی به‌جای اره‌های آتشی و استفاده از موتورهای درونسوز که روی آنها انبـاره‌هـای اگزوز بهتری نصب شده باشد، از این روش‌ها است. اگرچه شرکت‌های سازنده تمایل به ساخت دستگاه‌های با صدای کمتر دارند ولی در بسیاری موارد می‌توان صدای دسـتگاه‌هـای در حـال کـار را نیـز بـا تغییراتـی در ساختمان آنها، اصلاح چگونگی کار دستگاه، عیب‌یابی و هم‌چنین کشف علت‌هـای ایجـاد و یـا تشـدید صـدا، کنترل نمود. روش‌های اصلی کنترل صدا در منبع شامل انتخاب صحیح تجهیزات متناسب با فراینـد تولیـد، انتخاب محل و نحوه نصب صحیح تجهیزات، نگهداری صحیح تجهیـزات، کنتـرل ارتعـاش تجهیـزات، نصـب کاهش‌دهنده‌های صدا بر روی تجهیزات، تغییر در اجزا و کار تجهیزات و بهینـه‌سـازی آنهـا، محصـور کـردن تجهیزات مولد صدای زیان‌آور و استفاده از روش‌های الکتریکی و الکترونیک است.

۴-۷-۱-۱ روش‌های مبتنی بر جداسازی و اصلاح چیدمان تجهیزات و نفرات

ایزوله نمودن منابع اصلی صدا از سایر منابع با دیوارکشی نقش تعیـین‌کننـده‌ای دارد. دیوارهـای جداکننـده مذکور بهتر است دارای پوششی از مواد جاذب و لایه‌های مانع صوتی متناسب با مشخصات صوتی (تراز فشار صوت و فرکانس غالب صدا) منبع یا منابع مورد نظر باشد. محل نصب دستگاه‌ها و موقعیت قرارگیـری آن‌هـا نسبت به دیوارها از اهمیت بالایی برخوردار بوده و نصب تجهیزات در نیم‌طبقه یا طبقات و نزدیک بودن آن‌ها به سطوح بازتابشی و دیوارها همواره عامل موثر در تشدید صدا می‌باشد. در صورتی که ضرورتی نداشته باشد، برخی از مولدهای مهم صدا مانند فن‌ها، کمپرسورها و پمپ‌ها در فضای بیرون بناهای صنعتی در اتاقک‌هـای آکوستیک نصب شوند. به‌طور کلی هر چه تراکم و نزدیکی منابع صوتی در داخل بنا کمتر باشد، نتیجه بهتـر می‌شود.

۴-۷-۲ کنترل صدا در محیط انتشار

چنانچه کنترل صدا در منبع میسر نباشد، کنترل صدا در مسـیر و محـیط انتشـار دومـین گـام مـوثر بـرای جلـوگیری و انتقـال انتشـار در آن مـی‌باشـد. اصـولاً ایـن روش بـا بـه‌کـارگیری دو رویکـرد افـزایش

ضریب جذب صوت [1] در مسیر انتشار و عایق‌بندی صوتی[2] انجام می‌گیرد. اساس کار این روش کنترلی این است که از طریق افزایش ضریب جذب سطوح کارگاه، میزان صدای انعکاسی کم شده و در نتیجه صدای کلی کاهش می‌یابد. هم‌چنین با عایق‌بندی مناسب، باعث جلوگیری از افزایش مواجهه افراد دیگر بخش‌ها با صدا شود.

۴-۷-۲-۱ جداسازی مبتنی بر عایق‌بندی (موانع و دیوارها)

در بسیاری از کاربردهای عملی، بهترین کار برای مدیریت تراز فشار صوت بسیار بالا مرتبط با یک دستگاه خاص یا گروهی از دستگاه‌ها این است که، آن دستگاه یا دستگاه‌ها را از کارگر ، به‌وسیله‌ی یک تیغه یا پارتیشن آکوستیکی[3] جدا نمود. یک دیوار جداکننده، که دو اتاقی را که در یکی از اتاق‌ها دستگاه با تراز فشار صوت بسیار بالا و در دیگری دریافت‌کننده (فرد) وجود دارد، از هم جدا کرده که از انتقال صدا از یک قسمت به قسمت دیگر بنا جلوگیری می‌کند. چگالی بالا، یک‌دستی و درزبندی کامل از عناصر اساسی عایق‌های صدا هستند. عایق‌های صدا از جنس مصالح متداول بنایی یا مصالح جدید با لایه‌بندی فشرده انتخاب و متناسب با ماهیت و مشخصات صدای مورد نظر طراحی و اجرا می‌شوند.

۴-۷-۲-۲ روش‌های مبتنی بر استفاده از جاذب‌های صدا (شامل تایل‌ها و پنل‌های آکوستیکی و دیفیوزرها)

جاذب‌های صوتی یکی از روش‌های فنی مهندسی کنترل صدا به‌شمار می‌آیند. در واقع جاذب‌های صوتی مواد نرم و متخلخلی هستند که با کاهش انعکاس اصوات و میراکردن آنها منجر به کاهش و کنترل صدا می‌شوند. کارایی جذب به عواملی مانند ضخامت، چگالی، اندازه منافذ و اندازه هر الیاف بستگی دارد. امروزه انواع مختلفی از مواد جاذب صوت به‌صورت تجاری در دو نوع تایل آکوستیک و پانل آکوستیک در دسترس می‌باشد که از جمله آن می‌توان به جاذب‌های صفحه‌ای ساده و سوراخ‌دار، فوم‌های آکوستیک، جاذب‌های حجمی، جاذب‌های الیافی، دیفیوزها و غیره اشاره نمود. معیار اصلی انتخاب جاذب صوت، فرکانس غالب صدای محیط است.

۴-۷-۲-۲-۱ تایل‌ها و پانل‌های آکوستیک

مصالح متداول جاذب صوت تجاری عموماً به دو شکل تایل آکوستیک و پانل آکوستیک عرضه می‌شوند که علی‌رغم مشابهت در عملکرد، دارای ویژگی‌های متفاوت در ساخت و کاربرد هستند. تایل‌های آکوستیک از یک ورقه یک‌پارچه از مواد جاذب صوت تشکیل شده‌اند که دارای رنگ و شکل ثابت هستند و تنوع‌پذیری آنها با توجه به روش تولید محدود است. عملکرد مطلوب آنها وابسته به وجود فضای انبساطی در پشت تایل است. در صورتی که ۴۰۰ mm فضای انبساطی پشت تایل‌ها اعمال شود، بهترین راندمان جذب را دارند. پانل‌های آکوستیک بر خلاف تایل‌ها نیازی به فضای انبساطی هنگام نصب ندارند. با توجه به ضخامت زیادی

1- Sound absorption
2- Sound insulation
3- Acoustical partition.

که دارند می‌توان آنها را مستقیماً روی سطوح نصب کرد. پانل‌های آکوستیک دارای لایه‌بندی مصالح جاذب صوت هستند، بنابراین می‌توان آنها را در رنگ، جنس، شکل و لایه‌بندی متنوع و متفاوت تولید کرد. پانل‌های آکوستیک گران‌تر از تایل‌های آکوستیک هستند اما در مقایسه با آنها ضریب جذب صوت بالاتری دارند.

۴-۷-۲-۲-۲ دیفیوزها[1]

دیفیوزرها یا پخشاگرهای صوتی، شدت صوت را با پراکنده کردن امواج صوتی در سطح وسیع‌تر کاهش می‌دهند. اساس کار این مواد بر تداخل امواج صوتی استوار است. عملکرد آنها بر مبنای دو قاعدهٔ مهم در فیزیک است:

۱- قانون یکم شامل پراکنده نمودن امواج برخوردی در اثر ناصافی صوتی و تصادفی شدن مسیر امواج بازتابشی نسبت به امواج تابشی به سطح دیواره و کاهش تداخل تشدیدی.

۲- قانون دوم مربوط به دیفیوزرهای هندسی هرمی و چهارگوش است که با انجام تداخل تخریبی سبب کاهش انرژی صوتی می‌شوند.

۴-۷-۳ کنترل صدا در محل دریافت‌کننده

کنترل صدا در محل دریافت‌کننده از طریق طراحی و ساخت محفظه‌های سربسته (پناهگاه‌های صوتی)[2] به‌منظور استقرار کاربر در آن صورت می‌گیرد و یکی از آخرین مراحل کنترل فنی- مهندسی صدا می‌باشد. در صورتی‌که امکان اجرای کنترل در منبع و یا مسیر انتشار وجود نداشته باشد و نیز برای دستیابی به نتیجهٔ بهتر در مکان‌هایی که لزوم کنترل در مجاورت دستگاه محرز نیست و هم‌چنین در مواردی که فرایند کار می‌تواند از فاصله دورتری هدایت شود و یا افراد تنها گه‌گاهی در مناطق پر صدا حضور می‌یابند، می‌توان از اتاقک‌های کنترل استفاده کرد. اتاق‌های کنترل و اتاق‌های استراحت صوتی در صنایع یکی از مثال‌های بارز این روش است. در عمل می‌توان با احداث یا تجهیز اتاق‌هایی برای کارکنان که نظارت آنان را برای فرایند محدود نکند، اتاق‌هایی را با مصالح بنایی یا مصالح فشرده طراحی و اجرا نمود که بیش از ۳۰ دسی‌بل برای آنان حفاظت ایجاد کند. این اتاق‌ها باید شرایط آسایشی، فیزیولوژیک و ایمنی استفاده‌کنندگان را فراهم کند، به‌گونه‌ای کلیهٔ لوازم و ابزار کنترل فرایند شامل اندازه مناسب (اندازه کافی برای کارکنان و وظایف شغلی بزرگ)، تهویه کافی، روشنایی مناسب، صندلی ارگونومیکی، درزبندی مناسب درب و پنجره، درهای خود بسته شونده، پنجره‌های با شیشهٔ دوجداره صوتی، عایق ارتعاشی از کف برای کاهش انتشار صدا ناشی از سازه در آن پیش‌بینی شده باشد. آنچه که در مورد اتاقک‌سازی مهم می‌باشد. این است که باید برای رسیدن به نتیجه مطلوب درزگیری به‌طور کامل انجام شود. کوچک‌ترین درز یا روزنه می‌تواند کل اقدامات کنترل را تحت‌الشعاع قرار دهد. به‌همین دلیل و با توجه به اهمیت موضوع، باید جداره‌های محفظه و محل‌های عبور کابل‌های برق و درها و سایر پنجره‌ها کاملاً درزبندی شوند.

1- Diffuser
2- Enclosures

۴-۷-۳-۱ محفظه‌های صوتی کامل و ناقص

محفظه‌های صوتی در دو شکل کامل و ناقص طراحی می‌شوند. در صورتی که نیاز به کاهش صدای بیشتر داشته باشیم از محفظه صوتی کامل استفاده می‌کنیم. در شرایطی که نمی‌توان به‌طور کامل دسترسی به فضای موردنظر را محدود کرد از محفظه صوتی ناقص استفاده می‌شود. به‌منظور تعیین نوع محفظه و نیز اتاقک‌سازی ابتدا لازم است اندازه‌گیری دقیقی از صدای محیط به‌همراه آنالیز فرکانس یک اکتاوباند در شبکه وزنی خطی انجام شود. در طراحی محفظه‌های صوتی دو عنصر تراز فشار صوتی که باید کاهش یابد و فرکانس غالب صوت حائز اهمیت هستند.

از معایب محصورسازی به‌ویژه نوع کامل آن می‌توان به مشکل افزایش گرما اشاره کرد. این معضل را می‌توان با افزودن یک دمنده تهویه رفع کرد. برای رسیدن به نتیجه مطلوب در اتاقک‌سازی باید درزبندی مناسب و کامل انجام گیرد. وجود هر گونه درز یا روزنه تمام طراحی و اقدامات کنترلی را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد که بر میزان کاهش صدا تاثیر می‌گذارد.

ساخت اتاقک‌های آکوستیک از نظر مصالح، اصولاً به دو گروه اتاقک‌های با مصالح بنایی و مصالح فشرده تقسیم می‌شوند که هریک دارای مزایا و معایبی هستند. به‌طورکلی برای مکان‌هایی که فضا و تمیزکاری هنگام اجرا اهمیت بیشتری داشته باشد، از مصالح با لایه‌بندی فشرده استفاده می‌شود.

در طراحی اتاقک اولین رکن مهم مقاومت سازه در مقابل صدمات و ضربات و تنش‌های احتمالی است، بنابراین لازم است اصول مکانیکی سازه رعایت شود. اتاقک‌ها باید همواره دارای فونداسیون مناسب باشند و در صورت لزوم از اتصالات میراکننده ارتعاش در اتصال سازه اتاق به فونداسیون استفاده شود. سایر موارد مانند مقاومت در برابر حریق، عدم سمیت مصالح و رعایت نکات زیبایی‌شناسی و معماری نیز ضروری است. محفظه صوتی برای کارکنان با استقرار دائم باید دارای حداقل حجم فضای ۱۲مترمربع به ازای هر نفر بوده و ۲۰ فوت مکعب در دقیقه هوای تازه شرایط‌سازی شده در نظر گرفته شود. وجود پنجره به تعداد و ابعاد مناسب، درب تردد اصلی و خروج اضطراری، روشنایی متناسب، سامانه هشدار[1] حریق ضروری است.

۴-۸ وسایل حفاظت شنوایی[2]

یکی دیگر و به‌عنوان آخرین راه‌حل برای کنترل صدا در گیرنده، استفاده از وسایل حفاظت شنوایی می‌باشد. حفاظت فردی از دستگاه شنوایی همواره به‌عنوان راه‌حل کمکی یا موقت توأم با موفقیت مطرح شده‌است. این تکنیک ترجیحاً برای ساعاتی که کارگر با بیشترین تراز فشار مواجهه داشته و یا در زمانی‌که دستگاه‌های کنترل صدا به‌طور موقت از کارافتاده‌اند، مجاز به‌حساب می‌آید. حفاظ‌های شنوایی شامل حفاظ روگوشی[3]، حفاظ توگوشی[4]، مواد شکل‌پذیر، قالب گوش[5] و کلاه محافظ[1] می‌باشند.

---

1 - Alarm
2- Hearing protective devices
3- Ear Muff
4- Ear Plug
5- Ear Mold

۴-۸-۱ انواع حفاظ‌های شنوایی و معیارهای انتخاب آنها

۱- حفاظ رو گوشی: روی لالهٔ گوش را به‌طور کامل می‌پوشاند. فقط قادر به کنترل صدای هوایی می‌باشد و صدای منتقل‌شده از راه استخوان جمجمه را کنترل نمی‌کند. کیفیت آنها بسیار مهم است.

۲- حفاظ تو گوشی: یک جسم نرم (فوم، سیلیکون یا لاستیک) قابل اتساع یا ارتجاع می‌باشد که در داخل مجرای گوش قرار می‌گیرد. رعایت بهداشت فردی و نحوه استفاده مهم است.

۳- مواد شکل‌پذیر: به‌صورت الیاف یا مواد نرم یک‌بار مصرف می‌باشند. رعایت نظافت در استفاده از آنها مهم است.

۴- قالب گوش: پس از انجام قالب‌گیری مجرای شنوایی، متناسب با شکل مجرا از مواد مقاوم در برابر عبور صوت ساخته می‌شود.

۵- کلاه محافظ: برای مشاغلی که امکان بروز صدمات مکانیکی بر سر وجود دارد و نیز برای کنترل صوت BC و حفاظت بافت مغز در برابر صدمات موج صوتی مناسب است؛ مثل کلاه خلبان‌ها.

۶- حفاظ توأم: استفاده همزمان از حفاظ تو گوشی و رو گوشی است. به‌صورت موقت مورد استفاده قرار می‌گیرد و حفاظت بیشتری ایجاد می‌کند.

جدول ۲ انواع اصلی حفاظ‌های شنوایی، مزایا و معایب آنها، نحوه مراقبت و نگهداری و غیره را به تفصیل شرح می‌دهد.

جدول ۲- انواع حفاظ‌های شنوایی: مزایا، نکاتی در مورد تناسب و استفاده از آن‌ها، مراقبت و تعمیر و نگهداری

نوع	شرح	مزایا	نکاتی در مورد تناسب و استفاده از آن‌ها	مراقبت، تعمیر و نگهداری
حفاظ روگوشی	کاپ‌های پلاستیکی سخت که روی گوش‌ها قرار می‌گیرند و اطراف آن‌ها را احاطه می‌کنند و با بالشتکی از یک فوم پلاستیکی نرم یا مایع چسبناک درزبندی می‌شوند. سطوح داخلی کاپ‌ها با مواد جاذب صدا، پوشیده شده است.	جاسازی و استفاده آسان. سهولت نظارت بر استفاده توسط افراد	ممکن است در شرایط گرم ناراحت‌کننده باشد. ممکن است برای استفاده با عینک ایمنی و سایر اشکال PPE مناسب نباشد (سازگاری را بررسی کنید). موهای بلند، کلاه‌های پشمی، ریش و جواهرات ممکن است با درزبندی آن تداخل داشته باشند و حافظت آن را کاهش	درزبندی را از نظر تمیزی، سخت‌شدن، پارگی و تغییر دادن بررسی کنید. وضعیت کاپ را از لحاظ ترک، سوراخ، آسیب و ... بررسی کنید. از خم‌کردن یا چرخاندن بیش از حد هدبند، که ممکن است عملکرد آن

1- Protective helmet

نوع	شرح	مزایا	نکاتی در مورد تناسب و استفاده از آن‌ها	مراقبت، تعمیر و نگهداری
	در طیف وسیعی از اندازه‌ها موجود است.		دهند.	را کاهش دهد خودداری کنید. در محیط تمیز نگهداری شود. دستورالعمل‌های تولیدکننده را دنبال کنید
حفاظ روگوشی نصب‌شده روی کلاه 	کاپ‌های مجزا که معمولاً با بازوهای قابل تنظیم به کلاه ایمنی متصل می‌شوند. اطلاعات مربوط به حفاظت صدا باید برای ترکیب خاصی از ایرماف و هلمت به‌دست آید.	می‌تواند بر مشکلات ناشی از سازگاری با کلاه‌های سخت غلبه کند.	ممکن است برای استفاده با عینک ایمنی و سایر اشکال PPE مناسب نباشد (سازگاری را بررسی کنید). عملکرد خوب بستگی به ترکیب مناسب کلاه/ ایرماف و تناسب آن با اندازه سر دارد ممکن است در شرایط گرم ناراحت‌کننده باشد. موهای بلند، کلاه‌های پشمی، ریش و جواهرات ممکن است با درزبندی آن تداخل داشته باشند و حافظت آن را کاهش دهند.	درزبندی را از نظر تمیزی، سخت‌شدن، پارگی و تغییر دادن بررسی کنید.
حفاظ توگوشی 	حفاظ توگوشی در گوش قرار می‌گیرند یا مجرای گوش را می‌پوشانند. برای جلوگیری از گم‌شدن به یک بند متصل هستند. برخی از این حفاظ‌ها قابلیت استفاده مجدد دارند و برخی دیگر پس از یک‌بار استفاده باید دور ریخته شوند. در شکل‌های مختلف (پیش شکل، قابل شکل-دادن توسط کاربر) و اندازه‌های مختلف	اغلب برای استفاده با عینک ایمنی و سایر اشکال PPE مناسب است.	فیت‌کردن آن‌ها در گوش گاهی دشوار است- فقط زمانی موثر است که به-درستی در گوش فیت شوند، بنابراین نصب صحیح ضروری است. دستورالعمل‌های سازنده را ببینید و آموزش‌های لازم را ارائه دهید. بررسی فیت کردن صحیح آن‌ها در گوش با مشاهده کردن مشکل است. در طول زمان کاری ممکن است در گوش شل شوند، بنابراین بررسی کنید و در	حفاظ‌های قابل استفاده مجدد را به‌طور مرتب تمیز کنید و مطمئن شوید که آسیب یا خراب نشده‌اند- دستورالعمل‌های سازنده را دنبال کنید. حفاظ‌های یکبار مصرف فقط یک بار باید استفاده شود. هنگام وارد کردن ایرپلاگ در گوش دست ها باید تمیز باشند. حفاظ‌های قابل استفاده مجدد باید فقط توسط

نوع	شرح	مزایا	نکاتی در مورد تناسب و استفاده از آن‌ها	مراقبت، تعمیر و نگهداری
	موجود است.		صورت مشکل آن‌ها را دوباره در محیطی کم صدا در گوش فیت کنید. در جاهایی که محافظ شنوایی اغلب زیاد از گوش برداشته می‌شود، به‌خصوص در محیط‌های پر گرد و غبار یا کثیف، ممکن است مناسب نباشد. ممکن است به‌دلیل شرایط پزشکی برای افراد خاصی مناسب نباشد. نظارت بر استفاده آنها توسط افراد مشکل است.	یک شخص استفاده شود و به‌صورت اشتراکی با دیگران استفاده نشود. از عرضه کافی حفاظ-های توگوشی یکبار مصرف اطمینان حاصل کنید. دستورالعمل‌های سازنده را دنبال کنید.
حفاظ‌های توگوشی (قالب گوش) 	حفاظ‌های توگوشی که از موادی مانند لاستیک سیلیکونی ساخته شده‌اند و به‌صورت فردی برای گوش‌های آن فرد قالب‌گیری می‌شوند.	برای برخی از کاربران ممکن است نصب آن‌ها نسبت به سایر انواع حفاظ آسان‌تر باشد، و از این رو ممکن است محافظت بیشتری را فراهم کند. راحتی افراد	قبل از اینکه فرد از این حفاظ خود استفاده کند، مطمئن شوید که قالب سفارشی مناسب است. اگر ساخت و نصب اولیه آن به‌درستی انجام نشود، عملکرد ضعیفی دارد.	همانند حفاظ‌های توگوشی

۴-۸-۲ عوامل موثر بر انتخاب حفاظ‌های شنوایی

الف- تناسب با کار در حال استفاده؛

ب- میزان کاهش صدا[1]؛

پ- سازگاری با سایر تجهیزات ایمنی؛

ت- الگوی مواجهه صوتی؛

1- Noise attenuation

ث- نیاز به برقراری ارتباط و شنیدن اصوات هشداردهنده؛

ج- تناسب ابعاد و اندازه‌ها با ابعاد ارگونومیک سر؛

چ- هزینه تعمیر و نگهداری یا تعویض؛

ح- راحتی و ترجیح کاربر؛

خ- سهولت استفاده/ سهولت نصب؛

د- سهولت نظارت بر استفاده (صحیح) از آنها؛

ذ- عوامل محیطی مانند گرما، رطوبت، گرد و غبار و کثیفی؛

ر- هرگونه مشکل پزشکی که ممکن است کاربر داشته باشد.

۴-۸-۳ اطلاعاتی در مورد وسایل حفاظت شنوایی برای کارکنان

وسایل حفاظت شنوایی تنها زمانی مؤثر خواهند بود که به‌درستی استفاده و فیت یا نصب شوند. بنابراین باید به کاربران نحوه استفاده صحیح و نصب (فیت) آموزش‌هایی شامل موارد ذیل داده شود:

الف- چرا برای آن‌ها محافظ شنوایی فراهم می‌شود؛

ب- کجا و چه زمانی باید از آنها استفاده شود؛

پ- چگونگی تداخل ایجادشده توسط موهای بلند، کلاه‌های پشمی، عینک و گوشواره بر اثربخشی محافظ شنوایی آنها؛

ت- در صورت لزوم، چگونگی پوشیدن محافظ شنوایی در ترکیب با سایر تجهیزات حفاظت فردی؛

ث- اهمیت استفاده از محافظ شنوایی خود در تمام اوقات در یک محیط پر صدا؛

ج- چگونگی نگهداری صحیح از وسایل حفاظت شنوایی فردی؛

چ- نحوه مراقبت و بررسی محافظ شنوایی در فواصل زمانی مکرر؛

ح- تعیین مکان گزارش آسیب‌دیدگی محافظ شنوایی آنها؛

خ- چگونگی تهیه جایگزین یا محافظ‌های جدید.

۴-۸-۴ نظارت‌های بهداشتی برای پیشگیری از آسیب شنوایی

کارفرما مسئولیت انجام نظارت‌های بهداشتی مناسب را برای پیشگیری از آسیب شنوایی دارد. نظارت بهداشتی (از جمله بررسی شنوایی) باید برای همه کارکنانی که مواجهه صوتی منظم و مکرر بالاتر از حد

مراقبت قانونی یا در معرض ریسک افت شنوایی ناشی از صدا NIHL [1] قرار دارند انجام شود. نظارت بهداشتی برنامه‌ای شامل معاینات دوره‌ای و مناسب است که توسط افراد ذی‌صلاح انجام و تفسیر می‌شود تا علائم و نشانه‌های اولیه بیماری ناشی از کار را شناسایی کند و اقداماتی برای جلوگیری از پیشرفت آن و محافظت از سایر کارکنان پیشنهاد شود. نظارت بهداشتی برای NIHL شامل موارد زیر است:

الف- بررسی منظم شنوایی (تست شنوایی‌سنجی) برای اندازه‌گیری حساسیت شنوایی در طیف وسیعی از فرکانس‌های صوتی در بازه‌های زمانی حداکثر سالانه؛

ب- اطلاع‌رسانی به کارکنان در مورد وضعیت شنوایی آنها؛

پ- نگهداری سوابق بهداشتی؛

ت- اطلاع‌رسانی به کارفرمایان از یافته‌های مهم از نظر تناسب شغلی برای افراد؛

ث- تأکید بر اهمیت برنامه‌های کنترل صدا و حفاظت شنوایی در محل کار.

۴-۸-۵ روش‌های تعیین کارایی حفاظ‌های شنوایی

۱- روش محاسبات اجمالی: این محاسبات برمبنای راهنماهای منتشره توسط OSHA [2] برای مواجهه با صدای باند پهن کاربرد دارد. براساس این معیار از مقادیر افت انتقال عملیاتی درج‌شده NRR (دارای تاییدیه معتبر) درکاتالوگ حفاظ ۷ واحد دسی‌بل کسر و باقیمانده تقسیم بر دو می‌شود. به‌طور مثال اگر NRR=24 dB باشد، برآورد سرانگشتی کاهش عملیاتی صدا توسط این حفاظ برای صدای باند پهن ۸٫۵ دسی‌بل است.

۲- روش محاسباتی: شامل روش‌های مختلفی از جمله: روش محاسبات اکتاوباند و روش نسبت کاهش صدا (NRR) می‌باشد؛ در این روش‌ها ابتدا نتایج آنالیز فرکانس در شبکه‌های وزنی مرتبط انجام و با جدول مندرج در کاتالوگ معتبر حفاظ شنوایی مقایسه و پس از انجام محاسبات مربوطه، برآوردی از میزان کاهش صدای ناشی از این حفاظ انجام می‌شود. روش‌های ۱ و ۲ دقیق نیست و فقط شامل تخمین و برآورد است.

۳- روش آزمون عملی: شامل روش‌های دوزیمتری داخل گوش، تست با مانداقزار (فیکسچر) و تست با مانکن است. در این روش‌ها میزان دریافت صدا قبل و بعد از نصب حفاظ شنوایی روی گوش فرد یا روی وسیله تست حفاظ شنوایی در محل کار یا در محل آزمایشگاه با صدای شبیه‌سازی شده مستقیماً اندازه‌گیری می‌شود و میزان افت انتقال عملیاتی حفاظ برای صدای مورد نظر تعیین می‌شود.

۴-۹ تهیه مستندات فنی مرتبط با کنترل صدا شامل نقشه‌ها، اطلاعات فنی تجهیزات و اطلاعات مربوط به نحوه نگهداری تجهیزات و اطلاعات مواجهه کارکنان با صدا

از مرحله طراحی تا مرحله نصب و بهره‌برداری، لازم است تمامی مستندات فنی مرتبط با تولید، انتشار و

1- Noise-Induced Hearing Loss
2- Occupational Safety and Health Administration

کنترل صدا و همچنین اطلاعات مربوط به تعمیرات و نگهداری تجهیزات ثبت و نگهداری شود. همچنین اطلاعات مربوط به نتایج اندازه‌گیری صدای تجهیزات، صدای محیطی و مواجهه کارکنان با صدا نگهداری شود تا امکان بهره‌برداری از آنها برای بررسی روند تغییرات، پایش وضعیت و مقایسه نتایج مداخلات وجود داشته باشد. تصمیم‌گیری در مورد محل نگهداری این اسناد با مدیریت است. اما باید نسخه‌ای از آن در واحد بهداشت، ایمنی و محیط زیست نگهداری شده باشد. این مستندات باید شامل اطلاعات مربوط به تراز توان یا تراز نشر صوتی منابع، نقشه‌های محل استقرار آنها، تاریخ نصب و نتایج تعمیرات و نگهداری ادواری، هرگونه تغییر در فناوری و ماهیت مکانیکی و عملکرد دستگاه، نتایج اندازه‌گیری صدای تجهیزات، نتایج اندازه‌گیری محیطی صدا، نتایج اندازه‌گیری موضعی صدا برای کارکنان و سایر اطلاعات مشابه باشد.

۵ روش‌های فنی کنترل صدا در صنعت

کنترل صدا زمانی در محیط کار و محیط زیست اهمیت می‌یابد که آلودگی صدا سبب آزار افراد یا تهدیدی برای سلامت آنان باشد بنابراین، کنترل صدا با هدف کنترل اثرات آن و تامین آسایش افراد می‌باشد. از دیدگاه مدیریت صدا، تصمیم‌گیری برای کنترل آن باید از زمان طراحی محیط و فرایندهای صنعتی صورت پذیرد. اجرای بسیاری از روش های کنترل صدا ساده است، اما برای اکثر آنها باید توجه ویژه‌ای به جزئیات داشته باشیم و برخی روش‌ها نیز به مهارت‌ها و دانش تخصصی نیاز دارند. اولویت‌بندی روش‌های کنترل صدا به‌شرح زیر در نظر گرفته می‌شود:

الف- حذف یا به حداقل‌رساندن خطرات ناشی مواجهه صدا؛

ب- اصلاح فرایند کاری یا تجهیزات با هدف کاهش انتشار صوت؛

پ- جایگزینی ماشین‌آلات و تجهیزات با توان صوت کمتر؛

ت- سازماندهی محیط کار و چرخش شغلی؛

ث- کنترل صدا در مسیر انتشار صوت؛

ج- کنترل صدا در محل شنونده.

با توجه به موارد اشاره شده در بالا اساساً سه رویکرد کلی کنترل صدا شامل کنترل فنی- مهندسی، مدیریتی و حفاظت فردی می‌باشد. بر طبق ضوابط کنترلی صدا، کنترل از طریق روش‌های فنی و مهندسی و سپس مدیریتی نسبت به استفاده از وسایل حفاظت شنوایی فردی اولویت دارد زیرا:

الف- کنترل صدا معمولاً مقرون به‌صرفه‌ترین راه حل برای طولانی مدت است؛

ب- کنترل صدا در منبع از تعداد زیادی افراد در محیط کار محافظت می‌کند؛

پ- وسایل حفاظت شنوایی فردی تنها از فردی که از این وسایل استفاده می‌کند محافظت نموده و در اغلب موارد نیز حفاظت مورد انتظار را برآورده نمی‌کنند.

روش‌های عمومی کنترل فنی- مهندسی به دو گروه کنترل مبتنی بر سازه[1] و کنترل فعال[2] تقسیم‌بندی می‌شوند. روش کنترل مبتنی بر سازه که براساس تشخیص مهندسین کنترل صدا به‌کار گرفته می‌شود شامل مراحل زیر می‌باشد:

الف- کنترل در مرحله طراحی؛

ب- کنترل در منبع صدا؛

پ- کنترل در مسیر و محیط انتشار صوت؛

ت- کنترل در محل دریافت (وسایل حفاظت فردی و پناهگاه‌های صوتی).

روش کنترل صدا با استفاده از سازه، شامل استفاده مصالح جاذب یا عایق صوت می‌باشد. مصالح جاذب صوت در سطوح داخلی بنا نصب می‌شود و تشدید صدا ناشی از بازتابش‌های صدا را کنترل می‌کند. عایق‌های صدا مصالحی هستند که به‌خاطر چگالی سطحی بالا، از عبور صدا از یک مکان به مکان دیگر جلوگیری می‌کنند. امروزه طیف وسیعی از مصالح جاذب و عایق صوتی در بازار وجود دارد، ولی به‌کارگیری و استفاده از آنها تابع محاسبات علمی بوده و باید توسط متخصص مربوطه انجام شود.

در روش کنترل فعال از اصوات تولید شده غیر همفاز در منابع تولید برای کنترل آن استفاده می‌شود. در این روش یک سامانه پردازشگر پیشرفته مجهز به دو میکروفون دریافت و میکروفون خطایاب ابتدا اصوات محیط را دریافت و پس از پردازش اصواتی با فاز مقابل امواج منبع صوتی توسط بلندگو منتشر می‌کنند و در نتیجه تداخل تخریبی امواج تراز فشار صوت محیط انتشار را کاهش می‌دهد. این روش برای منابع با تنوع فرکانسی محدود و اغلب اصوات فرکانس پایین موفقیت زیادی دارد و می‌تواند در فرکانس‌های هدف تا ۱۴ دسی‌بل صدا را کاهش دهد.

۵-۱ تراز توان صوتی مجاز برای تجهیزات

انتخاب تجهیزات در مرحله اولیه پروژه باید با استفاده از داده‌های معتبر فروشندگان، بانک داده و تجربیات افراد با در نظر گرفتن نوع، اندازه و سرعت تجهیزات به بهترین وجه انجام شود. به‌نحوی که تراز کلی صدای محاسبه شده با توجه به توان صوتی هریک از تجهیزات از حدود مجاز فراتر نرود؛ تراز توان صوتی هر یک تجهیزات به‌صورت جداگانه باید با استفاده از مدل‌های علمی معتبر برآورد یا از تراز توان یا فشار صوت تجهیزات مشابه موجود استفاده شود. تراز توان صوتی یا تراز نشر صوتی هریک از تجهیزات و موقعیت مکانی آنها مبنای محاسبه تراز صدا در صنعت می‌باشد. محاسبات باید مطابق با استاندارد سری ISO 3740 یا مطابق با استاندارد ملی مورد توافق شرکت انجام شود. اثر دیواره‌ها و موانع در ساختمان‌ها و مخازن بزرگ باید در صورت لزوم در نظر گرفته شود (تراز صدا در داخل ساختمان‌ها یا پناهگاه‌ها باید با در نظر گرفتن صدای تجهیزات درون و بیرون ساختمان بر اساس اصول استاندارد آکوستیک محاسبه شود). در صورتی که

1- Passive noise control
2- Active noise control

تراز صدا از حد مجاز بیشتر شود با بررسی مجدد، تجهیزات با صدای کمتر جایگزین شوند و در صورت نیاز اقدامات کنترل صدا مانند عایق‌سازی یا محفظه آکوستیک استفاده شود.

گزارش صدای تجهیزات در قالب برگه‌های داده باید برای تمام تجهیزات منفرد یا چندبخشی توسط تأمین‌کنندگان ارائه شود. باید اطمینان حاصل شود که تأمین‌کننده از تعهد اعلام ضمانت‌های صوتی برای تجهیزات مورد استفاده در هر یک از شرایط عملیاتی آگاه بوده و بخش گارانتی آن توسط تأمین‌کننده تکمیل‌شده است.

۵-۲ تراز نشر صوتی مجاز تجهیزات

عملکرد همزمان تجهیزات نباید سبب شود که تراز فشار صوت مجموع از حد مجاز بالاتر باشد. بنابراین تراز توان یا تراز نشر صوتی هر تجهیز مستند به گواهی آزمایشگاه معتبر باید توسط تأمین‌کننده ارائه شود. تراز نشر صوتی برای تجهیزاتی که می‌توانند به‌عنوان منابع مهم صدا تلقی شوند، مانند: شیرها، فن‌ها، کمپرسورها، پمپ‌ها، دمنده‌ها که در یک محدوده انتشار صوت قرار می‌گیرند در مرحله طراحی و توسعه باید توسط متخصص(مشاور)ذی‌صلاح مورد بررسی قرار گیرند که با در نظر گرفتن فرایند و خصوصیات آکوستیکی محل، برآوردی از تجمیع صدای همزمان این تجهیزات انجام شود و نتایج آن اطمینان کافی را از حفظ حدود مجاز مواجهه شاغلین با صدا تامین کند. در صورتی که محاسبات نشان دهنده عبور تراز تجمیعی ناشی از تجهیزات از حدود مجاز باشد، لازم است تمهیدات لازم جهت جایگزینی آنها با تجهیزات با تراز نشر صوتی پایین‌تر به عمل آید.

۵-۳ پیش‌بینی و پیشگیری فنی مواجهه غیرمجاز با صدای شغلی

نظام مراقبت و پایش برنامه‌های واحد بهداشت، ایمنی و محیط زیست باید همواره بررسی‌های مستمری در خصوص اطمینان از اقدامات و پایش مستمر در خصوص پیشگیری از مواجهه غیر مجاز شغلی با صدا انجام دهد و گزارش آنها نیز باید ثبت و به‌صورت دوره‌ای مورد ارزیابی قرار گیرد. هر گونه انحراف از برنامه‌های پیشگیری باید از طریق مسیرهای اداری به اطلاع مسئولین ارشد رسانده شود تا اقدامات اصلاحی موردنیاز برنامه‌ریزی و اجرا شود.

۵-۳-۱ الزامات موردنیاز پیشگیرانه در طرح‌های ایجاد و توسعه برای کنترل صدا

در طرح‌های توسعه‌ای و احداثی لازم است به‌همراه گروه مشاورین متداول، یک متخصص (مشاور) ذی‌صلاح برای ارزیابی پیش‌گیرانه و پیش‌بینی انتشار صدا در فرایند یا صنعت مورد نظر به‌کار گرفته شود. در برگه‌های مناقصه نیز لازم است فهرست الزامات مشخصات صوتی و ارتعاش تجهیزات و فرایند از تأمین‌کننده درخواست شود تا امکان مقایسه سطح فناوری و میزان موفقیت در کنترل صدای منابع تعیین شود.

۵-۳-۲ الزامات فنی در طراحی و توسعه فرایندها

کنترل صدا و ارتعاش باید هم‌زمان با طراحی سازه‌ها، تأسیسات و فرایندهای نوین به‌کار گرفته شود.

فرصت‌های مشابهی ممکن است در طول عمر یک تأسیسات، هنگام برنامه‌ریزی برای گسترش یا جایگزینی ایجاد شود. در این زمینه راهکارهای کنترلی مورد استفاده باید مبتنی بر دانش فنی مربوطه در موارد ذیل باشد:

- مشخصات صدا و ارتعاش تجهیزات و فرایندهای مورد استفاده (طراحی مشعل‌ها و اتاق‌های احتراق و انفجار، طراحی مناسب ماشین‌آلات الکتریکی با توجه به نیروهای الکترودینامیکی، مغناطیسی و آیرودینامیکی، طراحی مناسب تیغه‌های فن و طراحی مناسب لوله‌ها و سامانه‌های مجاری هوا (هوای فشرده، هوای تهویه)، و لوله‌های گاز یا مایع نقش تعیین‌کننده در میزان توان صوتی منتشره از منبع دارد)؛
- انتخاب سازه‌های مناسب به‌منظور عایق‌بندی صوتی و کاهش بازتابش صدا؛
- جداسازی عملیات یا بخش‌هایی که صدا یا ارتعاش زیادی تولید می‌کنند و کنترل آن دشوار است؛
- به‌کارگیری مصالح و ساختارهایی که دارای ضریب عایق یا ضریب تضعیف صدای بالاتری هستند؛
- پس از انتخاب تجهیزات مناسب، چگونگی نصب آن باید با توجه به موارد زیر بررسی شود:

۱- نوع صدا و ارتعاش احتمالی منتشر شده؛
۲- تعداد و نوع ماشین آلات و سایر تجهیزات؛
۳- تعداد کارکنان شاغل در محیط کار؛
۴- ویژگی‌های آکوستیکی محیط کار؛
۵- نوع و میزان صدایی که قبل از نصب تجهیزات در محیط کار وجود دارد.

لازم به ذکر است اندازه‌گیری‌ها باید به‌محض نصب ماشین‌آلات و تجهیزات انجام شود تا تراز صدا و ارتعاش منتشر شده از آن‌ها مشخص شود. در زمان طراحی می‌توان میزان انتشار صدا براساس چیدمان و تعداد منابع صوتی را با کمک مدل‌ها و روابط مربوطه در محیط شبیه‌سازی نمود. برای مثال یک نمونه از برآورد صدای لوله‌ها در ادامه آمده است.

۵-۳-۲-۱ بررسی افت انتقال نسبی صدای لوله‌ها در فاز طراحی

۵-۳-۲-۱-۱ تعیین تراز فشار صوت

برای این کار لازم است از مدل‌های معتبر محاسباتی استفاده شود یا در فرایندهای مشابه مورد اندازه‌گیری میدانی قرار گیرد. اندازه‌گیری تراز فشار صوت (L_P) در فاصله ۱ متری از دیواره لوله انجام و در موارد نامشخص، اطلاعات مربوطه از طریق تولیدکننده تجهیزات یا از سایر منابع به‌دست آید. باید در لوله‌کشی بالادست و پایین‌دست منبع صدا (پمپ، کمپرسور، دریچه‌ها) به‌صورت جداگانه تراز فشار صوت اکتاوباند و تراز فشار صوت کلی در شبکه A تعیین شود. روش اندازه‌گیری بسته به منبع صدای لوله مورد متفاوت است. جدول ۳ اشکال معمول طیف اکتاوباند را برای رایج‌ترین منابع صدا لوله ارائه می‌دهد. لازم به ذکر است داده‌ها یا روش‌های پیش‌بینی صدای خط لوله ناشی از تجهیزات دوار متصل اغلب دشوار است. در صورت عدم دسترسی به داده‌های قابل اعتماد، ممکن است اندازه‌گیری‌ها بر روی خطوط لوله با اندازه و ضخامت

دیواره مشابهی که به تجهیزات مشابه متصل شده‌اند انجام شود.

جدول ۳ - نمونه‌هایی از طیف‌های صدای ناشی از لوله‌های متصل به منابع مختلف

منبع	فرکانس مرکزی اکتاوباند (Hz)						
	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	۸۰۰۰
	تفاوت بین تراز فشار صوت کلی و خطی در شبکه A بر حسب دسی‌بل						
شیر کنترلی*	۲۰	۱۶	۱۷	۹	۶	۵	۷
کمپرسور سانتریفیوژ**	۱۵	۱۲	۹	۷	۳	۱۰	۱۲
پمپ سانتریفیوژ	۴	۲	۴	۵	۷	۹	۱۲
کمپرسور رفت و برگشتی	۳	۴	۵	۶	۸	۸	۸

* در انشعابات گازی با رسیدن گاز به سرعت صوت، قطر لوله بین ۱۵۰ mm تا ۳۵۰ mm است.
** قطر لوله بیش از ۳۰۰ mm است.

اگر لوله تنها منبع صدا در محیط باشد و تحت شرایط میدان آزاد تابش می‌شود، تراز فشار صوت تعیین‌شده برای مکان مربوطه را می توان مستقیماً با حد صدای محیط کار مقایسه کرد. عایق فشار صوتی موردنیاز با تفریق کردن به‌دست می‌آید. در جایی که سایر منابع صدا نیز وجود دارند، قبل از مقایسه با حد صدا محیط کار، تراز کلی صدا باید تعیین شود.

۵-۳-۲-۱-۲ تعیین تراز توان صوت

تراز توان صوتی L_w منتشر شده از کل لوله را می توان از تراز فشار صوت اندازه‌گیری شده در میدان آزاد (فرمول ۲) به‌دست آورد (به مرجع ۱-۲ مراجعه شود):

$$L_w(s) = \bar{L}_p\left(x,r\right) + 10\log\left(\frac{2\pi rs}{S_0}\right)\ dB \qquad (۲)$$

که در آن:

S طول لوله ($S >> r$)، برحسب متر؛

S_0 مساحت مبنا، معادل یک متر مربع؛

D قطر بیرونی لوله، برحسب متر؛

r فاصله از محور لوله برحسب متر (ترجیحاً) $r = (1 + \frac{1}{2}\ D)$ که از دیواره لوله فاصله دارد؛

$\bar{L}_p\left(x,r\right)$ تراز فشار صوت برحسب دسی‌بل، که با میانگین‌گیری تراز اندازه‌گیری شده در فاصله r از محور لوله، در فاصله x از منبع صدا، در امتداد لوله در شرایط میدان آزاد اندازه‌گیری می‌شود.

یادآوری- میزان ترجیحی برای x، متر است. در جایی‌که کاهش صدا در طول لوله ناچیز در نظر گرفته می شود، مقادیر بزرگتر x نیز ممکن است استفاده شود.

اگر لوله طویل است و نمی‌توان در تمام طول آن اندازه‌گیری انجام شود، می‌توان با اندازه‌گیری تراز فشار صدا

در نزدیکی منبع و در نظر گرفتن کاهش صدا در طول لوله، تراز فشار صدا را تخمین زد که با استفاده از فرمول ۳ تعیین می‌شود.

$$\bar{L}_p\left(x,r\right) = L_p\left(1,r\right) - \frac{\beta x}{D}\ dB \qquad (۳)$$

که در آن:

$L_p\left(1,r\right)$ تراز فشار صوت در فاصله ۱ متری از منبع صدا، در همان فاصله r از محور لوله مانند Lp (x,r) است؛

β فاکتور کاهش صدا بر حسب دسی‌بل است.

مقدار β، ۰٫۰۶ dB برای لوله‌های حامل گاز یا بخار (کاهش ۳ دسی‌بل برای لوله‌های قطر ۵۰) و ۰٫۰۱۷ برای مایع (کاهش ۳ دسی‌بل برای قطر لوله ۱۷۵)، است. اگر برای یک مورد خاص، شواهدی وجود داشته باشد که مقدار β متفاوت است، این مقدار باید استفاده شود. طول لوله قبل از در نظر گرفتن کاهش باید بیشتر از (3D/β) باشد.

بر اساس فرمول ۴، تراز توان صوتی LW یک لوله طویل را می‌توان به‌صورت زیر نشان داد:

$$L_w(s \to \infty) = L_p\left(1,r\right) + 10\log rD/S_0\acute{\beta}\ \ dB + 14.4\ dB \qquad (۴)$$

که در آن:

$\acute{\beta}$ مقدار عددی ضریب کاهش است.

فرمول کامل رابطه بین LW (s) و Lp (1,r) به‌صورت فرمول ۵ است:

$$L_w(s) = L_p\left(1,r\right) + 10\log\left(\frac{2\pi rD}{0.1\ S_0\acute{\beta}\ln 10}\right)dB + 10\log\left(1 - 10^{\frac{0.1\acute{\beta}s}{D}}\right)dB \qquad (۵)$$

فرمول (۵) برای مقادیر کوچکتر $\acute{\beta}s/_D$ به فرمول (۳) و برای لوله‌های بسیار طویل به فرمول (۴) تبدیل می‌شود.

خطاهای مربوط به استفاده از رابطه (۳) برای لوله‌های طویل‌تر از (3 D/β) و در استفاده از رابطه (۴) برای لوله‌های کوتاه‌تر، کمتر از ۳ دسی‌بل است.

صدای ناشی از لوله می‌تواند توسط سیال یا دیواره لوله یا هر دو منتقل شود. سامانه‌های عایق صوتی برای هر دو حالت موثر است. پیش‌بینی انتشار صدا توسط دیواره لوله دشوار است.

سهم لوله در ایجاد صدا در محیط پر بازتاب از تراز توان صوتی آن محاسبه می‌شود و باید به مقدار سایر منابع اضافه شود. برای صدای محیطی، سهم لوله در کل تراز توان صوتی محیط کار، یا در ایجاد تراز فشار صدا در نقطه مجاور، باید محاسبه شود.

۵-۳-۲-۲ افت انتقال نسبی موردنیاز: صنایع و بخش‌های در حال کار

در کارخانه‌های عملیاتی و در حال کار، ارزیابی صدای لوله براساس اندازه‌گیری‌ها می‌باشد. در جایی که صدای لوله به‌طور قابل توجهی بیشتر از صدای زمینه است، می‌توان مستقیماً به‌عنوان تراز فشار صدا اندازه‌گیری شود. مجدداً، لوله‌های بالادست و پایین دست منبع باید به‌طور جداگانه در نظر گرفته شوند.

اگر صدای زمینه قابل توجه باشد، صدای لوله را اغلب می‌توان با اندازه‌گیری شدت صدا تعیین کرد. با این حال، اندازه‌گیری داخلی شدت صدای لوله ممکن است دشوار باشد و به تجهیزات و تخصص خاصی نیاز داشته باشد.

راه حل سوم برای ارزیابی صدای لوله، اندازه‌گیری میزان سرعت ارتعاش سطح لوله با استفاده از مفهوم کارایی تابش در فرمول ۶ محاسبه می‌شود.

$$L_p\left(x,r\right) = L_v + 10\log\sigma\ dB + 10\log\left(\frac{D}{2r}\right)dB \qquad (۶)$$

که در آن:

L_v میزان سرعت ارتعاش دیواره لوله ($10\log\left(\mathrm{V}/v_0\right)\ dB =$)؛

$v_0 = 5\times10^{-8} m/s$؛

$10\log\sigma$ راندمان تابش است ($10\log\sigma$) منفی است به‌طوری‌که $0 < \sigma < 1$؛

برای اهداف عملی، مقدار σ با استفاده از فرمول ۷ محاسبه می‌شود.

$$\sigma = \frac{1}{1+(\frac{c}{4Df})^3} \qquad (۷)$$

که در آن:

c سرعت صوت در هوا، برحسب متر بر ثانیه و ؛

f فرکانس مرکزی اکتاوباند، برحسب هرتز است.

این روش به‌دلیل دارا بودن دقت کمتر در تخمین بازده تشعشع و نیاز به تخصص و تجهیزات از ارجحیت کمتری برخوردار است. با این حال، در موقعیت‌های با تراز صدای محیطی بالا یا در مواردی که محیط اجازه اندازه‌گیری دقیق شدت آکوستیک را نمی‌دهد، تنها روش مورد استفاده است.

۵-۳-۲-۲-۱ طول عایق صوتی

صدای منتشر شده از دیواره لوله معمولاً توسط تجهیزات متصل به لوله مانند کمپرسورها، پمپ‌ها، شیرها یا اجکتورها تولید می‌شود. کاهش اندک صدای ناشی از منابع صوتی در طول لوله ممکن است باعث ایجاد صدا در بخش‌های زیادی از آن شود. برای کنترل صدا لوله‌ها معمولاً باید آن‌ها عایق‌بندی شوند و گاهی اوقات به سایلنسرها نیز مجهز شوند، مگر اینکه بتوان نشان داد که کاهش ایجاد شده در طول لوله، صدا را به اندازه

کافی در پایین دست و بالادست منبع کاهش داده است و عایق‌بندی بیشتر نیاز نمی‌باشد. این مورد مطابق با فرمول (۹) ممکن است نقطه‌ای باشد که سهم لوله در تراز صدا کمتر از مقدار هدف باشد.

در طراحی عایق صوتی برای لوله‌ها، کاهش موردنیاز صدای لوله باید برحسب اکتاوباند تعیین شود (با توجه به جدول۴ کلاس عایق موردنیاز در نظر گرفته شود).

جدول ۴ - مقادیر کاهش تراز صدای مورد انتظار در عایق‌گذاری لوله‌های متصل به انواع منابع صدا

کلاس	قطر $D\,(mm)$	کاهش تراز کلی فشار/توان صوتی مورد انتظار در شبکه A [الف]			
		پمپ سانتریفیوژ	کمپرسورهای سانتریفیوژ	شیر کنترلی	کمپرسورهای رفت و برگشتی
A1 و *A2*		۴	۱۰	۱۴	۵
A3		۹	۱۵	۱۸	۹
B1		۵	۱۱	۱۶	۵
B2		۶	۱۴	۱۸	۶
B3		۱۰	۱۸	۲۲	۱۰
C1		۹	۱۸	۲۲	۹
C2		۱۱	۲۰	۲۴	۱۰
C3		۱۷	۲۵	۲۹	۱۷

[الف] مناطق سایه‌دار نشان می‌دهد که نوع خاصی از عایق ممکن است برای کاربرد مقرون به‌صرفه نباشد یا یک کاربرد غیرمعمول را نشان دهد.

در عایق‌بندی با هدف کاهش تراز توان صوتی، طول لوله مورد نظر (L برحسب متر) از فرمول ۸ به‌دست می‌آید:

$$l = \frac{10\,D}{\beta_0} \times \log\left(\frac{1-a}{R-a}\right) \qquad (۸)$$

D قطر لوله، برحسب متر؛

$$R = 10^{\frac{\Delta L_w}{10}}$$

$\Delta L_w = Lw_{with} - Lw_{without}$ (کاهش مد نظر برحسب تراز توان صوت)، برحسب دسی‌بل؛

$$a = 10^{(-D_w/10)}$$

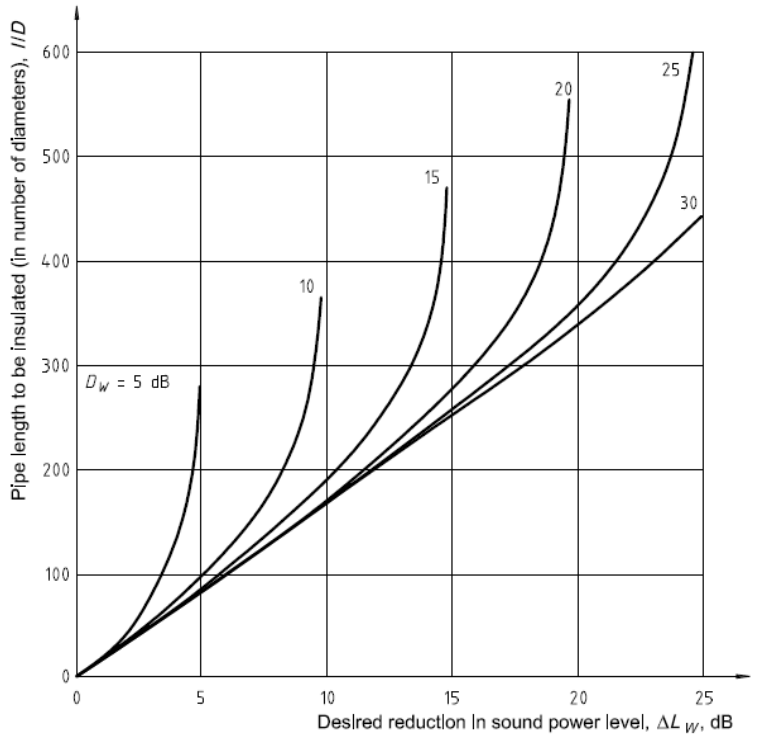
D_w افت الحاقی ایجاد شده توسط عایق، برحسب دسی‌بل است (جدول۵).

جدول۵- حداقل افت انتقال نسبی موردنیاز برای هر کلاس

کلاس	قطر D (mm)	فرکانس مرکزی اکتاوباند (Hz)						
		۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	۸۰۰۰
		حداقل افت الحاقی (دسی‌بل)						
A1		-۴	-۴	۲	۹	۱۶	۲۲	۲۹
A2		-۴	-۴	۲	۹	۱۶	۲۲	۲۹
A3		-۴	۲	۷	۱۳	۱۹	۲۴	۳۰
B1		-۹	-۳	۳	۱۱	۱۹	۲۷	۳۵
B2		-۹	-۳	۶	۱۵	۲۴	۳۳	۴۲
B3		-۷	۲	۱۱	۲۰	۲۹	۳۶	۴۲
C1		-۵	-۱	۱۱	۲۳	۳۴	۳۸	۴۲
C2		-۷	۴	۱۴	۲۴	۳۴	۳۸	۴۲
C3		۱	۹	۱۷	۲۶	۳۴	۳۸	۴۲

رابطه بین متغیرهای فرمول (۸) در شکل ۱ نشان داده شده است، هم‌چنین ضریب کاهش صوت β_0 ۰٫۰۶در نظر گرفته شده است. شکل ۱، عملکرد عایق صوتی (افت انتقال نسبی) به‌میزان کاهش توان صوت محدود می‌شود، یعنی R باید بزرگ‌تر از a باشد. بر این اساس با توجه به توان صوت منتشر شده، انتخاب کلاسی از عایق با افت انتقال نسبی بالاتر به‌دلیل طول موردنیاز کمتر جهت عایق‌بندی مقرون به صرفه‌تر می‌باشد.

هر دو فرمول (۸) و شکل ۱ را می‌توان برای مقادیر اکتاوباند یا تراز کلی صدا استفاده کرد.



شکل ۱- نسبت طول به قطر لوله‌ای که برای دستیابی به کاهش مدنظر در تراز توان صوت به‌عنوان تابعی از افت انتقال نسبی عایق، باید عایق‌بندی شود (β = ۰٫۰۶)

۵-۳-۲-۲-۲ کلیات طراحی لوله

ضروری است که در مراحل اولیه طراحی اطمینان حاصل شود که آرایش لوله‌ها به‌گونه‌ای باشد که فضایی برای حجم و جرم عایق صوتی وجود داشته باشد. معمولاً نصب عایق صوتی روی لوله‌ها به‌عنوان یک اقدام اصلاحی به‌دلیل کمبود فضای بین لوله‌های مجاور و قرار گرفتن لوله‌ها در ارتفاع نادرست مشکل است و نمی‌توان به‌راحتی بست‌های مناسب لوله و عایق‌بندی ارتعاش را نصب کرد. بنابراین مهندس کنترل صدا باید در ابتدا بر اساس داده های صدای تخمینی، تراز صدای موجود در لوله اصلی را در مراحل اولیه طراحی تخمین زده و بر روی نمودارهای لوله‌کشی و تجهیزات، نقشه‌های مهندسی فرایند یا سایر اسناد مرتبط، بخش‌هایی از لوله که باید عایق‌گذاری شوند، علامت‌گذاری کند. در عین حال، جایگزینی منابع کم‌صدا یا استفاده از سایلنسر ممکن است مناسب‌تر باشد.

طراحی پشتیبان و آویزهای لوله باید فضای کافی را برای نصب عایق صوتی فراهم کند. هنگامی که لوله توسط یک سازه فولادی پشتیبانی یا از آن آویزان می‌شود، باید از تکیه‌گاه‌ها یا آویزهای ارتجاعی استفاده نمود. در صورت از کار افتادن مؤلفه ارتجاعی، آنها باید دارای یک توقف مکانیکی باشند تا حرکت لوله را محدود کنند. روش حمایت از لوله باید بین هر دو مسئول بخش طراحی مکانیکی و آکوستیک مورد توافق قرار گیرد.

یادآوری- آویزهای فنری که برای لوله هوایی (سربالا) استفاده می‌شوند در صورت انبساط حرارتی، لزوماً عملکرد صوتی رضایت‌بخشی نخواهند داشت.

۵-۳-۲-۲-۳ برآورد کاهش کلی صدا

معمولاً برای استفاده از عایق صوتی بر اساس اندازه‌گیری تراز فشار یا توان صدا در شبکه وزنی A برحسب دسی‌بل در یک لوله بدون سایلنسر اقدام می‌شود. با این حال، محاسبه اثربخشی عایق صوتی برحسب تراز کلی (دسی‌بل) اکتاوباند انجام می‌شود. در صورت امکان، مقادیر واقعی تراز کلی صدای لوله مورد نظر در اکتاوباند باید به‌دست آید. در صورت داشتن تراز کلی صدا (دسی‌بل) به‌تنهایی طیف اکتاوباند را می‌توان با استفاده از جدول ۵ تخمین زد. اصلاحات جدول ۵ باید از تراز فشار یا توان صوت در شبکه وزنی A کم شود تا طیف اکتاوباند خطی حاصل شود.

میزان تاثیر عایق صوتی با تفاضل افت انتقال نسبی قبل و بعد نصب عایق مورد نظر به ازای هر اکتاوباند به‌دست می‌آید. پس از عایق‌سازی و اعمال مقادیر اصلاحی، تراز کلی فشار یا توان صدا (دسی‌بل) در شبکه A در طیف اکتاوباند به‌دست می‌آید. افت انتقال نسبی (دسی‌بل) بیانگر میزان تفاضل تراز صدای لوله با و بدون عایق می‌باشد. جدول ۶ مثالی از محاسبه کاهش صدای کلی یک لوله ۲۰۰ میلی‌متری عایق‌بندی شده با عایق صوتی کلاس A و متصل به شیر کنترل را نشان می‌دهد. تراز ۱۰۰ دسی‌بل لوله بدون عایق فقط برای مقاصد محاسباتی در نظر گرفته شده است.

شرایط میدانی و کیفیت کاربرد عایق می‌تواند به‌طور قابل ملاحظه‌ای با شرایط آزمایشگاهی که در آن مقادیر افت انتقال نسبی تعیین شده است متفاوت باشد. یک مقدار اصلاحی (با استفاده از جدول ۵) برای در نظر گرفتن این اختلاف باید توسط طراح برآورد و تعیین شود. دلایل این اختلاف شامل موارد زیر است، اما محدود به آنها نیست:

- صدای منتشر شده توسط سازه پشتیبان لوله؛
- صدای منتشر شده توسط تجهیزات و لوله‌های کوچک متصل به لوله؛
- عدم نصب عایق صوتی بر طبق طراحی انجام‌شده؛

این اختلافات معمولاً برای کلاس‌های بالاتر عایق صوتی بیشتر است. به‌عنوان مثال، انتظار می‌رود که تفاوت بین افت انتقال شرایط آزمایشگاهی و میدانی برای عایق‌های کلاس B و C بیشتر از نوع کلاس A باشد.

جدول ۶ - مثالی از محاسبه انجام‌شده

کمیت	فرکانس مرکزی اکتاوباند (Hz)							تراز کلی صدا (دسی-بل)
	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	۸۰۰۰	
تراز فشار صوت شیر متصل‌شده به لوله								۱۰۰
اصلاح منبع برای صدای شیر	۲۰	۱۶	۱۷	۹	۶	۵	۷	
برآورد تراز فشار صوتی از لوله	۸۰	۸۴	۸۳	۹۱	۹۴	۹۵	۹۳	
افت الحاقی کلاس A1 و A2	-۴	-۴	۲	۹	۱۶	۲۲	۲۹	
تراز فشار صوتی لوله عایق‌شده	۸۴	۸۸	۸۱	۸۲	۷۸	۷۳	۶۴	
مقدار توزین فرکانس شبکه A	-۱۶/۱	-۸/۶	-۲/۳	۰	+۱/۲	+۱/۰	-۱/۱	
تراز فشار صوتی در شبکه A لوله عایق‌شده	۶۸	۷۹	۷۸	۸۲	۷۹	۷۴	۶۳	۸۶
کاهش تراز فشار صوتی (دسی‌بل)								۱۴

مقادیر کاهش صدای مورد انتظار را می‌توان برای انواع منابع و عایق‌های مختلف محاسبه کرد. بر اساس طیف اکتاوباند جدول ۳ و با استفاده از مقادیر حداقل افت انتقال نسبی جدول ۵، کاهش تقریبی تراز صدا در شبکه A (دسی‌بل) با کلاس‌های مختلف عایق برای انواع منابع به‌دست آمده است. مهندس کنترل صدا باید ارزیابی خود را بر اساس داده‌های واقعی موجود انجام دهد.

۵-۳-۳ الزامات فنی موردنیاز در تامین تجهیزات

۵-۳-۳-۱ مشخصات تجهیزات جدید

- سازندگان باید تجهیزات تولیدی خود را به‌گونه‌ای طراحی کنند که صدا و ارتعاش منتشر شده از آن‌ها در کمترین حد ممکن باشد.
- سازندگان باید اطلاعاتی در مورد در دسترس بودن لوازم جانبی که همراه با خود تجهیزات ارائه نمی‌شوند، اما ممکن است برای کنترل صدا و ارتعاش دستگاه مفید یا ضروری باشند، فراهم کنند. آنها هم‌چنین باید به‌منظور دسترسی به حداکثر کارایی تجهیزات، اطلاعات مربوط به چگونگی نصب این‌گونه لوازم جانبی را ارائه دهند.
- سازندگان باید اطلاعات کاملی در مورد تراز صدا و ارتعاش منتشر شده از دستگاه و هم‌چنین روش‌های کنترل آنها ارائه دهند.
- هنگام سفارش تجهیزات، خریدار باید ضمن در نظر گرفتن موارد فوق، خصوصیات و مقادیر تایید شده توسط مرجع معتبر را برای صدا و ارتعاش منتشر شده از دستگاه مشخص کند.

- مشاور(متخصص) ذی‌صلاح باید مستندات نشر صدای تجهیزات ارائه شده توسط تأمین‌کننده را مورد بررسی و تایید قرار دهد.

۵-۳-۳-۲ لزوم خرید تجهیزات کم‌صدا

خرید دستگاه‌ها و ماشین‌آلات طراحی‌شده با صدای کمتر در مقایسه با اجرای فرایند کنترل صدا برای دستگاه‌های موجود در صنعت، در دراز مدت مقرون به‌صرفه می‌باشد. سازندگان ماشین‌آلات در طراحی و ساخت باید اطلاعات لازم در خصوص انتشار صدا را تعیین کنند. در مواردی که تجهیزات به آموزش عملیاتی یا نگهداری خاصی نیاز دارند لازم است تأمین‌کنندگان در این خصوص به موارد زیر اشاره کنند.

الف- آموزش مهارت‌های جدید برای اپراتور برای ابزارها یا ماشین‌هایی با ویژگی‌های کاهش صدا؛

ب- هشدار در مورد استفاده از ماشین‌آلاتی که به‌طور غیرعادی انتشار صدای زیادی دارند (توصیه می‌شود از نشان‌های تجاری استفاده شود که ملحقات کنترل موثر صدا را بر روی تجهیزات خود نصب نموده باشند)؛

پ- اطلاعاتی در مورد روش‌های استفاده اجتناب از ابزارها یا ماشین‌آلات خاص به‌منظور پایین نگهداشتن میزان انتشار صدا.

ت- آموزش در مورد الزامات تعمیر و نگهداری برای جلوگیری از مواجهات صوتی غیر ضروری.

۵-۳-۳-۳ نحوه استقرار و استفاده از تجهیزات

تجهیزات پر صدا را به دور از مناطق حساس به صدا قرار دهید. اگرچه مکان‌یابی کردن بخشی از کاربرد برنامه‌ریزی در نظر گرفته می‌شود، مکان روزانه تجهیزات در سایت و نحوه استفاده از آن اغلب توسط اپراتور سایت کنترل می‌شود. بنابراین اپراتور می‌تواند نقش مهمی در کاهش صدا ایفا کند:

- ماشین‌آلات و عملیات پرصدا را تا حد امکان از مناطق حساس صوتی مانند ساختمان‌های اداری و مناطق مسکونی دور باشند.
- جهت دستگاه به‌گونه تعیین شود تا به‌صورت یک منبع صدا جهت‌دار عمل کند تا صدا از مناطق حساس صوتی دور شود. (مسیرهای انتقال صدا باید در این ملاحظات بررسی شوند زیرا ممکن است صدا از دیوارها و موارد مشابه بازتاب شود).
- ماشین‌آلات و تجهیزات مولد صدا بین دوره‌های کاری و در موارد غیرضروری استفاده نشود.
- مسیرهای عبور و مرور سایت باید به‌گونه‌ای تعیین شود که صدای ناشی از عبور وسایل نقلیه سبب تشدید صدای تجهیزات نشود.
- ساختمان‌ها و موانع طبیعی و مصنوعی در محل می‌توانند به‌عنوان موانع صوتی به‌شمار آیند. از این ویژگی می‌توان در کاهش انتشار صوت کمک گرفت.

۵-۳-۳-۴ آموزش استفاده از تجهیزات

الزام کاهش صدا باید به‌طور گسترده در سایت تبلیغ شود. به‌عنوان بخشی از آموزش، شاغلین سایت باید از جنبه‌های زیر، به‌ویژه در رابطه با صدا، آموزش داده شوند:

- استفاده و نگهداری مناسب از دستگاه و تجهیزات برای به حداقل رساندن صدا؛
- تعیین موقعیت دستگاه‌های متحرک برای کاهش انتشار صدا؛
- اجتناب از صدای غیرضروری هنگام انجام عملیات دستی و هنگام کارکردن دستگاه و تجهیزات، به‌ویژه در شب.

۵-۳-۳-۵ تعمیر و نگهداری فرایند و تجهیزات

تعمیر و نگهداری منظم و موثر توسط افراد آموزش دیده برای کاهش صدای ماشین‌آلات بسیار مفید باشد. افزایش صدا در محوطه فرایند اغلب نشان‌دهنده یک خرابی مکانیکی است. به‌طور مثال:

- صدای ناشی از ارتعاش ماشین‌آلات با قطعات چرخان را می‌توان با توجه به بالانس مناسب کاهش داد.
- صدای ناشی از اصطکاک در غلتک‌های نوار نقاله، چرخ دستی‌ها و سایر ماشین‌ها را می‌توان با روغن‌کاری مناسب کاهش داد.
- استهلاک تجهیزات و عدم تعویض به‌موقع قطعات می‌تواند صدای اضافی تولید و تحمیل کند.
- بی‌نظمی یا طولانی‌شدن دوره تعمیرات می‌تواند سبب خراب مکانیکی قطعات تجهیز و تولید صدای غیرضرور شود.

۵-۳-۴ الزامات فنی در نظارت بر اجرای طرح‌های نصب، توسعه و تعمیرات و نگهداری تجهیزات

- تعمیر و نگهداری صحیح ماشین‌آلات در حفظ اقدامات کنترل صدا بسیار حائز اهمیت است. ماشین‌آلات با افزایش سن و استفاده خراب می‌شوند و اگر به‌درستی تعمیر و نگهداری نشوند به‌دلیل عواملی مانند فرسوده شدن قطعات، روغن‌کاری ضعیف و ارتعاش جداره‌های تجهیزات صدای بیشتری تولید می‌کنند. در صورت انجام دوره‌ای تعمیر و نگهداری می‌توان افزایش انتشار صدا ماشین‌آلات را به حداقل رساند.
- تا جایی که ممکن است اپراتورها را تشویق کنید تا تجهیزاتی را که پرصداتر هستند، گزارش کنند. زیرا این مورد به این معنی است که دستگاه نیاز به تعمیر دارد. آموزش اپراتورها برای تشخیص درست کار نکردن ماشین‌آلات کمک می‌کند تا عیوب دستگاه زودتر اصلاح شود. بنابراین باید تراز صدا دستگاه را تحت کنترل نگه داشته و از بروز خطاهای مهم جلوگیری کنید.
- اطمینان حاصل کنید که تعمیر و نگهداری معمولی دستگاه‌ها شامل بررسی ویژگی‌های کنترل صدا می‌باشد تا از خراب نشدن و شکسته یا حذف نشدن آن‌ها اطمینان حاصل شود.
- هر جزیی که برای کنترل صدا روی تجهیز نصب شده است را حفظ کنید. باید سامانه‌ی را به‌منظور اطمینان حاصل کردن از حفظ کردن تجهیزات کنترل صدا برای موثر عمل کردن آنان ایجاد کنید. این مورد را می‌توان در سامانه‌های تعمیر و نگهداری معمولی و اضطراری گنجاند. اثربخشی بسیاری از

اقدامات کنترل صدا با آسیب یا فرسودگی جزئی آنان به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد.

۵-۴ مستندسازی طرح‌های کنترل صدا (کنترل صدا در منبع و روش‌های آن، کنترل صدا در محیط انتشار، اتاقک‌سازی)

لازم است تمامی مستندات نتایج اندازه‌گیری و ارزیابی صدا که منتج به تصمیم‌گیری و اجرای طرح‌های کنترل صدا شده است به تفکیک هر واحد، نگهداری شود. در هر حال یک نسخه از این مستندات باید در واحد بهداشت، ایمنی و محیط زیست نگهداری شود. این مستندات شامل نقشه‌ها و جزئیات فنی طرح‌ها و نتایج ارزیابی موفقیت آنها می‌شود.

۵-۴-۱ تهیه مستندات مربوط به طراحی‌های فنی کنترل صدا

مستندات باید شامل نقشه‌ها، دفترچه محاسبات و جزئیات طراحی، نظارت و اجرای طرح‌های فنی کنترل صدا باشد. لازم است تصاویر و کلیپ‌هایی از عملکرد نتایج کنترل نیز در پرونده‌های مربوطه تهیه و نگهداری شود. در صورتی‌که در مرحله طراحی و توسعه، اقدامات پیش‌گیرانه برای کنترل صدا انجام شده باشد، نتایج آن باید مستند و نگهداری شود.

۵-۵ گزارش مهندسی کنترل صدا

برای پروژه‌های بزرگ در فاز طراحی و مهندسی و مرحله تمهیدات، مستندات زیر باید به‌محض موجود شدن به متخصص(مشاور) کنترل صدا ارائه شود:

الف- مشخصات پروژه؛

ب- نقشه چیدمان محیط، نشان دادن تجهیزات، ساختمان‌ها و راه‌های تردد؛

پ- طرح منطقه کاری؛

ت- اساس طراحی صنعت؛

ث- نمودار جریان فرایند؛

ج- فهرست تجهیزات و مصالح؛

چ- شرح فرایند، که باید نشان‌دهنده تمام حالت‌های عملکرد فرایند و تجهیزات باشد؛

ح- الزامات داده تجهیزات برای همه منابع صدای مربوطه، از جمله: فن‌های خنک‌کننده هوا، کوره‌ها، مشعل‌ها، تجهیزات جابه‌جایی مکانیکی، اکسترودرها، اجکتورها، پمپ‌ها، کمپرسورها، درایوها، دریچه‌ها، شیرهای کنترل، مشعل‌ها، دودکش‌های ونت‌های بخار و گاز، عایق‌های صدا، ترانسفورماتورها، ژنراتورها، موتورهای الکتریکی، برج‌های خنک‌کننده، ژنراتورهای برق، ژنراتورهای بخار، تجهیزات مربوط به سایلنسرها و مافلرها، منابع متحرک صوتی مانند لیفتراک، کامیون، جرثقیل و تجهیزات بارگیری؛

خ- داده‌های مربوط به ابعاد جنس مصالح و ویژگی‌های آکوستیکی ساختمان از نظر عایق‌بندی و جاذب‌های صدا؛

د- داده‌های مربوط به چیدمان لوله‌کشی؛

ذ- نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق.

۵-۶ آزمون‌های موفقیت روش‌های کنترل صدا

هرگونه آزمون موفقیت کنترل صدا باید مستند به اصول علمی معتبر یا استانداردها یا الزامات معتبر داخلی باشد. انجام آزمون های باید توسط مهندس مشاور مستقل و تحت نظارت شرکت انجام شود. نتایج آزمون‌ها باید با تعهدات پیمانکار یا تأمین‌کننده مقایسه و در قالب گزارش رسمی توسط مهندس مشاور به شرکت ارائه شود.

۵-۶-۱ تعیین مشاور مستقل

مشاور مستقل باید از بین شرکت‌های تخصصی واجد صلاحیت یا دانشگاه‌های مرتبط انتخاب می‌شود که تجربیات علمی و تخصصی آنها به تایید شرکت برسد. مشاور باید تجهیزات تخصصی کالیبره‌شده موردنیاز برای آزمون را داشته باشد. مشاور باید مستندات صلاحیت تخصصی، سوابق و تجربیات خود را به شرکت ارائه دهد. شرکت نیز پس از بررسی داوطلبین نسبت به انتخاب مشاور ذی‌صلاح اقدام می‌کند.

۵-۷ کنترل صدای واحدهای غیرفرایندی

واحدهای غیرفرایندی شامل دفاتر مهندسی، اتاق‌های کنترل، ساختمان‌های اداری، واحدهای اقامتی و مانند آن است که وجه تمایز آنها، وظایف مبتنی بر کار فکری یا کاربری اقامتی می‌باشد. در این واحدها معمولاً الزامات یا حدود مجاز مواجهه متفاوت از واحدهای فرایندی است و ضرورت دارد که نحوه اندازه‌گیری، ارزیابی و اقدامات مربوط به کنترل صدا برای آنها به‌طور مستقل برنامه‌ریزی و اجرا شود.

۵-۷-۱ کنترل صدا در مرحله طراحی و جانمایی

برای واحدهای غیرفرایندی در مرحله طراحی و توسعه، لازم است مکان‌یابی مناسب به‌گونه‌ای انجام شود که تا حد امکان از منابع اصلی تولید صدا فاصله داشته باشند. پیش‌بینی میزان آلودگی صدا در محل طراحی یکی از ضروریات جانمایی این واحدها است که باید توسط یک متخصص (مشاور)کنترل صدا انجام شود. نتایج پیش‌بینی باید متضمن اطمینان بالا از قرارگیری این واحدها در محیط با تراز زمینه پایین‌تر از حدود مجاز باشد. در غیر این صورت لازم است طراحی لازم برای کنترل صدا و ارتعاش منجربه صدا در سازه این واحدها انجام شود، به‌نحوی که نهایتاً مواجه افراد در داخل این بناها از حد مجاز فراتر نرود.

۵-۷-۲ ارزیابی صدا در مرحله بهره‌برداری

در برنامه‌های معمول نظارت و پایش صدا، ضروری است که برنامه اندازه‌گیری و ارزیابی صدا در محوطه و

داخل واحدهای غیرفرایندی طبق اصول علمی و استانداردها یا الزامات داخلی شرکت انجام شود. در این اندازه‌گیری‌ها باید یکی از اهداف مهم، تعیین میزان مواجهه افراد با صدا باشد. علاوه بر اندازه‌گیری صدا در محوطه و داخل بناهای غیرفرایندی، لازم است بررسی و اندازه‌گیری صدا در خصوص سامانه‌های مرتبط با این بناها از جمله سامانه تهویه مطبوع و همچنین بررسی ارتعاش زمینه و صدای پیکری نیز به عمل آید. برای مواردی که نتایج نشان‌دهنده عبور از حد مجاز باشد باید تدابیر فنی کنترل صدا به اجرا گذاشته شود.

۵-۷-۳ کنترل صدا در مرحله بهره‌برداری

طراحی‌های کنترل صدا در واحدهای غیرفرایندی باید توسط مشاور صاحب صلاحیت انجام شود. روش‌های کنترل صدا اغلب شامل کنترل ارتعاش منجربه صدا، کنترل صدای پیکری و کنترل صدای هوایی از طریق استفاده از مصالح جاذب و عایق صدا و انجام تغییرات در لایه‌بندی سطوح جانبی، تغییرات و اصلاحات درب‌ها و پنجره‌ها و اصلاحات مربوط به سامانه‌های تهویه است. در برخی موارد نیز لازم است موانعی در مسیر عبور صدا از واحدهای فرایندی به سمت واحدهای غیرفرایندی طراحی و اجرا شود. مشاور باید میزان موفقیت در کنترل صدا را در صورت اجرای صحیح طرح تضمین کند. پس از اجرای طرح لازم است آزمون‌های موفقیت کنترل توسط مشاور مستقل انجام شود.

۵-۸ نظارت و پایش اجرای کنترل صدا

هر بخش یا واحدی از محل کار که صدای زیان‌آور وجود دارد، باید به دنبال فرایندها، تجهیزات یا روش‌های کاری جایگزین باشید که منجربه کاهش انتشار صدا شود و مواجهه با صدا را کاهش دهد. یک رویکرد برای برنامه‌ریزی کنترل صدا در چک لیست پیوست **ح** ارائه شده است.

۵-۸-۱ ملاحظات مستمر

برخی از روش‌های کنترل صدا بسته به نوع منابع صدا موثرتر عمل می‌کنند. باید همیشه از طریق انجمن‌های تخصصی، شرکت‌های تخصصی و تأمین‌کنندگان ماشین‌آلات یا تجهیزات به‌دنبال بهترین روش‌ها یا مصالح کنترل صدا در صنعت خود باشید.

درمواردی که موثر واقع شدن اقدامات کنترل صدا نیازمند اقداماتی از سوی کارکنان هستید (مثلاً استفاده مناسب از محفظه‌های صوتی یا پیروی از روش‌های کاری کم صداتر)، باید از همکاری کارکنان خود اطمینان حاصل کنید. به‌گونه‌ای که کارکنان اطلاعات، دستورالعمل‌ها و آموزش‌های مناسبی دارند و نظارت مناسبی بر آن‌ها وجود دارد. کارکنان موظفند از هرگونه تدابیر کنترل صدای ارائه شده استفاده کنند.

۵-۹ تهیه و نگهداری اسناد

نسخه‌ای از تمامی قراردادها و مستندات فنی مربوط به طراحی و اجرا و صورتجلسات باید در محل تأسیسات نگهداری شود.

۶ راهنمای طراحی آکوستیک برای محیط انتشار

کنترل صدا در محیط انتشار شامل مجموعه اقدامات فنی است که از منبع تولید صدا شروع می‌شود که خود شامل اصلاح و تغییر در فرایند کار دستگاه، ارتقای فناوری و اتاقک‌سازی برای منبع تولید صدا است. مراحل بعدی شامل جداسازی منابع پرصدا، استفاده از موانع صوتی، استفاده از مصالح جاذب صوت در سطوح داخلی میدان انتشاری بسته، استفاده از مصالح عایق صدا برای جلوگیری از انتقال صدا از یک واحد به واحد مجاور و نهایتاً اتاق‌سازی در محل شنونده می‌باشد. این اتاقک‌ها نقش پناهگاه صوتی برای کارکنان را دارد.

امکان‌سنجی و پیشنهاد روش‌های مناسب کنترل صدا و مقایسه برآورد میزان موفقیت در هریک از آنها برای کاهش تراز فشار صوت و لحاظ نمودن جنبه‌های اجرایی، در دسترس بودن فناوری و مصالح، عدم تداخل در کار تجهیزات و فرایندها و رعایت جنبه‌های اقتصادی به عهده یک مشاور (متخصص) ذی‌صلاح است.

پس از انتخاب روش کنترل، مشاور(متخصص) ذی‌صلاح موظف به ارائه جزئیات فنی طرح و نحوه اجرای آن به همراه دفترچه محاسبات است. نظارت بر اجرای طرح می‌تواند به عهده یک مشاور (متخصص) ذی‌صلاح دیگر به انتخاب شرکت گذاشته شود.

پس از اجرای طرح لازم است آزمون‌های موفقیت توسط مشاور ذی‌صلاح انجام شود. گزارش نهایی طرح و همچنین نتیجه آزمون موفقیت در سوابق طرح نگهداری می‌شود.

به‌طور کلی قواعد مشترک در انجام طرح‌های کنترل صدا به‌شرح زیر می‌باشد.

۱- اندازه‌گیری تراز کلی فشار صوت و تعیین تراز معادل مواجهه کارکنان و میزان ترازی که باید کاهش یابد؛
۲- آنالیز فرکانس صدا در شبکه خطی به‌منظور تعیین فرکانس غالب؛
۳- مشاهده و بررسی دقیق محل مورد نظر و مصاحبه با افراد مطلع و بررسی شکایت اصلی؛
۴- امکان‌سنجی انواع روش کنترل صدا و اولویت‌بندی راه‌حل‌های ممکن و برآورد اجمالی قابلیت اجرایی و میزان اثربخشی آنها؛
۵- انتخاب و تصمیم‌گیری روش اصلی کنترل صدا از بین راه‌حل‌های ممکن ارائه شده توسط یک مشاور (متخصص) ذی‌صلاح، با هم‌فکری مسئولین فنی و کارشناسان بهداشت، ایمنی و محیط زیست
۶- ارائه طرح مفهومی روش کنترل فنی و الزامات آن و دریافت نظرات کارشناسی؛
۷- طراحی فنی مشتمل بر محاسبات کنترل و میزان اثربخشی آن به‌همراه نقشه‌ها و راهنمای فنی اجرای طرح؛
۸- نظارت بر اجرای طرح؛
۹- ارزیابی نتایج و تهیه گزارش طرح.

۷ راهنمای طراحی برای کنترل صدای تجهیزات

کارآمدترین اقدام در برابر صدا، کاهش صدا در منبع بوده و معمولاً موثرترین روش، طراحی مجدد یا

جایگزینی تجهیزات پرصدا می‌باشد. در صورت عدم امکان، تغییرات ساختاری و مکانیکی، ارتقای فناوری در اجزای دستگاه، استفاده از کاهش‌دهنده‌های صدا، میراکننده‌ها و عایق‌های ارتعاش و محفظه‌های عایق صدا، دیگر راه‌های کنترل صدا در منبع می‌باشد. روش‌های کنترل صدا و ارتعاش باتوجه به نوع منابع انتشار به‌صورت زیر متمایز می‌شوند:

الف- صدا یا ارتعاش مربوط به جامدات یا مایعات (نیروهای مکانیکی)

- ایجاد تعادل دینامیکی، کاهش نیروی محرکه وارده بر بخش‌های مرتعش، کاهش میزان دور در دقیقه و افزایش طول دوره‌های کاری؛
- کاهش سرعت عبور سیالات از کانال‌ها و لوله‌ها؛
- لق‌گیری اتصالات اجزای تجهیز به هم و به سازه‌های مجاور؛
- کاهش راندمان بخش‌های مرتعش با افزایش ظرفیت میرایی آنها و بهبود نحوه اتصال آنها؛
- تغییر فرایندهای کوبه‌ای به فرایندهای فشار پیشرونده؛
- تغییر از حرکات رفت و برگشتی به حرکات چرخشی؛
- تغییر از توقف ناگهانی به توقف تدریجی؛
- تغییر از چرخ‌دنده‌های دندانه‌دار استوانه‌ای به چرخ‌دنده‌های مارپیچی و از چرخ‌دنده‌های فلزی به چرخ‌دنده‌های با سایر مواد در صورت امکان؛
- طراحی شکل و سرعت ابزارها با توجه به ویژگی‌های ماده استفاده‌شده؛
- طراحی سامانه‌های مناسب برای تعمیر مواد یا اشیا مورد استفاده؛
- جلوگیری از برخورد اجسام یا مواد با یکدیگر که به‌صورت مکانیکی حمل می شوند و جلوگیری از سقوط آزاد آنها از تجهیزات انتقالی؛
- اصلاح یا ایجاد فونداسیون به‌منظور کنترل ارتعاش قابل تبدیل به صدا؛
- درج اتصالات میراکننده مناسب در نقاط اتصال ماشین آلات و تجهیزات؛
- ارتقای فناوری از مکانیکی به الکتریکی و از الکتریکی به الکترونیکی در بخش‌های راهبری دستگاه برای کاهش مواجهه؛
- کنترل از راه دور به‌منظور کاهش مواجهه اپراتورها.

ب- صدا یا ارتعاش مربوط به جریان آشفته سیالات گازی (نیروهای آیرودینامیکی)

- کاهش آشفتگی جریان سیالات در ورودی‌ها، مجاری یا لوله‌ها و در خروجی‌ها از طریق تنظیم دبی و سرعت؛
- کاهش زبری و اصلاح زوایای داخلی مجاری؛
- عایق‌بندی جدار بیرونی لوله‌ها با مصالح میراکننده.

پ- صدا یا ارتعاش مربوط به نیروهای دینامیکی الکترودینامیک یا مغناطیسی، یا قوس الکتریکی یا

تخلیه کرونا[1] (نیروهای الکتریکی)

این بخش، طیف وسیعی از منابع صدا را مشخص می‌کند که هریک نیازمند تفصیل در علت ایجاد صدا و امکان کنترل آن است. با این وجود لازم است چه در مرحله طراحی و توسعه و چه در مرحله بهره‌برداری بررسی لازم برای کنترل صدای ناشی از این منابع مورد بررسی و اقدام قرار گیرد.

۱-۷ صدای جریان آیرودینامیکی

صدا به‌دلیل آشفتگی در جریان گازها و مایعات در لوله‌ها یا کانال‌ها تولید می‌شود. به‌عنوان مثال در انتقال مواد جامد (خارج کردن گرد و غبار یا ضایعات ریز) صدای متغیر با زمان ناشی از برخورد ذرات به جداره در بستر جریان آشفته ایجاد می‌شود. به‌طوری‌که، افزایش آشفتگی در مسیر انتقال با تولید صدای بیشتر همراه است. بنابراین کاهش آشفتگی با آرام‌کردن جریان (کم‌کردن سرعت و فشار) یا عایق‌بندی جداره بیرونی مجاری با مواد میراکننده می‌تواند در کاهش صدای آیرودینامیکی موثر باشد.

آزادسازی فشار بالا مانند انفجار داخلی موتورهای درون‌سوز، خروجی‌های بخار و گاز و روزنه‌های تخلیه فشار می‌تواند به‌دلیل برخورد سیال فشرده پاشیده شده به بیرون (هوای محیط)، ترازهای صدای بسیار بالایی را برای مدت کوتاهی به‌دلیل آشفتگی قوی در محیط ایجاد کند. این نوع صدا دارای باند باریک، و معمولاً با پیک‌های در فرکانس‌های بالا متناسب با سرعت و شکل خروج سیال است. کاهش صدا را می‌توان با استفاده از یک ساکت‌کننده (سایلنسر یا مافلر) دهانه‌ای که پوششی در اطراف ناحیه حداکثر تلاطم ایجاد و انرژی را در نتیجه بازتاب مکرر داخلی جذب می‌کند، به‌دست آورد. در فاز طراحی، علاوه بر تعیین سرعت جریان و فرکانس‌هایی را که در آن حداکثر کاهش لازم است باید افت فشار مجاز نیز در نظر گرفته شود. ممکن است افت فشار بالا یا سایر محدودیت‌های جریان در سامانه تخلیه اضطراری یا مشابه آن غیرقابل قبول باشد. در این صورت باید طراحی تا حصول نتیجه کاهش صدا اصلاح شود.

- کاهش سرعت جت سیال به‌واسطه افزایش قطر یا کاهش فشار حاصل می‌شود. به‌گونه‌ای که کم کردن سرعت یا افزایش قطر دهانه منجربه کاهش آشفتگی و در نتیجه کاهش صدا تولیدی می‌شود. اما این کار منبع صوتی دیگری را ایجاد می‌کند. از طرف دیگر، اگر انبساط در جایی پشت سامانه و دور از دریچه هوا واقع شده باشد، می‌توان اقداماتی را برای جذب انرژی صوتی قبل از رسیدن به خروجی انجام داد، اگرچه ممکن است این برای یک سامانه تخلیه فشار اضطراری مناسب نباشد.
- گاهی اوقات امکان انتقال کانال جریان هوا به یک مکان دورتر یا به یک مخزن تخلیه وجود دارد که تحت این شرایط درجاتی از کاهش صدا در نتیجه ساختمان‌ها و فاصله مکانی ایجاد می‌شود. در جایی که کنترل زمانی امکان‌پذیر است، تخلیه در یک زمان می‌تواند حداقل ایجاد آزار ناشی از صدا را به‌همراه داشته باشد. هم‌چنین اپراتور باید پیامدهای بهداشتی، ایمنی، اثرات زیست‌محیطی انتشار و هم‌چنین تعداد دفعات تکرار عملیات توجه کند. عملکرد مکرر سامانه اضطراری، اهمیت نیاز به تغییر فرایند را

1 -Corona

نشان می‌دهد.

- هرگونه محدودیت و انسداد در کانال‌ها منجر به تولید صدا می‌شود. موانع یا خم‌های شدید با ایجاد آشفتگی و تشکیل گرداب‌ها در فرکانس‌هایی که بر اساس اندازه و شکل انسداد نسبت به سرعت جریان تعیین می‌شود، منجربه ایجاد صدا می‌شوند. اگر هر یک از پیک‌های صدا با فرکانس تشدید سامانه منطبق شوند تقویت صدا رخ داده و تراز صدای بالاتری ایجاد می‌شود. راهکارهای کاهش صدا تا حد زیادی مرتبط با طراحی سامانه، مصالح سازه و سرعت حرکت هوا می‌باشد. اگرچه عایق‌های میراکننده اعمال‌شده در کانال‌ها و لوله‌ها نیز ممکن است مقادیر قابل توجهی از کاهش را ایجاد کنند.
- شیرهای کنترل گاز مورد استفاده در سامانه‌های بخار، گاز یا هوا می‌توانند در گلوگاه ایجاد صدا کنند، به‌ویژه اگر شرایط جریان فراصوت در اثر ترکیب جریان و اندازه روزنه حاصل شود. کاهش فشار به‌طور مشابه در اندازه‌های کوچک یا سامانه‌های موازی بهتر انجام می‌شود. در صورت لزوم از چندین شیر برای جلوگیری از شرایط فراصوت استفاده می‌شود. شیرهای «کم صدا» به‌صورت تجاری در دسترس هستند. این شیرها حاوی فیلتری از مواد متخلخل هستند که باعث کاهش سرعت و کاهش آشفتگی اطراف خروجی می‌شود.
- علاوه بر انتشار مستقیم صدا از شیر، ارتعاشات مربوطه می‌تواند در بالادست و پایین‌دست لوله و سازه‌های اتصالی مجهز به میراکننده ارتعاش ایجاد شود. این امر می‌تواند منجر به لرزش قابل توجهی در فرکانس‌های تشدید سامانه شود. کاهش صدا را می‌توان از طریق پوشش بیرونی لوله و با استفاده از مواد عایقی که خاصیت میراکنندگی دارند، به‌دست آورد.
- صدای تولید شده توسط خروجی‌های سیال خنک‌کننده را می‌توان با افزایش قطر جت و کم‌کردن سرعت برای حرکت دادن همان حجم هوا کاهش داد. عملکرد صحیح این خروجی‌های خنک‌کننده را می‌توان با بهینه‌سازی دبی جرمی، زمان‌بندی و جهت جریان به‌دست آورد. نازل‌های کم صدا به‌صورت تجاری در دسترس هستند اما ممکن است با درجاتی از افت فشار همراه باشند.

۲-۷ صدای فن[1]

صدای فن یکی از مشکلات اساسی در صدای محیط‌های صنعتی و شهری است. هرچند معمولاً میزان تلاطم تراز صدای فن‌ها زیاد نیست و صدای آنها در صورت عدم خرابی مکانیکی اغلب به‌صورت یکنواخت می‌باشد، ولی در شرایطی می‌تواند ایجاد مزاحمت کند و این صداها ممکن است به‌خصوص در شب، بیشتر قابل توجه باشند.

صدا عمدتاً در نتیجه آشفتگی تولیدشده به‌واسطه پره‌های فن ایجاد می‌شود که تابعی از تعداد و سرعت آن‌ها می‌باشد. این صدا می‌تواند در یک پهنای فرکانسی وسیع منتشر شود. در برخی شرایط که مربوط به خرابی در اجزای فن باشد، ممکن است صدای با باند باریک و تراز آزاردهنده ایجاد شود. تراز نشر صوتی و چگونگی باند فرکانسی صدای فن‌ها بسته به نوع فن متفاوت بوده و به ابعاد و مشخصات فن بستگی دارد. به‌طور مثال

1- Fan

فن‌های مکشی معمولاً تراز صدای بالاتری دارند. مطالعات نشان داده است که سرعت، دبی، فشارهای فن و ابعاد می‌تواند در میزان و خصوصیات صدای آن نقش داشته باشد. امروزه مدل‌های محاسباتی برای برآورد صدای فن‌ها ارائه شده است. اما آنچه که اهمیت دارد، این است که تأمین‌کننده مشخصات تراز توان یا تراز نشر صوتی فن را به شرکت ارائه کند و برآورد لازم نیز توسط مشاور(متخصص) ذی‌صلاح برای اطمینان از عدم تشدید صدای محیط توسط این فن‌ها حاصل کند.

در آنالیز فرکانس صدای فن‌ها ممکن است تعدادی پیک‌های دامنه صدا در سراسر طیف صدا دیده شود. این پیک‌های اضافی ممکن است در نتیجه انسداد جریان هوا یا بی‌نظمی در فاصله تیغه ها ایجاد شوند. صدا هم‌چنین می‌تواند از لقی یا ارتعاش جداره‌ها، خرابی یا لقی تسمه، خرابی پولی و بلبرینگ، یا خرابی موتور و همچنین ارتعاش ناشی از به‌هم خوردن تعادل ایجاد شود و در کانال پخش شود. در جایی که فن‌ها به دودکش متصل می‌شوند، صدای فن می‌تواند در فاصله دورتری منتشر شود. در جایی که چند فن با هم کار می‌کنند، تراز صدای مجموع آنها افزایش می‌یابد. مشکلات ناشی از عدم تعمیر و نگهداری یا عدم بالانس به دلیل تجمع رسوبات روی پره‌ها می‌تواند منجر به ایجاد مشکل صدا در فن شود.

چندین راهکار برای کنترل صدای فن وجود دارد و سازندگان اغلب می‌توانند راه حل‌هایی را که در زیر معرفی شده است ارائه دهند، اما به‌طور خاص برای حل یک مشکل طراحی شده‌اند. اگرچه برخی از روش‌ها ساده هستند، اما برخی از راه حل‌ها به طراحی و اجرای دقیق نیاز دارند. دانش و تجربه کافی می‌تواند نقش سازنده‌ای در انتخاب راه حل(های) مناسب برای کاهش صدا داشته باشد.

طراحی و انتخاب فن ایده‌آل و نصب آن باید به‌صورت یک پکیج کامل برای یک کار خاص طراحی شود. تاثیر بر سازه‌های مجاور باید در ملاحظات کاهش صدا در نظر گرفته شود. فن‌ها زمانی می‌توانند صدای کمتری تولید کنند که در عملکردی با راندمان بهینه نسبت به مشخصه‌هایشان کار کنند. این موضوع با توجه به نوع فن متفاوت است. معمولاً اصلاح سامانه برای انتشار صدای کمتر پس از نصب آن دشوار و پرهزینه است. با این وجود تقریباً همه فن‌ها پیک‌های قابل تشخیص تولید می‌کنند که می‌توان با تغییر سرعت آن‌ها را کاهش یا تغییر داد. در بسیاری از موارد، راه حل‌های مهندسی ساده را می‌توان برای کنترل صدا در بررسی‌ها شناسایی کرد. در جدول ۷ یک راهنمای کلی برای انواع فن‌ها، مشخصات صدای آنها ارائه شده است.

جدول ۷ – اطلاعات کلی در مورد صدای انواع فن

نوع فن	صدا	توضیحات
گریز از مرکز	فرکانس‌های پایین	جریان هوا به‌صورت محوری وارد می‌شود و به‌صورت شعاعی خارج می‌شود.
محوری	فرکانس‌های میانی	جریان هوا به‌صورت مستقیم وارد فن شده و از آن خارج می‌شود.
جریان ترکیبی	فرکانس‌های پایین	مسیر جریان هوا چیزی بینابین جریان‌های فن‌های محوری و گریز از مرکز است.
استوانه‌ای	متنوع	پیشران هوا در این فن‌ها به‌شکل استوانه‌ای بلند با تعداد زیادی تیغهٔ باریک است که هوا را از طریق یک شکاف طولی تخلیه می‌کند.
پروانه‌ای/ ملخی	پیک‌های تونال	مشابه به یک فن محوری است، اما معمولاً دارای یک قاب است که اجازهٔ تخلیهٔ هوا به‌صورت شعاعی و محوری با حجم بالاتر و فشار کمتر را می‌دهد.

در جایی که فن‌ها در معرض گرد و غبار بیش از حد، فرسایش یا خارج‌شدن از بالانس باشند، شفت‌ها باید کوتاه باشند و روش‌های معمول تعمیر و نگهداری باید به‌طور مرتب انجام شوند. تعداد کمتری از فن‌های بزرگ‌تر که در سرعت‌های پایین‌تر کار می‌کنند نسبت به فن‌های کوچک‌تر با سرعت بالا صدای کمتری تولید می‌کنند. گاهی اوقات، عملکرد مداوم فن ممکن است باعث ایجاد اختلال و مزاحمت‌های کمتری نسبت به نوع متناوب شود. مزایای استفاده از فن‌هایی با دبی کمتر که به‌طور مداوم فعالیت می‌کنند به‌جای بسیاری از فن‌هایی که به‌طور متناوب فعالیت می‌کنند باید در نظر گرفته شود. این موضوع برای کار فن در شب بسیار مهم می‌باشد، زیرا رله‌هایی که فن‌ها را راه‌اندازی می‌کنند می‌توانند بسیار پرصدا باشند. می‌توان فن‌ها را مکان‌هایی نصب نمود که موانع مصنوعی یا طبیعی بتواند کاهش قابل ملاحظه‌ای در انتشار صدای آنها داشته باشد. برای جلوگیری از انتقال صدای پیکری می‌توان از پایه‌های ضد ارتعاش استفاده کرد. ممکن است لازم باشد کانال‌ها ارتجاعی نصب شوند، به‌خصوص اگر قرار باشد روی فولاد و سازه‌های مشابه ثابت شوند. برای جلوگیری از انتقال صدا از طریق لوله‌ها و سایر موارد، در صورت لزوم، اتصالات باید با استفاده از اتصال‌دهنده‌های انعطاف‌پذیر انجام شود. کانکتورها باید به‌طور مرتب بررسی شوند تا اطمینان حاصل شود که لبه‌های تجمع مواد تشکیل نمی‌شود. استفاده از ورقه‌های فلزی یا سایر مصالح ساختمانی که ممکن است در مجاورت فن‌ها دچار ارتعاش شوند، خودداری شود زیرا ممکن است ارتعاش به سایر قسمت‌های سازه منتقل شود. استفاده از سطوح صاف و منعکس‌کننده صدا در اطراف فن باعث افزایش تراز صدا در داخل ساختمان می‌شود، در صورت وجود چنین سطوحی، لازم است روی آنها با مصالح جاذب صوت پوشانده شود. اصلاحات جزئی در بدنه یا تیغه‌های فن می‌تواند به‌میزان قابل توجهی صدا را در یک فرکانس خاص کاهش دهد. هرچند هزینه این کار پایین است، اما نیازمند کارهای تخصصی می‌باشد و باید مراقب بود که فرکانس صحیح و مدنظر کاهش یابد و فرکانس‌های دیگر مشکلی ایجاد نکنند، یا به‌طور کلی فرکانس‌های جدیدی دیگر ایجاد نشود.

۳-۷ ساکت‌کننده‌ها و انباره‌ها (سایلنسرها و مافلرها)[1]

طیف وسیعی از ساکت‌کننده (سایلنسر) و انباره صوتی (مافلر) برای کاربری‌های مختلف قابل طراحی و تهیه است. تفاوت ساکت‌کننده (سایلنسر) با انباره صوتی (مافلر) در شکل و عملکرد آن است. انباره‌های معمولاً به‌صورت ساده یا ترکیبی اغلب برای خروجی موتورهای درون‌سوزو خروجی جریان سیال با سرعت و فشار بالا طراحی می‌شوند. انباره‌ها از تغییرات سطح مقطع و قوانین تداخل تخریبی امواج صوتی در یک محفظه بسته کار می‌کنند و ممکن است جداره داخلی آنها شامل یک لایه جاذب صوت نیز باشد. سرعت سیال در ورودی انباره‌ها نباید از ۱۰۰ m/s بیشتر باشد، در غیر این صورت انباره عملکرد مناسبی ندارد. انباره‌های آکوستیکی روی اگزوزها می‌توانند صدای مزاحم را تا حد زیادی کاهش دهند. این تجهیزات نباید افت فشار قابل توجهی در مسیر سیال ایجاد کنند. با این حال، اگر نصب آنها فشار برگشتی یا سرعت جریان سیال را افزایش دهد، عملکرد آنها رضایت‌بخش نیست. ساکت‌کننده‌ها(سایلنسرها) برای جریان‌های سیال کمتر از ۳۰ m/s طراحی

1- Silencers and mufflers

می‌شوند و اغلب شامل تیغه‌های جاذب صدا به‌صورت صاف یا مدور هستند که جریان سیال ضمن عبور از بین تیغه‌ها فشار صوتی خود را تا حدی از دست می‌دهد. به‌طور مثال، به‌منظور جلوگیری از انتشار صدای فن از طریق کانال‌ها، سایلنسرهای درون‌کانالی را در بالادست یا در پایین دست قرار داد.

به‌همین صورت برای ورودی و خرجی فن‌ها و بلوئرها[1]، خروجی‌های گاز و بخار ساکت‌کننده‌هایی را نصب نمود تا ضمن کنترل جریان آشفته سیال، صدای ناشی از آن را کاهش دهند. در مورد فن‌ها سایلنسر باید تا حد امکان به فن نزدیک باشند (اما نه آنقدر نزدیک که منجربه سرعت جریان هوا غیر یکنواخت شود). در مواردی که از فن‌ها برای راندن گازها به بالای دودکش استفاده می‌شود، گاهی اوقات می‌توان سایلنسرهای حاوی مصالح جاذب را مستقیماً در بالای دودکش نصب کرد. هرچند این نکته باید ذکر شود که در مواردی که گازها داغ، مرطوب یا کثیف هستند، نیاز به محافظت از مواد پرکننده می‌باشد.

جریان هوا یا گاز درون یک فن باید تا حد امکان یکنواخت باشد و از ایجاد خمیدگی‌های تیز با زاویه راست در کانال باید خودداری شود. مقاومت در ورودی و خروجی باید تا حد امکان کم باشد تا از بارگذاری غیرضروری روی فن جلوگیری شود. تغییرات جهت باید به‌صورت منحنی باشد. اتصالات باید طوری طراحی شوند که به جهت جریان سیال کمک کنند. استفاده از ورودی‌ها و خروجی‌های گرد یا شیب‌دار می‌تواند به اطمینان از جریان ملایم سیال کمک کند. ساکت‌کننده‌ها و انباره‌های صوتی اگر با دقت طراحی، نصب و نگهداری نشوند ممکن است آشفتگی مضاعف سیال ایجاد کنند و سبب تشدید صدا شوند.

تعمیر و نگهداری منظم تجهیزات تهویه بسیار مهم است. بسیاری از شکایات مربوط به صدا ناشی از فرسودگی، عدم تعادل ناشی فرسایش یا آسیب‌دیدگی، گرد و غبار و رسوبات روی پروانه و مجرای مجاور آن است. علاوه بر این، در صورت آلودگی سیال به ذرات و بخارات، ممکن است سبب آسیب دیدن ساکت‌کننده یا انباره شود و انسداد، فرسایش، یا خوردگی و پوسیدگی سبب کاهش عملکرد آنها شود. در هر صورت طراحی انباره‌ها و ساکت‌کننده بسیار تخصصی بوده و نیازمند مشاور مجرب می‌باشد.

۷-۳-۱ تجهیزات ساکت‌کننده صدا

ساکت‌کننده‌ها باید با استاندارد EEMUA 161 و کدها و استانداردهای مناسب برای طراحی مکانیکی مطابقت داشته باشند. طراحی سایلنسرها باید این اطمینان را بدهد که هر قسمت که ممکن است به‌طور ناخواسته شل شود، قسمتی یا به‌طور کامل خروجی سایلنسرها را مسدود نکند یا به تجهیزات پایین دست (مانند کمپرسورها) آسیب نرساند.

سایلنسرها و مافلرها در صورتی ممکن است در فهرست تجهیزات فرایند پر صدا در مرحله طراحی و توسعه گنجانده شوند که راه‌حل دیگری برای کنترل صدای تجهیز وجود نداشته یا اجرایی نباشد. هنگامی که تأمین‌کننده انتخاب شد، جزئیات این تجهیزات کنترل صدا باید بین تأمین‌کننده و شرکت مورد توافق قرار گیرد. شرکت ممکن است تصمیم بگیرد که تجهیزات را جدا از تجهیزات فرایند سفارش دهد. در هر حال

1- Blowers

نتیجه کار باید برای کنترل صدا اطمینان‌بخش باشد.

انتشار صدا از برخی تجهیزات سایلنسر (مانند سایلنسرها روی دودکش‌های ونت، عایق صوتی روی لوله‌ها) همیشه شامل تجهیزات خاص ارائه شده نیست و باید اطمینان حاصل شود که چنین تجهیزات سایلنسر در طراحی گنجانده شده است و برگه‌های داده/ الزامات مربوطه ارائه شده باشد.

برای برخی از تجهیزات، محاسبات یا اندازه‌گیری‌ها ممکن است نشان دهند که صدای آنها از حدود مجاز صدا فراتر رود، اما با احتمال بالا با استفاده از ساکت‌کننده‌ها و انباره‌ها به ترازهایی کمتر از حد مجاز برسد. برای چنین تجهیزاتی، اعمال اقدامات کنترل صدا نباید تا زمانی که تراز واقعی صدا پس از راه‌اندازی به‌دست آید، به تعویق بیفتد، مگر اینکه به‌طور خاص با شرکت توافق شده باشد. برخی انباره‌ها یا ساکت‌کننده‌ها لازم است برای کاهش صدای تجهیزات نصب و راه‌اندازی فرایند موردنیاز باشند. در این شرایط لزوم استفاده از نوع ثابت یا نوع متحرک موقت باید مشخص و اجرایی شود.

۴-۷ صدای کمپرسورها

کمپرسور[1] یا متراکم‌کننده دستگاهی برای فشرده‌کردن سیالات تراکم‌پذیر می‌باشد. در برخی فرایندها، کمپرسورها وسایلی هستند که هوا یا گاز را فشرده نموده و به سمت قسمت محفظه احتراق می‌فرستند. کمپرسورها وسایلی هستند که با صرف انرژی مکانیکی، سیال گازی (معمولاً هوا) را با سرعت به درون خود مکیده و سپس آن را فشرده می‌سازند. در اثر این عملیات، دمای گازی که فشرده می‌شود نیز افزایش می‌یابد. معمولاً گاز پر فشار خروجی از کمپرسورها را از یک سامانه خنک‌کننده عبور می‌دهند تا دمای گاز دوباره به حد معمولی بازشود. انواع گوناگونی از کمپرسور وجود دارد که برای مصارف صنعتی و عمومی طراحی شده‌اند. کمپرسورها را بر پایه ویژگی‌های گوناگون طبقه‌بندی می‌کنند. نیروی محرکه کمپرسورها بسته به قدرت آن‌ها می‌تواند توسط الکتروموتور یا موتور سوختی (بنزینی، دیزلی یا توربینی) تامین شود. در یکی از رایج‌ترین این طبقه‌بندی‌ها، برپایه نحوه انتقال انرژی از کمپرسور به سیال است که به دودسته دینامیکی و جابه‌جایی مثبت تقسیم می‌شوند.

در طراحی و ساخت بسیاری از کمپرسورها، عواملی نظیر بازدهی بالا، مقاومت مکانیکی، طول عمر و قیمت معمولاً در طراحی کمپرسورها بسیار مهم‌تر از پایین بودن تراز صدای آنها بوده و با هدف کنترل توان صوتی طراحی نشده‌اند و روش‌های کنترل صدا اغلب بعد از اینکه کمپرسور نصب شده است به‌کار گرفته می‌شوند. برخی از عوامل طراحی کمپرسورها نیز عملاً تحت کنترل طراح نمی‌باشند و نمی‌توان با تغییر آنها صدا را کاهش داد. این عوامل عبارتند از:

۱- توان ورودی کمپرسور که به‌وسیله افزایش فشار موردنیاز و میزان جریان عبوری از کمپرسور تعیین می‌شود؛
۲- میزان آشفتگی سیال گازی در دورن محفظه کمپرسور؛

1- Compressor

۳- نوع گاز فشرده شده درون کمپرسور.

تعدادی از عوامل طراحی را نیز می‌توان در مرحله طراحی تنظیم نمود و از این طریق تراز توان صدای کمپرسور را کاهش داد. این عوامل را می‌توان به ۴ دسته تقسیم نمود:

۱- تداخل تیغه روتور (متحرک)– استاتور (ثابت)؛

۲- تقسیم‌بندی پروانه موتور– دیفیوزر؛

۳- سرعت چرخش موتور؛

۴- تعداد طبقه‌ها (مراحل) تراکم سیال.

همان‌طور که عنوان شد، در ارتباط با کمپرسورها، تراز توان و تراز فشار وابسته به مشخصات چرخش موتور، تعداد تیغه‌ها و توان الکتریکی مصرفی آن است. تغییرات یا اصلاحات در مؤلفه‌های آنها با عوامل دیگری نظیر بازدهی و عملکرد دستگاه تداخل دارد، بنابراین در اغلب موارد باید از روش‌های کنترل صدا استفاده نمود که خارج از مکانیک اجزای دستگاه باشد. این روش‌ها شامل طراحی و نصب اتاقک روی کمپرسور و طراحی و نصب مافلر در محل ورودی هوا می‌باشد. در اغلب موارد لازم است هم برای ورودی هوا انباره یا ساکت‌کننده نصب شود و هم برای کنترل صدای منتشر شده از جداره، اتاقک‌سازی انجام شود. اتاقک‌های آکوستیک باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که باید کارکنان عملیاتی/ نگهداری بتوانند کار خود را بدون اینکه مانعی در حرکت آنها ایجاد شود انجام دهند.

۷-۵ صدای پمپ‌ها

پمپ وسیله‌ای مکانیکی برای انتقال مایعات است که معمولاً با افزایش فشار جریان آن، امکان جابه‌جایی را به ارتفاعی بالاتر فراهم می‌آورد. پمپ کاربردهای فراوان در صنعت و حتی در وسایل نقلیه دارد. پمپ‌ها دارای انواع مختلفی هستند. پمپ‌ها را بر پایه ویژگی‌های آنها طبقه‌بندی می‌کنند. یکی از رایج‌ترین طبقه‌بندی‌ها، برپایه نحوه انتقال انرژی از پمپ به سیال است. در این دسته‌بندی، پمپ‌ها به دو دسته دینامیکی و جابه‌جایی مثبت تقسیم می‌شوند:

۱- پمپ‌های دینامیکی[1]: در این پمپ‌ها انتقال انرژی به سیال به‌طور دائمی است. اقسام پمپ‌های دینامیکی عبارت‌اند از: گریز از مرکز[2] و جریان محوری[3].

۲- پمپ‌های جابه‌جایی مثبت[4]: در این پمپ‌ها انتقال انرژی به سیال به‌صورت متناوب یا دوره‌ای صورت می‌پذیرد. اقسام پمپ‌های جابه‌جایی مثبت عبارت‌اند از: رفت و برگشتی[5] و دوار[6].

در تمام پمپ‌ها، جریان سیال از ورودی پمپ واردشده و تحت‌فشار بالا به سمت خروجی آن رانده می‌شود.

1- Dynamic pumps
2- Centrifugal
3- Axial
4- Positive shift
5- Reciprocating
6- Rotary

سرعت چرخش، تعدد اجزاء و تلاطم جریان و بالطبع آن تغییرات فشار می‌تواند سبب ارتعاش و ایجاد امواج صدای هوایی شود. به‌طور ایده‌آل، جریان سیال در پمپ باید یکنواخت بوده و نوسان فشار نداشته باشد، اما عملاً تغییراتی ایجاد می‌شود که ناشی از عملکرد پمپ‌ها است. عملکرد حرکت سیال در پمپ به‌دلیل ساختار پره‌ها مانند پیستون‌ها و دنده‌ها می‌باشد و در واقع نوسانات این اجزا اغلب سبب ایجاد صدای پمپ می‌باشد. بسیاری از پمپ‌ها، زمانی که در فشار و ظرفیت دبی و سرعت بهینه خود هستند منبع صدای مزاحم تلقی نمی‌شوند، اما به‌هم خوردن هریک از مؤلفه‌ها و نصب و نگهداری ناصحیح آن‌ها می‌تواند سبب ایجاد صدای مزاحم شود.

صدای پمپ‌ها شامل هر دو بخش هیدرولیک و مکانیک آن‌ها است. بعضی از دلایل صدا در پمپ‌ها شامل: حفره (خلأ) سیال، نوسانات فشار، تاثیر سطوح جامد و عدم توازن دینامیکی روتور است. معمولاً منابع هیدرولیک به‌جز مواردی که مشکل مکانیکی در پمپ ایجاد شود، مانند عدم توازن در روتور، مهم‌ترین تولیدکننده صدا در پمپ‌ها می‌باشند. صدای مزاحم می‌تواند از پمپ به‌واسطه چرخش هوای متلاطم در اطراف آن و یا از میان لوله‌ها و یا ارتعاش ساختار پوششی پمپ نیز ایجاد شود. صدای ساختار پوششی را می‌توان با ایزولاسیون مناسب، ارتعاش پمپ کاهش داد.

هرچند پمپ‌ها انواع مختلفی دارند اما به‌طور کلی ملاحظه دقیق وضعیت نگهداری، وضعیت محل نصب، وضعیت اجزای متصل به پمپ مانند لوله‌ها، جعبه‌دنده و الکتروموتور می‌تواند در تشخیص و کنترل صدا موثر باشد. برخی پمپ‌ها ممکن است فرسوده شده باشند و باید تعویض یا تعمیر اساسی شوند، بنابراین تشخیص عمر آن و تعیین دوره‌های تعمیرات می‌تواند به راه حل کنترل کمک کند. موضوع محل نصب و فونداسیون از اهمیت بالایی برخوردار است. پمپ باید حتماً روی فونداسیون منفرد و مناسبی که دارای جرمی بیشتر از جرم پمپ باشد قرار گیرد. لازم است پمپ‌ها تا حد امکان روی سطح زمین نصب شوند زیرا نصب آنها در نیم‌طبقه یا در طبقات به‌دلیل ارتعاشاتی که ایجاد می‌کنند، سبب تشدید صدای آن‌ها می‌شود. استفاده از ایزولاتور ارتعاشی در محل اتصال پمپ به فونداسیون یکی از راهکارهای مهم کنترل صدای آن‌ها است. صدای ناشی از لوله‌کشی متصل به پمپ را نیز باید مورد توجه قرار داد، زیرا انتقال ارتعاش پمپ به مسیر لوله و تلاطم جریان سیال می‌تواند صدای مضاعفی را تحمیل کند. مناسب‌ترین راه‌حل شامل اتصالات ارتجاعی (کوپلینگ منعطف) و نصب ایزولاتور لاستیکی در محل اتصال لوله‌ها به سازه اصلی می‌باشد.

یکی از روش‌های موثر و متداول کنترل صدای پمپ‌ها، محصورسازی کامل است. در اغلب موارد، طراحی اتاقک برای پمپ‌ها بهترین راه است زیرا بیشتر پمپ‌ها به هوادهی جهت خنک ماندن نیاز ندارند. در طراحی اتاقک برای پمپ باید جزئیات موردنیاز برای لایه‌بندی جداره، محدودسازی منافذ ورودی شفت‌ها و لوله‌ها به‌دقت مورد توجه قرار گیرد. در مواردی که نیاز به جریان هوا در داخل اتاقک باشد، امکان ایجاد مسیرهایی برای جریان طبیعی یا مصنوعی هوا وجود دارد. پس از محصورسازی پمپ، سایلنسرهایی نیز برای خروجی پمپ قابل طراحی است که می‌تواند تا حدی به کنترل صدا کمک کند.

۷-۶ صدای مشعل‌ها

مشعل دستگاهی است که با ترکیب مقدار معینی هوا با سوخت در یک فضای ایمن، انرژی سوخت را به انرژی گرمایی تبدیل می‌کند در اثر این احتراق مقداری گاز نیز تولید می‌شود. کار اصلی مشعل، ایجاد گرمایش است. استفاده متداول از مشعل در صنعت، به‌عنوان موتور احتراق بویلرها است، هم‌چنین در انواع دیگ‌ها، مشعل‌هایی با ظرفیت کاری متفاوت استفاده می‌شود. طرز کار مشعل بدین شکل است که با پاشش سوخت (گاز، گازوییل، مازوت) حرارت موردنیاز را به‌صورت شعله به داخل کوره یا بویلر هدایت می‌کند. در اکثر موارد سوخت تحت‌فشار بالا از نازل مشعل خارج می‌شود و در فضای احتراق می‌سوزد. جریان سیال متلاطم خروجی از دهانه نازل علت اصلی انتشار صدای مشعل می‌باشد. صدای ناشی از این مشعل‌های صنعتی به مشخصات فنی تجهیز و مشخصات نازل آن مرتبط است که اغلب دارای باند پهن فرکانسی می‌باشند. اصول کلی کنترل صدای مشعل‌ها مبتنی بر ارتقای فناوری، طراحی و اصلاحات نازل و اتاقک‌سازی بر روی مشعل می‌باشد.

۷-۷ صدای ناشی از فلر[1]

در بسیاری از صنایع که گازهای زائد قابل احتراق تولید می‌شود، از فلرها برای سوزاندن این گازها به‌صورت کنترل‌شده استفاده می‌شود. در میان سایر جنبه‌های زیست‌محیطی، انتشار صدای ناشی از شعله‌ور شدن گاز در فلرها در بسیاری از کشورها با افزایش جمعیت و نزدیک‌تر شدن مناطق مسکونی و صنعتی به یکدیگر اهمیت زیادی پیدا کرده است. نصب تجهیزات کنترل صدای روی فلرها زمانی که فلرها در حال کار کردن هستند تقریباً غیرممکن است. بر این اساس، به‌منظور انجام برنامه‌ریزی‌های به‌موقع مربوط به اقدامات کنترل صدا و جلوگیری از هزینه‌های غیرضروری، پیش‌بینی انتشار صدای فلرها در ابتدای فرایند طراحی آن‌ها بسیار مهم است. انجام این امر مستلزم داشتن دانش و اطلاعات مربوط به منابع تولید صدای فردی مرتبط با سامانه مشعل فلر و توانایی محاسبه سهم هر یک از این منابع در تولید و انتشار صدای کلی، بر اساس داده‌های موجود در مرحله برنامه‌ریزی است. مشاورین و مدیران فنی شرکت که از فلرها استفاده می‌کنند نه تنها باید از مقررات زیست‌محیطی مربوط انتشار صدا پیروی کنند، بلکه باید درک کلی از شعله‌ور گاز در فلر و تأثیرات صوتی آن بر تأسیسات و صنایع کناری و همسایگانش نیز داشته باشند. برای بهینه‌سازی صوتی فلرها، می‌توان از اقدامات اولیه کنترل صدا (مانند طراحی فلرهای کم‌صدا) و اقدامات ثانویه کنترل صدا (مانند سایلنسرها و موانع صوتی) بسته به نوع مشعل و چگونگی شعله‌ور شدن گاز در مشعل مورد نظر استفاده کرد. با این حال، مشخصه تعیین‌کننده اکثر فلرها این است که فلرها تحت هیچ شرایطی و بدون ایجاد خطر ایمنی غیرقابل تحمل در زمانی که صنعت مربوطه در حال فعالیت است خاموش نمی‌شوند. در نتیجه، اگر یک فلر پس از راه‌اندازی آن، صدای بیش از حد تولید کند، معمولاً برای چندین سال، هیچ روش کنترل صدای مقرون به‌صرفه‌ای برای آن وجود ندارد. در نتیجه، مفهوم کنترل صدای بهینه فلر باید در مرحله طراحی فلر در نظر گرفته شود. برای این منظور، ضروری است که بتوان تراز و ویژگی‌های انتشار

1 -Flare

صدای مورد انتظار فلر را با دقت کافی پیش‌بینی کرد. روابط ساده مربوط به پیش‌بینی انتشار صدای فلرها را می‌توان از دستورالعمل VDI 3732 به‌دست آورد و در آخر انتخاب فناوری باید متناسب با محدوده کاربری مناطق اطراف فلر و پیش‌بینی میزان تراز نشر صوتی نهایی آن باشد به‌طوری که از مقادیر حد مجاز زیست محیطی فراتر نرود.

یادآوری۱- فلرهای بلند هنگامی که با میزان دبی تا ٪ ۱۵ حداکثر ظرفیت شعله‌ور شدن کار می‌کنند نباید از حد منطقه کار در محیط منطقه ایمن[1] (حداقل ۶۰ متر از پایه فلر) فراتر روند. فلرهای زمینی باید دارای حصار آکوستیک مناسب باشند که بتواند در محدوده اطراف خود تراز فشار صوت مجاز محیطی را حفظ کنند. اگر فرایندی که فلر به آن اختصاص داده می‌شود مشمول الزامات صدای محیطی باشد، کاربرد فلرهای کم صدا باید مورد ارزیابی قرار گیرد حتی اگر فلر فقط برای شرایط اضطراری استفاده شود.

توجه یادآوری۲- تعیین تراز توان صوتی برای فلرهای مورد استفاده در هنگام عملیات باید در نظر گرفته شوند.

۸ طراحی عایق صوتی برای لوله‌ها، شیرها و فلنج‌ها

صدای منتشرشده از دیواره لوله معمولاً توسط تجهیزات متصل به لوله مانند کمپرسور، پمپ‌ها، ولوها یا اجکتورها ایجاد می‌شود. این منابع صوتی ممکن است باعث شوند که بخش طویل لوله صدا ایجاد کند زیرا صدا با کاهش کمی در لوله منتقل می‌شود. انتشار صدای لوله‌ها می‌تواند با نصب عایق میراکننده صوتی روی جداره بیرونی کاهش یابد. عایق‌های صدا به‌صورت نواری و صفحات و غلاف‌ها چسبانده شوند یا به‌صورت پوشش (ژاکت) روی جداره نصب شوند. سه کلاس عایق صوتی در نظر گرفته شده است که به‌صورت A، B و C مشخص می‌شوند. (به مرجع [32] کتابنامه مراجعه شود)

۹ طراحی اتاقک‌ها و محفظه‌ها

برای اتاقک‌سازی ابتدا لازم است اندازه‌گیری دقیقی از صدای محیط به‌همراه آنالیز فرکانس یک اکتاو باند در شبکه وزنی خطی انجام شود. اندازه‌گیری باید حاوی تمام شرایط انتشار صدا باشد تا طراح بتواند بر اساس بدترین شرایط مواجهه افراد با صدا، نسبت به تعیین روش و جزئیات طراحی اتاقک اقدام کند. در طراحی اتاقک دو عنصر اساسی دارای اهمیت می‌باشد که شامل تراز فشار صوتی که باید کاهش یابد و فرکانس غالب صوت است. ساخت اتاقک‌های آکوستیک از نظر مصالح، اصولاً به دو گروه اتاقک‌های با مصالح بنایی و مصالح فشرده تقسیم می‌شوند که هریک دارای مزایا و معایبی هستند. به‌طور کلی برای مکان‌هایی که فضا و تمیزکاری هنگام اجرا اهمیت بیشتری داشته باشد، از مصالح با لایه‌بندی فشرده استفاده می‌شود. با توجه به محیط مورد نظر، می‌توان یکی از این دو روش را انتخاب نمود ولی از نظر میزان کاهش صدا هر دو روش کاملاً کارایی دارند. اما برای دست‌یابی به افت بالاتر از ۲۰ دسی‌بل باید ملاحظات متعددی را در نظر گرفت. به‌همین خاطر اگر کنترل صدا بالاتر از این عدد موردنیاز باشد، اغلب اتاقک‌سازی تنها گزینه است. در طراحی

1- Sterile

اتاقک اولین رکن مهم مقاومت سازه در مقابل صدمات و ضربات و تنش‌های احتمالی است، بنابراین در هر حال باید اصول طراحی مکانیک سازه رعایت شود. اتاقک‌ها باید همواره دارای فونداسیون مناسب باشند و در صورت لزوم از اتصالات میراکننده ارتعاش در اتصال سازه اتاق به فونداسیون استفاده شود. سایر موارد مانند مقاومت در برابر حریق، عدم سمیت مصالح و رعایت نکات زیبایی‌شناسی و معماری نیز ضروری است. اتاقک برای کارکنان با استقرار دائم باید دارای حداقل حجم فضای $12\ m^3$ به ازای هر نفر بوده و ۲۰ فوت مکعب بر دقیقه (cfm) هوای تازه شرایط‌سازی شده در نظر گرفته شود. وجود پنجره به تعداد و ابعاد مناسب، درب تردد اصلی و خروج اضطراری، روشنایی متناسب، سامانه هشدار حریق، خط تلفن ارتباطی و سایر لوازم آسایشی باید در نظر گرفته شود. در اتاقک‌سازی برای کارکنان باید تا حد امکان پنجره‌ها بازشو نباشد و درب‌ها به داخل باز شوند و در طراحی درب‌ها دقت شود که مقابل منابع صدای اصلی قرار نگیرند یا با زاویه ۹۰° نسبت به منابع صدا طراحی شوند.

در روش اتاقک‌سازی با استفاده از مصالح بنایی، ابتدا لازم است که جانمایی مناسبی برای محل احداث صورت گیرد و پس از اجرای فونداسیون معمولاً سازه اصلی با استفاده از اسکلت فولادی انجام می‌شود. محاسبات سازه فولادی باید توسط مهندس سازه انجام شود. پس از اجرای اسکلت‌بندی، سقف اتاقک با استفاده از تیرچه بلوک یا سایر روش‌های متداول اجرا و روی سقف پس از آرماتوربندی به ضخامت بین cm ۱۰ تا cm ۱۲ بتن‌ریزی می‌شود.

سقف سبک به هیچ وجه برای اهداف کنترل صدا مناسب نیست، زیرا هم درزبندی کاملی ندارد و هم چگالی سطحی آن برای کنترل صدا به‌میزان کافی نیست. پس از اجرای سقف دیوارها اجرا می‌شود. مصالح دیوارها بسته به چگالی سطحی موردنیاز از انواع متداول انتخاب می‌شود. نکته بسیار مهم در انتخاب مصالح این است که باید از بلوک‌ها یا آجرهای توپر استفاده شود. استفاده از بلوک‌های سفالی یا پانل‌های گچی به‌هیچ وجه مناسب کنترل صدا نیست. بلوک‌های سیمانی دارای قفل و بست یا آجر توپر گزینه‌های اقتصادی می‌باشند. مصالح جدیدی شامل بلوک‌های سیپورکس یا بتن سبک با چگالی متناسب با نیاز طراحی که با ملات مخصوص اجرا می‌شوند نیز می‌توانند گزینه‌های بعدی باشند. در هر صورت اجرای دیوارها باید با کمترین درز آشکار و پنهان و اصطلاحاً به‌صورت دوربند اجرا شود. لازم است که برای اطمینان از درزبندی کامل، دو طرف دیوارها با آستر ملات ماسه و سیمان به ضخامت cm ۲ پوشانده شود و آنگاه لایه نهایی نمای خارجی یا اندود داخلی روی آن اجرا شود. کلاف موردنیاز برای درب و پنجره نیز باید کاملا در داخل دیوار قرار گیرد و مماس با جداره دیوار نباشد زیرا شکاف‌های ایجاد شده باعث کاهش کارایی عایق می‌شود. پنجره‌ها باید تا حد امکان کوچک و غیر بازشو باشند. جنس پنجره‌ها باید از کلاف سنگین پلی وینیل کلرید سخت (UPVC) و شیشه دو تا سه جداره مطابق با استانداردهای مربوطه باشد. پنجره‌های استاندارد دوجداره حدود ۲۳ دسی‌بل و سه جداره حدود ۲۷ دسی‌بل قابلیت عایق‌بندی دارند و شرط تحقق این مقادیر درزگیری و چسب‌کاری دقیق و کامل در هنگام نصب است..

اجرای اتاقک‌های آکوستیک که اجرای آن‌ها سریع و تمیز باشد در محیط‌های شهری و صنعتی رو به افزایش است. برخی دلایل مهم برای استفاده از فناوری اتاقک با لایه‌بندی فشرده شامل: سهولت نصب، نازک‌بودن

لایه‌های سطوح جداره (حداکثر ۱۰ cm)، قابلیت شکل‌پذیری متنوع، امکان متحرک‌بودن تمام یا بخشی از سازه می‌باشد. اتاقک با لایه‌بندی فشرده شامل یک کلاف اسکلت فلزی (معمولاً فولادی) متناسب با ابعاد و ویژگی‌های طرح است که محاسبات آن سازه باید طبق اصول فنی بوده و مقاومت کافی در برابر هرگونه تنش مکانیکی را داشته باشد. کلاف اصلی معمولاً با استفاده از پروفیل قوطی مقطع چهارگوش ساخته می‌شود که باید بر روی فونداسیون مناسب نصب شود. محل اتصال سازه با فونداسیون باید شامل یک صفحه و بولت فولادی متناسب با نیاز پروژه باشد که در بستر بتنی نصب شده باشد. برای اتصال ستون‌های عمودی اتاقک اغلب نیازی به شناژ افقی وجود ندارد بلکه استفاده از کلاف زیرین از جنس ناودانی یا قوطی فولادی می‌تواند این اتصال را برقرار کند.

پس از اجرای کامل اسکلت سازه، لایه‌های اصلی جداره شامل ورق‌های سنگین فولادی (یا در برخی موارد آلومینیم) روی آن نصب می‌شود. نصب جداره فلزی ترجیحاً به‌صورت جوش سرتاسری و در برخی موارد با کمک پیچ یا پرچ می‌باشد. در هر حال باید درزبندی به‌صورت کامل انجام شود. پس از اجرای لایه‌بندی فلزی و نقاشی زیرکار که معمولاً ضد زنگ‌کردن سازه است، مراحل تزریق فوم بین جداره و یا نصب فوم روی جداره داخلی در مرحله بعد انجام می‌شود. سپس لایه داخلی بعدی شامل پشم معدنی و لایه نهایی روکش جاذب داخل اتاقک نیز متناسب طرح اجرا می‌شود. مرحله نهایی نصب درب و پنجره‌ها و کف‌سازی نهایی و نصب تأسیسات روشنایی، ارتباطی و تهویه و نقاشی یا نماکاری بیرونی است. اجرای لایه‌بندی با دقت و طبق طراحی اولیه انجام شود تا عملکرد کلی لایه‌های ساندویچی کارایی اتاقک را در عایق‌بندی صحیح و موثر تضمین کند. در برخی موارد امکان اجرای سازه در محل میسر نیست، در این صورت کل اتاقک یا اجزای لایه‌بندی شده آن باید در محل دیگر ساخته شود و در محل نصب مونتاژ شود. مهمترین مشکل مونتاژ در محل، درزبندی است که باید به‌خوبی انجام شود.

۱۰ روش‌های کنترل ارتعاش شغلی

با توجه به اهداف کنترل ارتعاش، از جمله اصولی که می‌توان در تولید و کنترل ارتعاش به‌منظور حفاظت از افراد یا کاهش مواجهه شغلی انجام داد عبارتند از:

الف- کنترل ارتعاش در زمان طراحی و تولید تجهیزات؛

ب- کنترل ارتعاش به‌وسیله روش‌های فنی و مهندسی در منبع تولید ارتعاش؛

پ- نصب میراکننده‌ها در محل‌های تماس بدن با تجهیز مرتعش؛

ت- کنترل دستگاه‌ها از راه دور؛

ث- اقدامات مدیریتی نظیر کاهش زمان مواجهه، نوبتی نمودن شغل؛

ج- استفاده از وسایل حفاظت فردی نظیر کفش و دستگاه و زیرپایی ضد ارتعاش؛

چ- ارزیابی سلامت کارکنان از طریق معاینات قبل از استخدام، معاینات دوره‌ای و تشخیص سریع عوارض

ناشی از ارتعاش.

کنترل ارتعاش در سه مرحله به ترتیب اهمیت و اولویت شامل کنترل فنی و مهندسی (کنترل در منبع تولید ارتعاش، نصب میراکننده‌ها در دستگاه مرتعش)، کنترل مدیریتی (آموزش، کاهش زمان مواجهه، چرخشی نمودن شغل)، و حفاظت فردی (دستکش و کفش و زیرپایی ضدارتعاش) تقسیم‌بندی می‌شود.

۱۰-۱ انتخاب روش کنترل ارتعاش

به‌طور کلی تولید ارتعاش در تجهیزات صنعتی و مکانیکی به‌جز در مواردی که لرزش جز طبیعی از این دستگاه می‌باشد، نشانه ضعف در طراحی دستگاه است. کنترل ارتعاش در صورتی که به‌درستی انجام بگیرد، منجربه کنترل صدا آن تجهیز نیز می‌شود. نکته قابل توجه این است که کنترل ارتعاش باید در مرحله طراحی سامانه یا فرایند شروع شود. روش‌های کنترل ارتعاش با یکی از اهداف زیر حاصل می‌شود:

الف- محافظت از تجهیزات و بناها از تخریب ناشی از ارتعاش مداوم؛

ب- محافظت از افراد در برابر صدمات ناشی از ارتعاش؛

ج- کنترل صدای ناشی از ارتعاش.

۱۰-۲ کنترل ارتعاش در مرحله طراحی و ساخت

به‌طورکلی ارتعاش تولید شده توسط تجهیزات و دستگاه‌های موجود در صنعت به دو شیوه می‌باشد، یک، ارتعاشی که به‌دلیل ماهیت خود فرایند و دستگاه می‌باشد و بخشی از فرایند است و دو، ارتعاشی که به‌دلیل اتلاف انرژی مکانیکی ایجاد می‌شود. صنایع تولیدکننده دستگاه‌ها برای هر دو ارتعاش تولید شده باید تدابیر فنی در نظر بگیرند که میزان ارتعاش کاهش یابد. در بسیاری از موارد کنترل فنی ثمربخشی زیادی ندارد بنابراین لازم است صنایع تولیدکننده در هنگام تولید این دستگاه‌ها موارد کنترلی را در نظر بگیرند، همچنین باید در هنگام تهیه و خرید دستگاه بحث ضدارتعاش بودن دستگاه در نظر گرفته شود.

۱۰-۲-۱ ملاحظات کنترل در مرحله طراحی و توسعه

لازم است در مرحله طراحی و توسعه فرایندهای همانند آنچه در مورد انتخاب فرایند، انتخاب فناوری و انتخاب تجهیزات در مورد صدا گفته شد، ملاحظات مربوط به کیفیت و کمیت ارتعاش تجهیزات و میزان اقدامات کنترل ارتعاش در مرحله ساخت و همچنین اقدامات انجام شده توسط تأمین‌کننده مورد بررسی قرار گیرد. در سفارشات و مناقصات نیز لازم است این معیارها توسط شرکت در استعلامات درج شود و تأمین‌کننده باید مستندات مربوط به میزان ارتعاش تجهیز و تجهیزات کنترل ارتعاش مرتبط با آن را در پیشنهادات درج کند. تأیید فنی هر تجهیز در ارتباط با ویژگی‌های کنترل ارتعاش باید به صورت تخصصی مد نظر قرار گیرد.

۱۰-۳ کنترل ارتعاش در مرحله نصب و بهره‌برداری

اصولاً برای کنترل ارتعاش می‌توان از سه عامل جرم و فنریت برای فرکانس‌های پایین و میرایی برای فرکانس‌های بالا به‌صورت ترکیبی استفاده کرد. به‌کارگیری این‌گونه کنترل‌ها در داخل دستگاه و یا در محل دستگاه انجام می‌شود. مهم‌ترین روش‌های کنترل فنی ارتعاش شامل روش‌های زیر است:

الف- کنترل دینامیک ارتعاش؛

ب- ایجاد فونداسیون تجهیزات ارتعاشی؛

پ- کنترل مبتنی بر عایق‌های ارتعاشی؛

ت- کنترل از راه دور دستگاه‌ها؛

ث- جداسازی با اتصالات قابل‌ارتجاع؛

ج- کنترل فعال ارتعاش.

یادآوری- هرگونه مطالعه و طراحی مداخلات کنترل ارتعاش باید توسط مشاورین ذی‌صلاح و تایید تخصصی در این زمینه انجام شود.

۱۰-۴ الزامات طراحی فنی کنترل ارتعاش

بررسی کنترل ارتعاش در مرحله بهره‌برداری پس از انجام اندازه‌گیری و ارزیابی و بررسی‌های مهندسی قابل انجام است. طراحی فنی باید توسط مشاور تخصصی و با تجربه فنی انجام شود. طراحی کنترل فنی باید با رعایت اثربخشی و جنبه‌های اجرایی و اقتصادی ارائه شود. طرح کنترل نباید هیچ‌گونه اختلالی در فرایند یا مکانسیم کار تجهیزات ایجاد کند و از اثربخشی آن اطمینان حاصل شود.

۱۰-۵ تهیه مستندات مربوط به طراحی‌های فنی کنترل ارتعاش

از مرحله طراحی تا مرحله نصب و بهره‌برداری، لازم است تمامی مستندات فنی مرتبط با تولید، انتشار و کنترل ارتعاش و همچنین اطلاعات مربوط به تعمیرات و نگهداری تجهیزات ثبت و نگهداری شود. هم‌چنین اطلاعات مربوط به نتایج اندازه‌گیری ارتعاش تجهیزات و مواجهه کارکنان با ارتعاش نگهداری شود تا امکان بهره‌برداری از آنها برای بررسی روند تغییرات، پایش وضعیت و مقایسه نتایج مداخلات وجود داشته باشد. تصمیم‌گیری در مورد محل نگهداری این اسناد با مدیریت است، اما باید نسخه‌ای از آن در واحد بهداشت، ایمنی و محیط زیست نگهداری شده باشد. این مستندات باید شامل اطلاعات مربوط به میزان ارتعاش منابع، نقشه‌های محل استقرار آنها، تاریخ نصب و نتایج تعمیرات و نگهداری ادواری، هرگونه تغییر در فناوری و ماهیت مکانیکی و عملکرد دستگاه، نتایج اندازه‌گیری ارتعاش تجهیزات، نتایج اندازه‌گیری ارتعاش برای کارکنان و سایر اطلاعات مشابه باشد.

۱۰-۵-۱ نگهداری مستندات مربوط به طراحی‌های فنی کنترل ارتعاش

لازم است تمامی مستندات نتایج اندازه‌گیری و ارزیابی ارتعاش که منتج به تصمیم‌گیری و اجرای طرح‌های کنترل صدا شده است به تفکیک هر واحد، نگهداری شود. در هر حال یک نسخه از این مستندات باید در واحد بهداشت، ایمنی و محیط زیست نگهداری شود. این مستندات شامل نقشه‌ها، دفترچه محاسبات و جزئیات فنی طرح‌ها و نتایج ارزیابی موفقیت آنها می‌شود. لازم است تصاویر و کلیپ‌هایی از عملکرد نتایج کنترل نیز در پروندهای مربوطه تهیه و نگهداری شود. در صورتی‌که در مرحله طراحی و توسعه، اقدامات پیش‌گیرانه برای کنترل ارتعاش انجام شده باشد، نتایج آن باید مستند و نگهداری شود.

۱۰-۶ گزارش مهندسی کنترل ارتعاش

برای پروژه‌های بزرگ در فاز طراحی و مهندسی و مرحله تمهیدات، مستندات زیر باید به‌محض موجود شدن به یک مشاور (متخصص) کنترل ارتعاش ارائه شود:

الف- مشخصات پروژه؛

ب- نقشه چیدمان محیط، نشان‌دادن تجهیزات، سازه‌ها؛

پ- طرح منطقه کاری؛

ت- اساس طراحی صنعت و فرایند؛

ث- نمودار جریان فرایند؛

ج- فهرست تجهیزات؛

چ- شرح فرایند، که باید نشان‌دهنده تمام حالت‌های عملکرد فرایند و تجهیزات باشد؛

ح- الزامات داده تجهیزات برای همه منابع ارتعاش؛

خ- داده‌های مربوط به عایق‌بندی ارتعاش تجهیزات و سازه‌ها.

۱۰-۷ آزمون‌های موفقیت روش‌های کنترل ارتعاش

هرگونه آزمون موفقیت کنترل ارتعاش باید مستند به اصول علمی معتبر یا استانداردها یا الزامات معتبر داخلی باشد. انجام آزمون‌ها باید توسط مهندس مشاور مستقل و تحت نظارت شرکت انجام شود. نتایج آزمون‌ها باید با تعهدات پیمانکار یا تأمین‌کننده مقایسه و در قالب گزارش رسمی توسط مشاور به شرکت ارائه شود.

۱۰-۷-۱ تعیین مشاور ذی‌صلاح مستقل

مشاور مستقل باید از بین شرکت‌های تخصصی واجد صلاحیت یا دانشگاه‌های مرتبط انتخاب شود که تجربیات علمی و تخصصی آنها به تایید شرکت برسد. مشاور باید تجهیزات تخصصی کالیبره‌شده موردنیاز

برای آزمون را داشته باشد. مشاور باید مستندات صلاحیت، سوابق و تجربیات خود را به شـرکت ارائـه دهـد. شرکت نیز پس از بررسی داوطلبین نسبت به انتخاب مشاور ذی‌صلاح اقدام می‌کند.

پیوست الف

(آگاهی‌دهنده)

شناسایی، اندازه‌گیری و ارزیابی صدا و ارتعاش شغلی

الف-۱ تعیین میزان مواجهه با صدای شغلی

برای اندازه‌گیری و ارزیابی صدا شناخت کامل نسبت به روش‌های اندازه‌گیری، خصوصیات محیط و چگونگی مواجهه افراد اهمیت دارد. طبق تعریف انجمن بین‌المللی بهداشت حرفه‌ای (IOHA)[1]، ۵ مرحله پیش‌بینی، شناسایی، اندازه‌گیری، ارزیابی و کنترل در ارتباط با عوامل مخاطره‌زای شغلی مطرح بوده که در موضوع مهندسی صدا نیز متبلور می‌شود.

الف-۱-۱ مرحله پیش‌بینی صدا

پیش‌بینی انتشار صدا و برآورد مواجهه شاغلی بر اساس شناخت از ماهیت فرایند، تجهیزات و نوع مواجهه در مرحله طراحی یا توسعه فرایند صنعتی انجام می‌شود. در این مرحله کارشناس با استفاده از مستندات موجود و تجربیات اجرای طرح‌های مشابه و بر اساس مدل‌های علمی نسبت به پیش‌بینی میزان انتشار صدا و ارتعاش و مواجهه افراد اقدام می‌کند. هدف از این کار پیش‌گیری از مواجهه غیرضروری و کنترل صدا و ارتعاش در مرحله طراحی و توسعه است.

الف-۱-۲ مرحله شناسایی صدا

در این مرحله، که اغلب بدون استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری صدا انجام می‌شود، کارشناس با استفاده از ابزارهای مشاهده، مصاحبه، بررسی مستندات موجود و استفاده از چک‌لیست، برآوردی از ریسک مخاطره را به‌دست می‌آورد. برای یکسان‌سازی روش کار علاوه بر لزوم گردآوری اطلاعات موردنیاز از محیط کار و بررسی مستندات موجود و مشاهده محیط مورد نظر یک چک‌لیست مقدماتی به‌صورت یک فرم غربالگری می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در این روش بدون استفاده از دستگاه و از طریق مشاهده میدانی، مطالعه مستندات موجود و تکمیل چک لیست یک معیار عینی برای برآورد احتمال مواجهه با صدا به‌دست می‌آید.

الف-۱-۲-۱ روش‌های شناسایی منابع صوتی و محدوده‌های خطر

در شناسایی منابع صوتی و محدوده‌های خطر جمع‌آوری اطلاعات محیطی مربوط به تجهیزات و نحوه مواجهه افراد با صدا از جمله الزامات ضروری می‌باشد. برای این منظور نقشه ساده‌ای از محیط کار در مقیاس مناسب و محل نصب دستگاه‌های مولد صدا باید تهیه و ترسیم و اطلاعات مربوط به محل‌های تردد و توقف افراد، ساعات مواجهه‌ی هر گروه و اوقات تغییر شیفت به تفکیک ثبت شود. هم‌چنین اطلاعات دقیق و وسیع

1- International Occupational Hygiene Association

از مشخصات فنی دستگاه‌ها و محل استقرار آن‌ها، مشخصات فنی سازه‌های بنای محیط مورد بررسی و مشخصات آکوستیکی سطوح داخلی به فهرست اطلاعات اضافه شود.

الف-۱- ۲-۲ روش غربالگری صدا و چک لیست‌ها

انجام اندازه‌گیری با روش‌های دستگاهی برای تمام کارگاه ها مستلزم دستگاه‌های مناسب، صرف وقت زیاد، هزینه بالا و نیروی انسانی می‌باشد. استفاده از فرم غربالگری صدا می‌تواند به‌عنوان یک روش ساده دردسترس برای شناسایی کارگاه‌های با احتمال آلودگی صدای بالا در نظر گرفته شود. این فرم مستقل از تعداد کارکنان در هر کارگاه می‌باشد. در این روش با توجه به نمره آلودگی صدا حاصل از بازرسی اولیه توسط فرم غربالگری، برنامه‌ریزی لازم برای بررسی بیشتر (اندازه‌گیری دستگاهی و ارزیابی مواجهه کارکنان) انجام می‌شود.

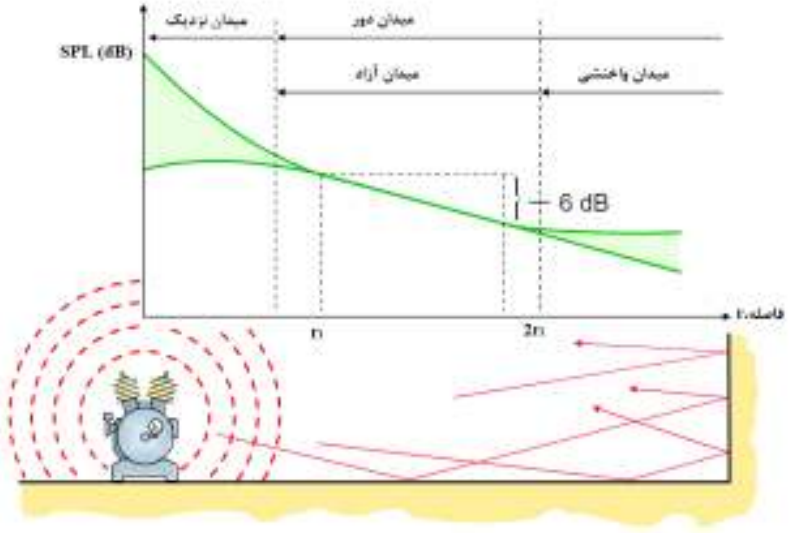
الف-۱ -۲-۳ تعیین نحوه انتشار صدا در محیط شغلی (میدان آزاد، میدان پربازتاب یا واخنشی[1]، میدان پخشاگر)

پیش‌بینی چگونگی انتشار صوت در میدان‌های صوتی برای ارزیابی صدا اهمیت زیادی دارند. نحوه انتشار صوت به عوامل متعددی مانند مشخصات صوتی منابع، فاصله از منبع و نیز تعداد و وضعیت سطوح بازتابشی بستگی دارد. در شرایطی که در مسیرهای انتشار صوت مانع یا سطوح بازتابشی وجود نداشته باشد یا سطوح موجود در میدان انتشار دارای ضریب جذب صوت بالایی باشند به آن محیط، میدان آزاد[2] (بدون بازتابش) اطلاق می‌شود. در صورتی‌که بازتابش صوتی در میدان انتشاری بسته (مستقل از فاصله) زیاد بوده و ضریب جذب صوت سطوح بسیار پایین باشد به آن محیط، میدان پربازتاب یا واخنشی گویند. هم‌چنین در محیط‌هایی که سطوح آنها از ویژگی‌های بازتابش نامنظم برخوردارند، بازتابش امواج در جهات مختلف و متعددی رخ داده که به آن میدان پخشا[3] گفته می‌شود در این نوع میدان صوتی بازتاب‌ها و شکست صدا بسیار زیاد می‌باشد.

شکل و ابعاد منبع و نزدیک و دور بودن شنونده می‌تواند نقش به‌سزایی در میدان انتشاری صوت داشته باشد. بدین ترتیب دو میدان صوتی نزدیک[4] و دور[5] تعریف می‌شود. میدان صوتی نزدیک برای یک منبع صوت، فاصله‌ای به اندازه یک طول موج از منبع در هر فرکانس آن می‌باشد. در این میدان (در نزدیکی منبع) رابطه تغییر فشار صوت با فاصله غیرخطی می‌باشد. میدان صوتی دور از فاصله‌ای به اندازه دو طول موج از منبع صوتی شروع و تا بی‌نهایت ادامه می‌یابد. حد فاصله یک تا دو طول موج در هر فرکانس یا در فرکانس غالب از آن منبع صوتی را ناحیه بینابینی یا تغییر حالت[6] می‌گویند. تغییرات تراز فشار صوت به نسبت لگاریتم فاصله از منبع صوت در یک محیط واقعی نشان داده شده است. بر طبق شکل الف-۱ در میدان آزاد با دو برابر شدن

1- Reverberant
2- Free Field
3- Diffuse field
4- Near field
5- Far field
6- Transition Zone

فاصله از منبع صوت، تراز فشار ۶ دسی‌بل کاهش می‌یابد (نقش فاصله در میدان واخنشی بسیار ناچیز می‌باشد).



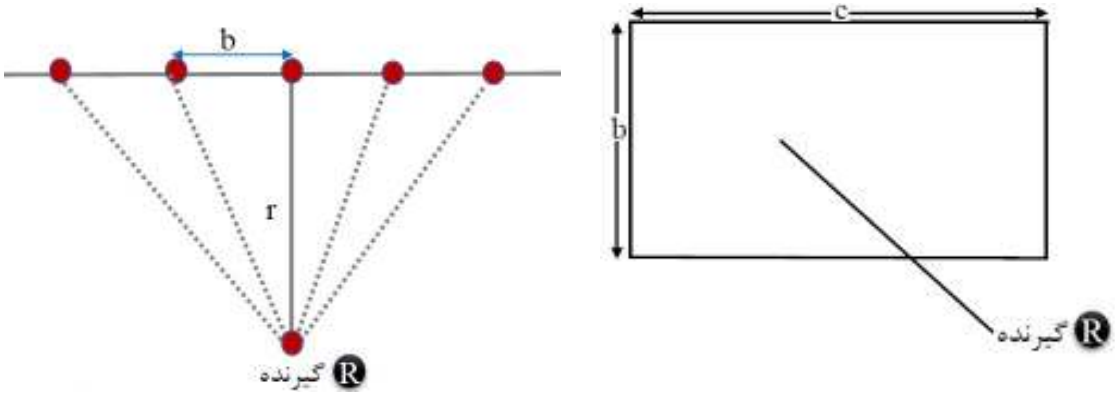
شکل الف- ۱- تغییرات تراز فشار صوت به نسبت لگاریتم فاصله از منبع

الف-۱ -۲-۴ تعیین گروه منابع صوتی (نقطه‌ای، خطی و سطحی)

منابع صوتی معمولاً در سه گروه نقطه‌ای، خطی و سطحی تقسیم‌بندی می‌شوند. منابعی که دارای ابعاد نزدیک به‌هم بوده و هر بعد آنها از ارتفاع شنوایی دریافت‌کننده صدا کوچکتر باشد و یا به حدی دور باشند که بعد ظاهری آن‌ها از ارتفاع شنونده کوچکتر به‌نظر آید، نقطه‌ای[1] محسوب می‌شوند. در منابع نقطه‌ای انتشار امواج صوتی در فضای کروی و به‌صورت هم فاز در نظر گرفته می‌شود به‌طوری‌که در اطراف این منبع با دو برابر شدن فاصله، تراز فشار صوت ۶ دسی‌بل کاهش می‌یابد.

به منابعی خطی[2] اطلاق می‌شود که یکی از ابعاد آن دست کم سه برابر ابعاد دیگر منبع صوتی باشد. منابع خطی برحسب شکل قرارگیری و پیوستگی طولی در دو گروه منابع خطی پیوسته (مجاری تهویه) و ناپیوسته (منابع نقطه‌ای که به‌صورت طولی در یک ردیف نصب شده باشند) طبقه‌بندی می‌شوند. در منابع خطی پیوسته، با دو برابر شدن فاصله از منبع تراز فشار صوت ۳ دسی‌بل کاهش می‌یابد. در منابع خطی ناپیوسته (در حالتی که چند منبع به فاصله b از یکدیگر قرار گرفته باشند) تا فاصله $\frac{b}{\pi}$ از هر منبع صوت کاهش تراز فشار صوت شبیه منابع نقطه‌ای می‌باشد. در فواصل بیش از $\frac{b}{\pi}$ به ازای دوبرابر شدن فاصله، تراز فشار صوت شبیه منابع خطی پیوسته می‌باشد. در صورتی که منابع خطی در چند ردیف قرار گیرند و یا ابعاد منبع صوتی از ارتفاع شنوایی فرد بیشتر باشد منبع انتشار، سطحی[3] منظور می‌شود (شکل الف-۲).

1- Point source
2- Line source
3- Plane source



خطی ناپیوسته **سطحی**

شکل الف-۲ - منبع صوتی

الف-۱-۳ مراحل اندازه‌گیری صدا

برنامه کنترل صدا اغلب نیازمند اندازه‌گیری کمیت‌های صوتی مختلف برای تعیین اثربخشی روش کنترل صدا می‌باشد. اندازه‌گیری صدا برای تعیین تطابق با استانداردها و اهداف تشخیصی یا جایابی منابع صدا در بخش‌های مختلف دستگاه‌ها و ماشین‌آلات انجام می‌گیرد. هم‌چنین سیرهای انتقال صدا در یک فرایند ممکن است از طریق اندازه‌گیری صدا شناسایی شود. در این میان انتخاب تجهیزات اندازه‌گیری مناسب برای پایش و تعیین خصوصیات صدا ضروری است. در مواردی که لازم است آنالیز صدا با جزییات بیشتری انجام شود، از ترازسنج‌های پیشرفته صدا و برای تایید تطابق با استانداردهای مواجهه فردی از دوزیمتر صدا برای اندازه‌گیری و ثبت مواجهه تجمعی روزانه استفاده می‌شود.

الف-۱-۳-۱ تجهیزات اندازه‌گیری صدا

الف-۱-۳-۱-۱ ترازسنج‌های صوت

اندازه‌گیری تراز فشار صوت با استفاده از دستگاه ترازسنج صوت یکپارچه انجام می‌شود. این ترازسنج‌ها شامل میکروفون و کابل‌های مربوطه بوده و باید الزامات مطابق با استاندارد IEC 61672-1:2002 را در قالب ترازسنج‌های کلاس ۱ یا کلاس ۲ داشته باشند. ترازسنج‌های کلاس ۱ ترجیحاً برای اندازه‌گیری در دماهای بسیار پایین یا زمانی که صدا با فرکانس بالا غالب بوده باید مورد استفاده قرار گیرند.

الف-۱-۳-۱-۲ دوزیمتر و دوزبچ صدا

دوزیمتر فردی شامل میکروفون و کابل‌های مربوطه بوده و باید الزامات را مطابق با استاندارد IEC 61252 داشته باشند. این ترازسنج‌ها (IEC 61672-1:2002 کلاس ۱) در شرایط اندازه‌گیری در دماهای خیلی

پایین یا در صداهای با فرکانس غالب بالا مورد استفاده قرار می‌گیرند (به یادآوری ۱ و ۲ این زیربند مراجعه شود).

یادآوری ۱- برای IEC 61672-1:2002، ترازسنج کلاس ۱، حدود تغییرات مشخص‌شده برای گستره دمایی از ۱۰°C- تا ۵۰°C در نظر گرفته می‌شود. برای ترازسنج‌های مطابق با IEC 61672-1:2002 ، کلاس ۲ و دوزیمترهای فردی مطابق با استاندارد IEC 61252، اثر تغییرات دمای هوا بر روی تراز اندازه‌گیری شده به محدوده صفر درجه سلسیوس تا ۴۰ °C اختصاص‌یافته است.

به‌منظور حفظ دقت در اندازه‌گیری‌های خارج از محدوده‌های دمایی مذکور، لازم است از دستگاه‌های با محدوده دمایی وسیع‌تری استفاده شود (ترازسنج صدا مطابق با استاندارد IEC 61672-1: 2002 ، کلاس ۱).

یادآوری ۲ - دوزیمتر صدا مطابق با استاندارد IEC 61252 دامنه تغییرات زیادی را برای فرکانس‌های بالای ۴۰۰۰ Hz امکان‌پذیر نموده که می‌تواند سنجش‌های نادرستی را در صداهای با فرکانس بالا به‌دنبال داشته باشد. به‌منظور افزایش دقت در این اندازه‌گیری‌ها می‌توان از ترازسنج صوت مطابق با استاندارد IEC 61672-1:2002، (کلاس ۱) استفاده کرد.

دوزیچ‌های فردی مواجهه با صدا در قالب دستگاه‌های سبک و کم‌حجم و بر مبنای پایه محاسبات دوز، صدای دریافتی در محدوده شنوایی کارکنان را دریافت و پردازش می‌کند. در پایان شیفت کاری امکان قرائت مستقیم دوز یا انتقال داده‌ها به نرم‌افزار کامپیوتر وجود دارد. این وسیله فردی در صورت اطمینان از کالیبراسیون و صحیح بودن پایه محاسبات دوز به‌عنوان یک ابزار مطمئن در ارزیابی فردی مواجهه با صدا می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

الف-۱ -۳-۱-۳ مانیتورهای محیطی صدا[1]

صدای محیطی عبارت از صدای ناخواسته یا مضر تولیدشده توسط فعالیت‌های انسانی در فضای باز است که از جمله آن می‌توان به صدای منتشر شده از وسایل حمل‌ونقل، ترافیک جاده‌ای، ترافیک راه‌آهن، ترافیک هوایی و فعالیت‌های صنعتی اشاره کرد. به‌منظور اندازه‌گیری و ارزیابی صدای محیطی از سامانه‌های پایش صدا استفاده می‌شود. پایش صدا، اندازه‌گیری طولانی مدت صدا بدون دخالت انسان است. پایش صدای محیطی یکی از رایج‌ترین انواع پایش‌های محیطی است و اغلب با استفاده از سامانه مانیتورینگ انجام می‌شود. در صورتی‌که ریسک فراتر رفتن ترازهای صدا از حدود تعیین شده وجود داشته باشد از سامانه‌های مانیتورینگ استفاده می‌شود.

بر اساس استاندارد ISO 1996-2، سامانه مانیتورینگ صدا مجموعه‌ای متشکل از پایشگر صدا، مرکز جمع‌آوری داده‌ها و سایر سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای مورد استفاده در پایش صدای محیطی است. هدف پایش صدا ارائه داده‌های لازم در مورد ترازهای صدا در یک مکان است که می‌توان آن را با حدود مجاز تعیین‌شده صدا مقایسه کرد. تجهیزات پایش صدای محیطی باید الزامات مرتبط با کاربرد اندازه‌گیری، از جمله ثبات طولانی مدت، استحکام محیطی، برق‌رسانی و ارتباطات را برآورده کنند. بر طبق این استاندارد مانیتورهای پایش صدای محیط با پایشگرهای صدا باید در ارتفاع ۴ متری به‌گونه‌ای نصب شود که

1- Environment noise monitoring

قابل‌دیدن باشد و میکروفون نیز در محلی نصب باشد که تأثیر صدای زمینه منابع صوتی غیرمرتبط به حداقل برسد.

استفاده از سامانه مانیتورینگ برای نشان‌دادن لحظه‌ای تراز صدای داخل بناهای عمومی و صنعتی نیز روشی قابل قبول برای اعلام و هشدار به افراد حاضر است که رفتارها و فعالیت‌های خود را برای کاهش آلودگی صدا تنظیم کنند.

الف-۱-۳-۱-۴ دوربین‌های آکوستیکی[1]

یکی از تجهیزات کاربردی در شناسایی منابع صوتی موجود در صنعت و محیط زیست، دوربین آکوستیکی می‌باشد. در این دوربین‌ها که اساس آن شکل‌دهی پرتو براساس آرایه میکروفونی می‌باشد، برای تشخیص دقیق محل منبع صوتی تصویر صوتی و بصری ادغام و تجسم صدا صورت می‌گیرد. با توجه به اینکه در این دوربین‌ها از تعداد ۶۴ تا ۱۰۲۴ میکروفون به‌صورت متصل به‌هم استفاده شده، پردازش بسیار دقیقی روی اصوات دریافتی همه‌ی میکروفون‌ها انجام می‌شود. از سایر کاربردهای این دوربین شامل تشخیص عیوب سامانه‌های مکانیکی و سونار، یافتن اصوات مزاحم در ساختمان‌ها، یافتن نشتی صدا در دیوارها و نظارت بر آلودگی صوتی در داخل شهرها می‌باشد.

الف-۱-۳-۱-۵ کالیبراسیون تجهیزات

برای اطمینان از صحت نتایج اندازه‌گیری لازم است قبل از هر بار استفاده، دستگاه با یک مولد صوتی استاندارد کالیبره شود (کالیبراسیون میدانی) که این کالیبراتور باید الزامات تعیین شده در استاندارد IEC 60942:2003، کلاس ۱را دارا باشد. اگر میزان قرائت شده در انتهای هر دوره اندازه‌گیری با میزان قرائت شده در ابتدای دوره بیش از ۰٫۵ دسی‌بل اختلاف داشته باشد، نتایج این دوره اندازه‌گیری باید کنار گذاشته شود.

الف-۱-۳-۲ روش‌های اندازه‌گیری صدای شغلی

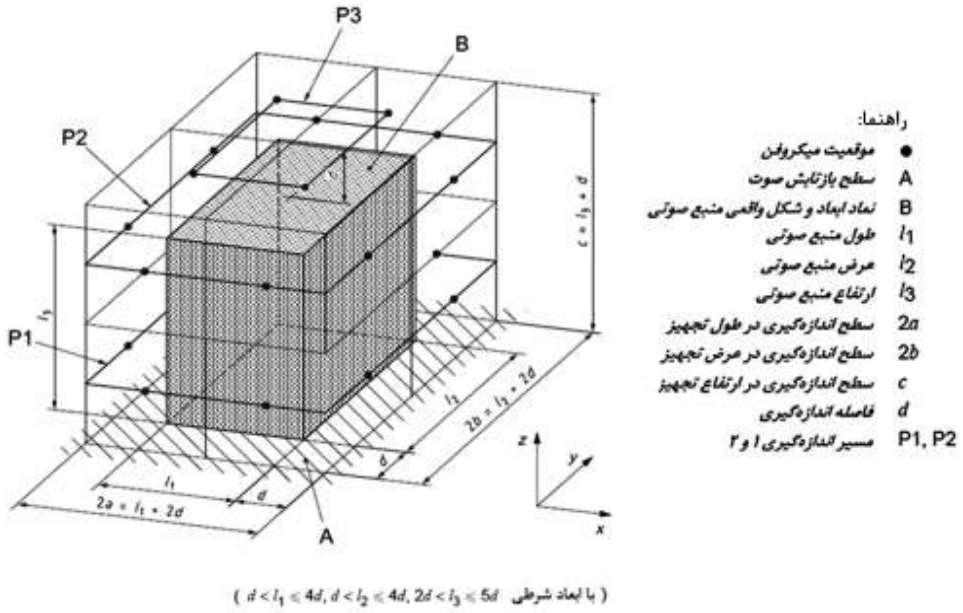
برای اندازه‌گیری صدا، شناخت کامل نسبت به روش‌های اندازه‌گیری، خصوصیات محیط کار و چگونگی مواجهه کارکنان اهمیت دارد. مهمترین نکاتی که باید قبل از اقدام به اندازه‌گیری در نظر گرفته شود شامل تعیین هدف اندازه‌گیری، گردآوری اطلاعات دقیق از کارگاه (نظیر نام کارگاه، تعداد کارکنان، ابعاد، کروکی، شرایط جوی محیط کار، جنس سقف، کف، دیوار، نوع سطوح انعکاسی، تعداد ماشین‌آلات و محل استقرار آن‌ها و ویژگی منابع صدا)، گردآوری اطلاعات نحوه مواجهه کارکنان، اطلاعات اندازه‌گیری شامل تعیین روش مناسب اندازه‌گیری و کالیبراسیون، انتخاب وسیله مناسب اندازه‌گیری و کالیبراسیون (نوع و مدل دستگاه صداسنج و کالیبراتور)، شناخت استانداردها و حدود مجاز مواجهه کارکنان می‌باشد.

الف-۱-۳-۲-۱ روش اندازه‌گیری تراز توان صوتی منابع

برچسب صوتی برای تمامی تجهیزات صنعتی توسط سازندگان آنها باید ارائه و مندرجات آن توسط آزمایشگاه مرجع قانونی مورد تایید واقع شود. در مواردی که تجهیزات فاقد برچسب صوتی باشند، آزمون صوتی باید

1- Acoustic camera

برای آنها در میدان آزاد و یا در اتاق آکوستیک انجام گیرد. برای تجهیزاتی کـه در داخـل فضـاهای صـنعتی نصب می‌شوند، تراز نشر صوتی، تراز توان و در نهایت توان صوتی هر منبع با استفاده از روش‌های اسـتاندارد در محیط واقعی برآورد و تعیین می‌شود. توان صوت تجهیزات به‌عنوان مهمترین پارامتر نشان دهنده ویژگی صوتی منابع صدا، بر اساس روش محاسباتی فشار صوت مطابق با استاندارد ISO 3746 و استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۸۵ در محل نصب منابع برآورد می‌شود. بدین ترتیب که ابتدا تراز فشار صوت در شبکه وزنی A در نقاط فضایی اطراف محل استقرار دستگاه اندازه‌گیری می‌شود و پس از لحاظ نمودن اثر صـدای زمینـه و اثـر آکوستیکی محیط استقرار، در نهایت تراز توان منبع مورد نظر تعیین می‌شود. الگوی اصلی موقعیت میکروفن دستگاه ترازسنج در نواحی فضایی اطراف منبع و سطوح اندازه‌گیری در شکل الف-۳ نمایش داده شده اسـت. تعداد و فواصل این نقاط طبق استاندارد مذکور متناسب با ابعاد دستگاه مورد نظر است و در فاصله حدود یک متری سطوح دستگاه تعیین می‌شوند.



شکل الف-۳- نقاط اندازه‌گیری تراز فشار صوت در اطراف منبع مورد نظر

پس از لحاظ نمودن اثر صدای زمینه و اثر آکوستیکی محیط استقرار، در نهایت تراز توان صوت با اسـتفاده از مراحل محاسباتی و فرمول‌های الف- ۱، الف- ۲ و الف- ۳ در شبکه خطی و فرکانس غالب محاسبه می‌شود.

الف- محاسبه میانگین لگاریتمی ترازهای فشار صوت فضای اطراف منبع:

$$\overline{LP}_{av} = 10 \log \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} 10^{LP_i/10} \right] \qquad \text{(الف-۱)}$$

که در آن:

$\overline{LP}_a$ میانگین لگاریتمی ترازهای فشار صوت در شبکه وزنی A؛

N تعداد موقعیت‌های میکروفون.

ب- محاسبه فاکتور تصحیح محیط K_r :

$$K_r = 10\ log_{10}\left[1 + \frac{4(1-\bar{\alpha})S_m}{\bar{\alpha}S_0}\right] \qquad \text{(الف-۲)}$$

که در آن:

S_m مساحت سطح اندازه‌گیری؛

S_0 مساحت کل سطوح داخلی بنا.

پ- محاسبه تراز توان منبع صوتی مورد نظر:

$$LW = LP_{av} + 10\ log_{10}\left(\frac{S_m}{S_{ref}}\right) - K_r - 0 \cdot 1 \qquad \text{(الف-۳)}$$

الف-۳-۲-۲ روش اندازه‌گیری تراز شدت صوت منابع

تراز توان منبع صوتی در یک محیط واقعی مبتنی بر استاندارد ISO 9614-3 از طریق تعیین تراز نشر صوتی و استفاده از روش شدت صوت نیز اندازه‌گیری می‌شود. در وسیله اندازه‌گیری، پروب شدت شامل دو میکروفون بوده که با فاصله اندک مقابل یکدیگر قرار گرفته‌اند. برتری پروب شدت در مقایسه با پروب فشار در به‌حداقل‌رساندن اثر صدای زمینه و جهت در اندازه‌گیری انرژی آکوستیکی منبع می‌باشد. پروب شدت به‌طور مداوم در طول مسیرهای مشخص بر روی هر قسمت از سطح اندازه‌گیری انتخابی مطابق شکل الف-۴ حرکت داده می‌شود و نتایج در پردازشگر به‌صورت دستی یا خودکار ثبت می‌شود. عملیات پیمایش روی سطح محدودکننده منبع صوتی مورد نظر باید طوری انجام شود که مسیر مشخص شده به‌دقت پیگیری و محور پروب همواره عمود بر سطح اندازه‌گیری بماند و در صورت اندازه‌گیری پیوسته سرعت حرکت پروب یکنواخت باشد. شرط لازم برای اعتبار نتایج پیمایش نقاط متوالی در یک خط راست است. فاصله متوسط بین خطوط مجاور باید مساوی بوده و در سطح اندازه‌گیری اولیه فاصله متوسط از سطح منبع حفظ شود. از نتایج ترازهای شدت اندازه‌گیری شده در کل سطوح اطراف منبع (به‌صورت فضایی) میانگین لگاریتمی ($\overline{LI}$) گرفته می‌شود. در نهایت توان صوت منبع با استفاده از فرمول الف-۴ برآورد می‌شود.

$$LW = \overline{LI} + 10\ log\left(\frac{S}{S_0}\right) \qquad \text{(الف-۴)}$$

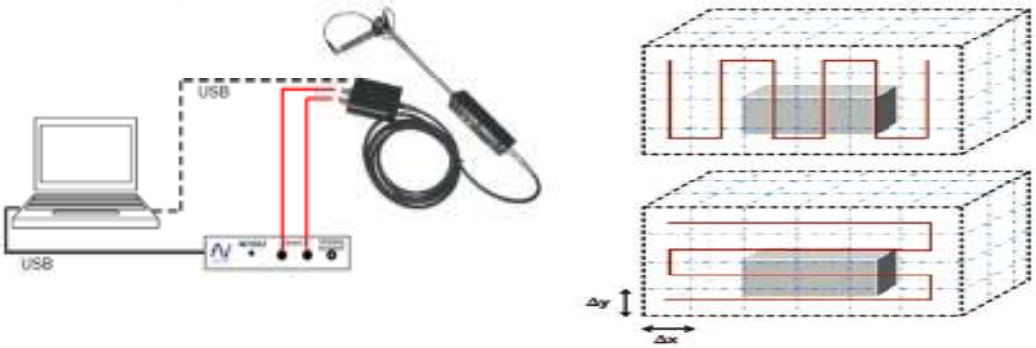
که در آن:

$\overline{LI}$ میانگین فضایی تراز شدت صوت، برحسب دسی‌بل؛

LW تراز توان صوت دستگاه، برحسب دسی‌بل؛

S مساحت فرضی اندازه‌گیری (در برگیرنده منبع)، برحسب مترمربع؛

S_0 مساحت مبنا، معادل یک متر مربع.



شکل الف-۴- سامانه اندازه‌گیری شدت صوت (سمت چپ) و نحوه اسکن سطح مجازی اطراف منبع (سمت راست)

الف-۱ -۳-۲-۳ برچسب‌گذاری صوتی منابع

برچسب‌گذاری[1] تجهیزات یک روش متداول برای مصرف انرژی یا بیان میزان بازدهی می‌باشد و برای تعیین مشخصات نشر صوتی هر تجهیز لازم است که برچسب‌گذاری صدا[2] نیز انجام شود. این کار از طریق آزمایشگاه معتبر در آزمایشگاه آکوستیک انجام می‌شود. نتایج برای بیان تراز توان صوتی یا تراز نشر صوتی هر منبع ذیل برچسب انرژی یا به‌صورت مجزا بر روی محصول درج می‌شود. امروزه بسیاری از لوازم خانگی دارای الزام برای درج برچسب صوتی علاوه بر برچسب انرژی هستند.

الف-۱ -۳-۲-۴ روش اندازه‌گیری محیطی

در این روش محل‌های استقرار کارکنان مورد نظر نبوده ولی از نتایج آن برای تعیین و مشخص نمودن توزیع تراز فشار صوت و محدوده‌های خطر در کارگاه و هم‌چنین تعیین منابع اصلی صوت برای کنترل صدا استفاده می‌شود. برای اندازه‌گیری صدای محیطی از روش شبکه‌ای منظم استفاده می‌شود و بدین ترتیب کارگاه به‌صورت شبکه‌ای منظم به نواحی شطرنجی با ابعاد یکسان تقسیم‌بندی و مرکز هر خانه به‌عنوان یک ایستگاه اندازه‌گیری در نظر گرفته می‌شود. برای هر کارگاه می‌توان با توجه به مساحت و امکانات، تعداد معین و محدودی ایستگاه انتخاب نمود. محدوده مناسب تعداد ایستگاه در هر محدوده سنجش بین ۲۰ تا ۶۰ پیشنهاد می‌شود. پس از ثبت نتایج اندازه‌گیری صدای محیطی، می‌توان به روش‌های مختلف آنها را روی نقشه یا در جدول کدبندی‌شده مربوطه درج نمود (به زیربند ۴-۲-۵-۲ مراجعه شود). نتایج اندازه‌گیری محیطی صدا بر روی نقشه تبدیل به نقشه صدا[3] می‌شود که در آن محدوده‌های ایمن، احتیاط، اقدام و خطر در محدوده مورد بررسی به‌صورت بافربندی رنگی (سبز-زرد-نارنجی-قرمز) مشخص می‌شود.

1- Labeling
2- Noise labeling
3- Noise map

الف-۱ -۳-۲-۵ روش اندازه‌گیری موضعی

در اندازه‌گیری موضعی که به‌منظور تعیین حدود مواجهه کارکنان انجام می‌شود، اندازه‌گیری صرفاً در محل‌های توقف یا تردد کارکنان و در ناحیه شنوایی وی صورت می‌گیرد. ارزیابی مواجهه کارکنان با صدا مستلزم اندازه‌گیری تراز فشار صوت در مقیاس A و تعیین مدت زمان مواجهه برای هر فرد به‌طور مجزا می‌باشد. بدین منظور، گردآوری اطلاعات لازم از چگونگی مواجهه (طول هر بار مواجهه با صدا، الگو و تناوب آن از جهت نوع صدا شامل پیوسته یا کوبه‌ای) و سایر اطلاعات محیطی مرتبط با کارکنان ضروری می‌باشد

مهمیادآوری- هر ارزیابی مخصوص یک فرد بوده و در صورت مشابهت در مواجهه باید برای هر فرد میزان مواجهه معلوم شود. در زمان اندازه‌گیری صدا نیز، نباید تغییری در وضعیت و شرایط کار، منابع صوتی یا محل استقرار کارکنان ایجاد شود.

روش اندازه‌گیری و ارزیابی میزان مواجهه بر اساس تشخیص الگوی مواجهه کلی کارکنان در یک شیفت تعیین می‌شود. در صورتی که کارکنان در طول شیفت کاری با صدای یکنواخت مواجهه داشته باشد، می‌توان در ایستگاه توقف یا در نقاط تردد وی سه بار اندازه‌گیری را تکرار و نتایج را با استفاده از فرمول میانگین لگاریتمی تراز فشار صوت، مواجهه کارکنان را محاسبه و ثبت کرد. اگر کارکنان با ترازهای فشار صوت معین و متفاوت در زمان‌های مختلف (و مشخص) مواجهه داشته باشند، برای هر دوره مواجهه باید یک بار اندازه‌گیری صدا انجام شود. اگر کارکنان در یک یا چند ایستگاه کاری در زمان‌های نامشخص با ترازهای فشار صوت متفاوت مواجهه داشته باشند تنها راه اندازه‌گیری قابل اعتماد، دوزیمتری صدا توسط دستگاه دوزیمتر است. برای فردی که با صدای نوبتی مواجهه دارد باید اندازه‌گیری صدا در حالات مختلف دوره‌های مواجهه انجام شود و پس از برآورد یا ثبت مدت زمان مواجهه با دوره‌های تکرار صدا، می‌توان مقادیر را به شاخص مربوطه (دوز یا تراز) تبدیل نمود.

الف-۱ -۳-۲-۶ اندازه‌گیری مواجهه با صدای کوبه‌ای و ضربه‌ای

در گذشته برای اندازه‌گیری و ارزیابی صدای کوبه‌ای روش‌های متنوعی از جمله ارتباط تراز فشار صوت با تعداد ضربه‌ها، به‌کار می‌رفت لیکن در سال‌های اخیر روش اندازه‌گیری و ارزیابی این نوع صدا با ملاحظاتی شبیه به صدای پیوسته انجام می‌شود. شرط استفاده از این روش این است که تراز فشار پیک صوت نباید از ۱۴۰ dB(C)بیشتر باشد. ولی برای اندازه‌گیری صدای کوبه‌ای و مقایسه آن با حدود مجاز لازم است که تراز فشار صوت را در مقیاس A در محل استقرار کارگر اندازه‌گیری و با توجه به مجموع مدت زمان مواجهه کارکنان با ترازهای کوبه‌ای یا ضربه‌ای با جدول حدود مجاز مقایسه شود. راه مناسب‌تر این است که مقادیر تراز صدای اندازه‌گیری شده و مجموع زمان مواجهه به تراز معادل یا دوز تبدیل و با مقادیر مجاز مواجهه مقایسه شود. برای ارزیابی صدای ضربه‌ای در محیط‌های باز و میدان آزاد این روش توصیه می‌شود اما در مواردی که کارکنان در اماکن بسته با صدای کوبه‌ای مواجهه دارند، با توجه به وجود صدای زمینه پیشنهاد می‌شود که از روش ذکر شده برای الگوی مواجهه با صدای نوبتی استفاده شود.

الف-۱ -۳-۲-۷ روش آنالیز فرکانسی

آنالیز فرکانس صوتی اغلب برای ایستگاه‌هایی انجام می‌شود که تراز فشار صوت در آنها نگران‌کننده باشد. در بررسی محیطی صدا نیازی به آنالیز فرکانس نیست، اما در برخی ایستگاه‌ها به‌دلیل اهمیت مکانی یا بالا بودن تراز فشار صوت یا توقف کارکنان به تشخیص کارشناس آنالیز انجام می‌شود. در بررسی صدا برای تعیین میزان مواجهه کارکنان بهتر است همیشه در حالت معمول کاری، حداقل یک نتیجه آنالیز فرکانس به‌همراه اندازه‌گیری کلی صدا انجام و پس از ارزیابی در پرونده کارکنان ثبت شود. به‌طور کلی آنالیز فرکانس در مطالعه محیطی و مواجهه فردی با صدا برای تعیین ماهیت توزیع صدا در فرکانس‌ها و ارزیابی آن برای تعیین روش‌های کنترل فنی، مطالعه در محل توقف کارکنان یا پست کاری وی و نیز به‌منظور انتخاب وسیله حفاظت فردی انجام می‌شود.

الف-۱ -۳-۳ روش تعیین تداخل صدا با مکالمه[1]

به‌دلیل امکان تداخل صدای محیط کار با فرکانس‌های مکالمه که می‌تواند در بروز حوادث نقش داشته باشد، میزان مزاحمت یا محدودیت در ارتباط کلامی به‌صورت اندازه‌گیری تراز تداخل صدا با مکالمه مورد بررسی قرار می‌گیرد. این تراز در مواجهات شغلی و اجتماعی بر اساس محاسبه میانگین حسابی ترازهای فشارصوت در فرکانس‌های مکالمه با استفاده از فرمول الف-۵ زیر تعیین می‌شود.

$$SIL = \frac{SPL_{500} + SPL_{1000} + SPL_{2000}}{3} \quad \text{(الف-۵)}$$

الف-۱ -۳-۴ انتخاب راهبردهای اندازه‌گیری صدا

انتخاب استراتژی مناسب برای اندازه‌گیری تحت تأثیر عوامل مختلفی ازجمله هدف اندازه‌گیری‌ها، پیچیدگی وضعیت کار، تعداد کارکنان، طول مؤثر روز کاری، زمان قابل دسترس برای اندازه‌گیری و تحلیل و میزان اطلاعات دقیق موردنیاز قرار دارد. سه استراتژی اندازه‌گیری برای تعیین میزان مواجهه با صدا در محیط کار توسط این استاندارد بین‌المللی پیشنهادشده که شامل موارد زیر است (مطابق با راهنمای جامع در مورد انتخاب استراتژی اندازه‌گیری در استاندارد ISO 9612).

الف-۱ -۳-۴-۱ اندازه‌گیری مبتنی بر وظیفه

اندازه‌گیری مبتنی بر وظیفه[2] استراتژی بر روی وظایفی که فرد را در معرض مواجهه‌های صوتی قابل توجهی قرار می‌دهد متمرکز است و یکی از اهداف آن به حداقل رساندن مدت زمان اندازه‌گیری موردنیاز برای یک عدم قطعیت مشخص است. اندازه‌گیری مبتنی بر وظیفه، زمانی مفید است که بتوان شغل را به وظایف تعریف شده با شرایط صوتی مشخص تقسیم کرد. با این حال، باید اطمینان حاصل شود که تمام موارد و جزئیات مربوط به صدا در دوره اندازه‌گیری گنجانده شده باشد، که این مستلزم آگاهی از وقایع صوتی کوتاه مدت با مواجهه‌های صوتی بالا در طول روز کاری است. این استراتژی بر اساس تجزیه‌وتحلیل دقیق شغل به‌منظور درک همه وظایف شغلی است و اطلاعات مفیدی را در مورد سهم وظایف مختلف در مواجهه کلی

1- Speech interference level
2- Task-based measurement

صوتی روزانه ارائه می‌دهد. این روش اجازه می‌دهد تا تعداد اندازه‌گیری‌های کمتری برای وظایفی که تغییرات کمی در تراز صدا ایجاد می‌کنند انجام شود بنابراین نیاز به اقدامات انجام شده کمتری برای اندازه‌گیری در مقایسه با روش‌های دیگر دارد. استفاده از این استراتژی هنگامی که گروه‌های بزرگی از کارکنان فعالیت‌های مشابهی را در محیط‌های صوتی مشابه انجام می‌دهند، باعث صرفه‌جویی قابل‌توجهی در زمان اندازه‌گیری می‌شود و هم‌چنین اندازه‌گیری‌ها را نیز می‌توان به‌راحتی کنترل کرد. اگر وضعیت و موقعیت شغلی پیچیده باشد، تجزیه‌وتحلیل با این روش می‌تواند بسیار زمان‌بر باشد.

الف-۱ -۳-۴-۲ اندازه‌گیری مبتنی بر شغل و گروه‌های شغلی

اندازه‌گیری‌های مبتنی بر شغل[1] زمانی که توصیف الگوهای کاری و وظایف معمول آنها دشوار باشد، یا زمانی که انجام یک تحلیل دقیق شغلی مناسب یا عملی نباشد، بسیار مفید و نیازمند اقدامات کمتری برای تجزیه‌وتحلیل شغل است. در صورتی‌که شغل شامل تعداد وظایف کمتری با صدای بیش از حد مجاز باشد، توصیه نمی‌شود. در تعریف مشاغل حتما باید اطمینان حاصل شود که مواجهه صوتی هر فرد در یک شغل معین نشان‌دهنده وضعیت موجود می‌باشد. این استراتژی به‌دلیل زمان موردنیاز برای انجام اندازه‌گیری‌ها می‌تواند زمان‌بر باشد، اما در نتایج نهایی عدم قطعیت کمتری ایجاد می‌کند. همانند اندازه‌گیری مبتنی بر وظیفه، باید مراقب بود که سهم صدای اصلی در دوره اندازه‌گیری لحاظ شود. اندازه‌گیری‌های مبتنی بر شغل لزوماً هیچ اطلاعاتی در مورد سهم نسبی وظایف مختلف یک شغل در مواجهه صوتی روزانه ارائه نمی‌کنند، زیرا این روش، وظایف انجام شده در شغل مربوطه را در نظر نمی‌گیرد. در اندازه‌گیری‌های مبتنی بر شغل، گروه‌های دارای مواجهه صوتی مشابه می‌توانند محتوای متفاوتی نسبت به اندازه‌گیری‌های مبتنی بر وظیفه داشته باشند. از آنجایی که یک شغل مجموعه‌ای از وظایف مختلف است، اندازه‌گیری مبتنی بر شغل نیازی به تفکیک دقیق یک فعالیت شغلی به وظایف تشکیل‌دهنده آن ندارد. بنابراین، ایجاد گروه‌های مواجهه صوتی مشابه نسبت به اندازه‌گیری‌های مبتنی بر وظیفه به زمان کمتری نیاز دارد. اندازه‌گیری‌های مبتنی بر وظیفه نیز نیاز به اطلاعات دقیق‌تری از وضعیت و موقعیت شغل نسبت به سایر استراتژی‌ها و روش‌ها دارد، به‌طوری که تمام وظایف منجر به مواجهه صوتی و مدت زمان آن باید به‌طور کامل شفاف‌سازی شوند.

الف-۱ -۳-۴-۳ اندازه‌گیری طولانی مدت

اندازه‌گیری تمام روز[2]، مانند اندازه‌گیری مبتنی بر شغل، زمانی که توصیف الگوهای شغلی و وظایف معمول تشکیل‌دهنده آن دشوار باشد مفید است. با این حال، به تلاش کمتری در تجزیه‌وتحلیل شغل نیاز دارد. از سوی دیگر، این استراتژی به مدت زمان اندازه‌گیری طولانی‌تری نسبت به سایر استراتژی‌ها نیاز دارد. زمانی که الگوی مواجهه صوتی کارکنان ناشناخته، غیرقابل پیش‌بینی یا پیچیده باشد، اندازه‌گیری تمام روز توصیه می‌شود. هم‌چنین می‌توان از این استراتژی برای هر الگوی مواجهه صوتی دیگری استفاده کرد، به‌ویژه در مواردی که تجزیه‌وتحلیل دقیق کار قابل انجام یا ضروری نیست. اندازه‌گیری تمام روز هم‌چنین می‌تواند برای تأیید اینکه تمام عوامل منجر به مواجهه صوت گنجانده شده‌اند مفید است. برای چنین اهداف بررسی، تراز

1- Job-based measurement
2- Full-day measurement

مواجهه صوتی روزانه را می‌توان مستقیماً بدون هیچ‌گونه محاسبات اضافی تعیین کرد. با استفاده از یک ابزار ثبت‌کننده می‌توان اطلاعاتی در مورد تغییرات تراز صدا در طول روز کاری به‌دست آورد و هم‌چنین می‌توان سهم وظایف مختلف را در صدای کلی تعیین کرد. هم‌چنین امکان حذف اصوات نامربوط را از نتایج اندازه‌گیری با این روش وجود دارد. بنابراین، هنگام انجام اندازه‌گیری‌های تمام روز، استفاده از ابزار ثبت‌کننده بسیار توصیه می‌شود. اندازه‌گیری مواجهات صوتی کارکنان با دستگاه‌های صداسنج فردی یا ابزارهای دقیق مشابه انجام می‌شود. در برخی موارد، تداخلات اندازه‌گیری غیر مرتبط با مواجهه کارکنان (ضربه زدن به میکروفون عمدی یا سهوی، تداخلات عمدی مانند فریادهای همکاران یا اقدامات عمدی در جهت افزایش صدا) وجود دارد و بنابراین توصیه می‌شود که اندازه‌گیری‌ها مستقیماً توسط تکنسین‌ها مشاهده و بررسی و یا از ابزارهای مؤثر دیگری برای شناسایی و بررسی این تداخلات استفاده شود. برای از بین بردن خطاهای احتمالی ناشی از عدم مشاهده و بررسی تداخلات، پیشنهاد می‌شود که اندازه‌گیری‌ها در چند روز متوالی تکرار شود.

مواردی وجود دارد که استفاده از دو یا چند استراتژی اندازه‌گیری ضروری یا مطلوب است. برای مثال، اگر یک روزکاری پیچیده باشد، میزان مواجهه صوتی محاسبه‌شده از اندازه‌گیری‌های مبتنی بر وظیفه را می‌توان با انجام اندازه‌گیری‌های تمام روز کارکنان منتخب بررسی کرد. ممکن است برخی وظایف که در طول روزهای عادی به‌عنوان وظیفه شغلی محسوب می‌شوند، در طی اندازه‌گیری‌های تمام روز یا مبتنی بر وظیفه انجام نشوند. در این موارد، اندازه‌گیری‌های اضافی برای وظایف مذکور ضروری است. هم‌چنین برخی از کارکنان ممکن است در طول یک روز با الگوهای مختلفی از وظایف شغلی مواجهه باشند. در این مورد شاید نیاز باشد از اندازه‌گیری مبتنی بر شغل برای کار در نوبت صبح و از اندازه‌گیری مبتنی بر وظیفه در نوبت بعد از ظهر استفاده شود. جدول الف-۱ نحوه انتخاب استراتژی اندازه‌گیری برای الگوهای کاری مختلف را نشان می‌دهد.

جدول الف-۱- راهنمایی‌های برای انتخاب استراتژی‌های اصلی اندازه‌گیری بسته به الگوی کاری

نوع یا الگوی کاری	استراتژی اندازه‌گیری		
	استراتژی ۱: اندازه‌گیری مبتنی بر وظیفه	استراتژی ۲: اندازه‌گیری مبتنی بر شغل	استراتژی ۳: اندازه‌گیری تمام روز
ایستگاه کاری ثابت- تک وظیفه‌ای یا وظیفه ساده	✓*	-	-
ایستگاه کاری ثابت- وظایف پیچیده یا چندگانه	✓*	✓	✓
کارکنان متحرک- الگوی قابل پیش‌بینی- تعداد کم وظایف	✓*	✓	✓
کارکنان متحرک- الگوی قابل پیش‌بینی- تعداد زیاد وظایف یا الگوهای پیچیده کاری	✓	✓	✓*
کارکنان متحرک- الگوی غیر قابل پیش‌بینی	-	✓	✓*
کار ثابت یا متحرک- وظایف چندگانه با مدت زمان نامشخص وظایف	-	✓*	✓
کار ثابت یا متحرک- هیچ وظیفه‌ای تعیین نشده است	-	✓*	✓

✓ این استراتژی می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد.
* استراژی توصیه‌شده.

الف-۱ -۳-۵ نقشه‌های صوتی

نقشه‌های صوتی یک ابزار مفید برای ثبت توزیع تراز صدا در محیط است که به شناسایی کارکنان تحت مواجهه با صدا کمک می‌کند. با به‌کارگیری شماتیک کارخانه و ترسیم کلی نقشه طبقات، فرایندهای پر صدا علامت‌گذاری و شناسایی و با استفاده از صداسنج، تراز صدا در مجاورت تجهیزات و در فواصل مختلف از منابع صوتی در سطح گوش کارکنان (ارتفاع سطح نشسته و ایستاده بین ۱۱۰ cm تا ۱۴۰ cm) تعیین می‌شود. با دور شدن از منبع صدا و اندازه‌گیری‌های متوالی، شعاع خطر یا فواصلی از منبع صدا که در آن تراز صدا به حد مجاز کاهش یافته، به‌دست می‌آید. طرح و نقشه تکمیل‌شده، منحنی‌های هم‌تراز[1] در اطراف منابع صدا را نشان می دهد. هم‌پوشانی کانتورها برای منابع صوتی مجاور دور از انتظار نیست و کارکنانی که در فواصل نزدیک به تجهیزات قرار گرفتند بیشتر از سایرین در معرض مواجهه صوتی قرار دارند. در شرایطی که میزان مواجهه بیش از حد مجاز باشد باید تجزیه‌وتحلیل فرکانسی صدا (اکتاوباند) برای تعیین فرکانس غالب انجام شود. این اطلاعات می‌تواند به تعیین دقیق منشا و علت صدا (به‌عنوان مثال، لرزش تسمه، تکیه‌گاه‌های ارتعاشی) کمک کند. برای کارکنانی که مواجهه بالاتری با صدا دارند اندازه‌گیری‌های بیشتر در قالب دوزیمتری برای تعیین میزان مواجهه فردی الزامی می‌باشد. در توضیحات نقشه‌های صوتی می‌توان به‌صورت آماری درصد محدوده‌های خطر و درصد کارکنانی در معرض خطر را بیان کرد.

الف-۱ -۳-۵-۱ گزارش نتایج اندازه‌گیری صدا

گزارش نتایج اندازه‌گیری مواجهه صوتی (مطابق با این استاندارد) باید حاوی اطلاعات زیر باشد:

الف- اطلاعات کلی و عمومی

- نام مشتری (شرکت، بخش) پروژه؛
- اطلاعات کارکنان (مانند نام یا شماره فرد) که مواجهه صوتی آنها تعیین شده است؛
- نام شخص(ها) و شرکت یا موسسه‌ای که اندازه‌گیری‌ها و محاسبات را انجام داده‌اند؛
- هدف از تعیین محدوده‌ها و میزان مواجهه شغلی با صدا؛
- ارجاع به استاندارد و استراتژی استفاده شده.

ب- تجزیه و تحلیل شغلی

- شرح فعالیت‌های کاری مورد بررسی؛
- تعداد و ترکیب گروه‌های مشابه دارای مواجهه صوتی در صورت لزوم؛
- شرح روز(های) مورد بررسی از لحاظ وظایف در اندازه‌گیری‌های مبتنی بر وظیفه؛
- استراتژی اندازه‌گیری به‌کار گرفته شده به همراه ارجاع روش آماری مورد استفاده.

1- Contour curve

پ- دستگاه‌های اندازه‌گیری

- اطلاعات و کلاس دستگاه‌های اندازه‌گیری مورد استفاده (سازنده، مدل، شماره سریال)؛
- مشخصات سامانه، به‌عنوان مثال: صفحه نمایشگر، کابل‌های موجود ؛
- پیگیری کالیبراسیون دستگاه اندازه‌گیری (تاریخ و نتیجه آخرین تایید اجزای سامانه اندازه‌گیری)؛
- مستندات مربوط به کالیبراسیون انجام شده قبل و بعد از هر اندازه‌گیری.

ت- اندازه‌گیری‌ها

- اطلاعات اندازه‌گیری مواجهه صوتی کارکنان؛
- تاریخ و زمان اندازه‌گیری؛
- دستگاه‌های مورد استفاده برای هر اندازه‌گیری (در صورت استفاده از ابزارهای مختلف)؛
- شرح وظایف انجام شده توسط کارکنان در طول دوره اندازه‌گیری، از جمله مدت فعالیت کاری و در صورت لزوم، مدت زمان رویدادهای چرخه‌ای موجود در فعالیت کاری؛
- گزارش هرگونه انحراف از شرایط عادی کار یا رفتار عادی شغلی در طول دوره اندازه‌گیری؛
- شاخص‌های تولید مربوط به کارهای در حال اجرا در صورت لزوم؛
- شرح منابع صوتی که منجر به مواجهه صوتی کارکنان می‌شوند؛
- شرح صداهای نامربوط که در نتایج اندازه‌گیری ذکر شده یا از نتایج حذف‌شده؛
- شرح هر رویداد مشاهده شده که ممکن است بر روی اندازه‌گیری‌ها تأثیر بگذارد (به‌عنوان مثال، جریان هوا، ضربه‌های روی میکروفون، اصوات ضربه‌ای)؛
- اطلاعات مربوط به شرایط هواشناسی (مانند باد، باران، دما)؛
- موقعیت و جهت میکروفون(ها)؛
- تعداد اندازه‌گیری‌ها در هر موقعیت؛
- مدت زمان هر اندازه‌گیری؛
- مدت زمان هر وظیفه در یک روز عادی شغلی و عدم قطعیت مرتبط، هنگام استفاده از روش مبتنی بر وظیفه؛
- نتایج هر اندازه‌گیری، شامل حداقل مقادیر تراز معادل صوت، تراز حداقل و حداکثر صدا و تراز پیک.

الف-۱ -۳-۵-۲ ترسیم نقشه‌های صوتی

با توجه به محدوده‌های اصلی تراز فشار صوت شامل ایمن، احتیاط و خطر، با رنگ یا کد مربوطه به‌صورت دستی، استفاده از نرم‌افزارهای گرافیکی (Surfer) یا نرم‌افزارهای اطلاعات مکانی (Arc GIS) نقشه رنگی

محدوده‌بندی شده و بر روی نقشه‌ی مذکور منابع اصلی مولد صدا ترسیم می‌شود. محدوده‌های تراز فشار صوت اندازه‌گیری شده به‌صورت زیر کدبندی می‌شود.

الف- محدوده ایمن (SPL < 65 dBA) با رنگ آبی یا سبز یا کد S[1]؛

ب- محدوده احتیاط (65 ≤ SPL < 82 dBA) با رنگ زرد یا کد C[2]؛

پ- محدوده اقدام (82 ≤ SPL < 85 dBA) با رنگ نارنجی یا کد A[3]؛

ت- محدوده خطر (SPL ≥ 85 dBA) با رنگ قرمز یا کد D[4].

الف-۱-۳-۵-۶ نحوه تنظیم گزارشات اندازه‌گیری

برای اندازه‌گیری صدا در محیط کار فرم‌های مختلفی طراحی‌شده که نتایج اندازه‌گیری در این فرم‌ها ثبت و سپس مورد تحلیل قرار می‌گیرند. در فرم اندازه‌گیری (پیوست **پ**) با توجه به نتایج حاصل از صداسنجی محیطی به روش شبکه‌ای در صورتی که در هیچ یک از ایستگاه‌های اندازه‌گیری شده تراز ۸۲ dBA و بالاتر ثبت نشده باشد وضعیت صدای واحد کارگاهی مناسب بوده و در صورتی‌که در هر یک از ایستگاه‌های سنجش صدا تراز ۸۵ dBA یا بالاتر ثبت‌شده باشد صدای کارگاه بیش از حد مجاز بوده و باید گزینه «نیاز به اقدامات کنترل مهندسی دارد» انتخاب شود. محدوده مربوط به ترازهای بین dBA (۸۵-۸۲) محدوده اقدام[5] می‌باشد که نیازمند «اقدامات فنی و مدیریتی برای حفاظت شنوایی» می‌باشد. مدیریت موظف است گزارش دوره‌ای این اقدامات را ثبت و گزارش کند.

الف-۱ - ۴ مراحل ارزیابی صدا

الف-۱ -۴-۱ نحوه ارزیابی نتایج اندازه‌گیری و مقایسه با حدود مجاز یا الزامات مرتبط

تراز فشار صوت در محل کار نباید از ۸۵ دسی‌بل (A) فراتر رود. به‌عنوان یک دستورالعمل کلی، اگر کارکنان نتوانند حتی با صدای بلند سخنان خود را به‌صورت واضح و قابل درک با همکار خود که در فاصله یک متری از خود قرار دارد بیان کند، به احتمال زیاد صدا در منطقه کار بالاتر از حد مجاز است. در بسیاری از مراجع توصیه شده است هیچ مواجهه صوتی بر حسب شبکه وزنی به‌صورت مداوم، متناوب یا ضربه‌ای نباید بیشتر از ۱۴۰ دسی‌بل باشد. براساس حدود مجاز شغلی[6] تمام زمان‌های مواجهه باید با جدول الف-۲ مطابقت داشته باشد، براین اساس محدودیت‌های زمانی با توجه به حداکثر حدود مواجهه با صدا باید در نظر گرفته شود.

1- Safe
2- Caution
3- Action
4- Danger
5- Action limit
6- Occupational Exposure limits (OEL)

جدول الف-۲- مدت زمان مجاز مواجهه (براساس OEL)

مدت مواجهه در روز	حد مجاز تراز معادل فشار صوت به SPL-TWA dB (A) [ب] (فشار مبنا ۲۰ میکروپاسکال)	حد مراقبت [الف] (اقدام) تراز معادل فشار صوت به SPL-TWA dB(A) [**] (فشار مبنا ۲۰ میکروپاسکال)
۲۴ ساعت	۸۰	۷۷
۱۶ ساعت	۸۲	۷۹
۸ ساعت	۸۵	۸۲
۴ ساعت	۸۸	۸۵
۲ ساعت	۹۱	۸۸
۱ ساعت	۹۴	۹۱
۳۰ دقیقه	۹۷	۹۴
۱۵ دقیقه	۱۰۰	۹۷
۷٫۵ دقیقه[Δ]	۱۰۳[پ]	۱۰۰
۳٫۷۵ دقیقه[Δ]	۱۰۶	۱۰۳
۱٫۸۸ دقیقه[Δ]	۱۰۹	۱۰۶
۰٫۹۴ دقیقه[Δ]	۱۱۲	۱۰۹
۲۸٫۱۲ ثانیه[Δ]	۱۱۵	۱۱۲
۱۴٫۰۶ ثانیه[Δ]	۱۱۸	۱۱۵
۷٫۰۳ ثانیه[Δ]	۱۲۱	۱۱۸
۳٫۵۲ ثانیه[Δ]	۱۲۴	۱۲۱
۱٫۷۶ ثانیه[Δ]	۱۲۷	۱۲۴
۰٫۸۸ ثانیه[Δ]	۱۳۰	۱۲۷
۰٫۴۴ ثانیه[Δ]	۱۳۳	۱۳۰
۰٫۲۲ ثانیه[Δ]	۱۳۶	۱۳۳
۰٫۱۱ ثانیه[Δ]	۱۳۹	۱۳۶

[Δ] در این مقادیر صدای منبع باید به روشی غیر از روش‌های کنترل مدیریتی کاهش یابد و حفاظت فردی به تنهایی نمی‌تواند روش کنترل تلقی شود.

[الف] حد مراقبت یا حد اقدام صدا برای شروع برنامه حفاظت شنوایی بوده و برای هشت ساعت کار روزانه برابر ۸۲ dBA تعیین شده است.

[ب] تراز اندازه‌گیری شده صدا (dB) با استفاده از دستگاه صداسنج، حداقل با الزامات حدود مجاز کشوری مطابقت دارد و در شبکه وزنی A با سرعت پاسخ Slow سنجش می‌شود.

[پ] در این مقادیر و بالاتر، استفاده از روش‌های کنترل فنی- مهندسی جهت کاهش صدای منبع در اولویت می‌باشد.

الف-۱ -۴-۲ ارزیابی نهایی و اظهارنظر

ارزیابی صدا[1] شامل مقایسه نتایج اندازه‌گیری با حدود مجاز، استانداردها و الزامات است. در ارزیابی محیطی، بر اساس محدوده‌های چهارگانه مشخص‌شده در نقشه‌های صدا، محدوده‌های اقدام و خطر برای برنامه‌ریزی

1- Noise assessment

اقدامات مربوط به برنامه حفاظت شنوایی و کنترل فنی تعیین می‌شود، ارزیابی موضعی هم برای تعیین میزان مواجهه شغلی افراد یا گروه‌های شغلی انجام می‌شود و بر اساس نتایج اندازه‌گیری صدا یا دوزیمتری، میزان مواجهه افراد یا هر گروه شغلی با کمیت تراز معادل مواجهه روزانه با صدا SPL-TWA dB(A) یا همان Leq dB(A) تعیین و سپس دوز متناظر روزانه آن‌ها نیز محاسبه می‌شود. بر اساس این نتایج «مجاز» بودن یا «غیرمجاز» بودن مواجهه برای هر فرد یا گروه شغلی تعیین و گزارش می‌شود. لازم به ذکر است که ارزیابی مواجهه با صدا شامل ارزیابی روزانه است و تغییرات مواجهه در طول هفته یا دوره‌های زمانی دیگر مجوزی برای افزایش مواجهه نیست. تنها یک مورد استثنا وجود دارد و آن این است که اگر کارکنان به‌صورت موردی یک روز با صدای بیش از حد مجاز مواجهه داشته باشند این مواجهه می‌تواند تا ٪۳۰۰ دوز دریافتی باشد اما مواجهه کل هفته وی نباید از ٪۵۰۰ دوز فراتر رود.

الف-۱ -۴-۳ برنامه حفاظت شنوایی

برنامه حفاظت شنوایی شامل ۵ جزء اساسی است که باید بر اساس روش‌های متداول و مستند به منابع علمی معتبر به‌صورت مستمر اجرا و مورد پایش قرار گیرد. این اجزاء شامل موارد زیر است.

۱- بررسی صدا در محیط کار و ارزیابی مواجهه کارکنان ؛
۲- آموزش به‌منظور ارتقاء مهارت و کاهش صدمات؛
۳- کنترل صدا شامل کنترل مدیریتی و کنترل‌های فنی؛
۴- استفاده صحیح و مؤثر از تجهیزات حفاظت شنوایی؛
۵- پایش سلامت از طریق معاینات پزشکی خصوصاً ادیومتری.

الف-۱ -۴-۴ پایش سلامت و تعیین افراد در معرض خطر

پایش سلامت شاغلین یکی از مهمترین اجزاء برنامه حفظ و ارتقاء سلامت شاغلین است که با طراحی و انجام معاینات دوره‌ای صورت می‌گیرد هدف اصلی انجام معاینات دوره‌ای، کشف زود هنگام بیماری ناشی از کار در مراحل اولیه و قابل‌برگشت است؛ به‌گونه‌ای که بتوان با اقدامات مناسب از پیشرفت بیماری به مراحل غیر قابل درمان، پیشرونده و ناتوان‌کننده جلوگیری کرد. هدف دیگر معاینات، کشف عوارض شناخته‌نشده مواجهات محیط کار با استفاده از تجزیه‌وتحلیل آماری اطلاعات به‌دست آمده می‌باشد. بدیهی است برای دستیابی به اهداف فوق، انجام معاینات باید بر اساس نوع، میزان و مدت مواجهه صورت گیرد. به‌همین منظور لازم است قبل از انجام معاینات در هر صنعت، پس از ارزیابی و شناسایی دقیق نوع و میزان مواجهات زیان‌آور برای هر شاغل، دستورالعملی شامل نوع شرح حال و معاینات فیزیکی و آزمون‌های آزمایشگاهی و پاراکلینیک موردنیاز برای هر شاغل توسط فرد واجد صلاحیت تهیه و پایش بر مبنای آن هدایت و انجام شود. اقدامات پزشکی نظیر ارزیابی سلامت کارکنان در معاینات قبل از استخدام، پایش سلامت در معاینات دوره‌ای و تشخیص زودرس عوارض می‌تواند نقش مهمی در کاهش صدمات ناشی از صدا در محیط کار داشته باشد. در هنگام معاینات قبل از استخدام افراد مستعد و حساس به صدا به‌دقت شناسایی‌شده و از اشتغال آنان در محیط پرصدا جلوگیری به‌عمل آید.

الف-۲ تعیین میزان مواجهه با ارتعاش شغلی

بدن انسان مثل تمام محیط‌های کشسان قابلیت تولید ارتعاش را دارد. هریک از اندام‌های بدن انسان دارای ارتعاش طبیعی مخصوص به خود می‌باشد و بسته به ویژگی هر اندام از بدن دارای فرکانس، جرم، فنریت و میرایی مخصوص به خود است. بازه ارتعاشی مهم برای بدن انسان در فرکانس‌های کمتر از ۲۰۰۰ Hz اتفاق می‌افتد و ارتعاشاتی که در بازه ۱ Hz تا ۸۰ Hz می‌باشند، محدوده طبیعی بدن را تشکیل می‌دهند.

معمولاً کارکنان در مواجهه با ارتعاش شغلی به‌دلیل مواجهه مستمر، در طول زمان، اثرات مواجهه را نشان می‌دهند. به‌طورکلی میزان بزرگی دامنه ارتعاش را در هر وضعیتی در محیط‌های کاری را می‌توان به سه روش تعیین کرد:

الف- اطلاعاتی که توسط صنایع تولیدکننده دستگاه‌ها ارائه می‌شود: از آنجا که صنایع تولیدکننده دستگاه‌ها به‌دلایل رقابتی تمایل به منتشر کردن اطلاعات نادرست و کمتر نشان دادن مقدار واقعی میزان ارتعاش تولیدشده توسط دستگاه‌های خود می‌باشند، بنابراین باید با احتیاط کامل در مورد اطلاعات منتشر شده از این منابع استناد نمود.

ب- مراجعه به سایر منابع اطلاعاتی: از سایر منابع اطلاعاتی که تا حدودی اطلاعات کم‌وبیش درستی در مورد میزان ارتعاش تولیدی دستگاه‌ها منتشر می‌کنند، می‌توان به مواردی همچون جستجوگرهای علمی و تخصصی موجود در اینترنت و کتب مرجع اشاره کرد. هنگام استفاده از این منابع بهتر است اطلاعاتی همچون نوع تجهیز (مثلاً لیفتراک)، طبقه وسیله (مثلاً توان و اندازه آن)، منبع انرژی، وجود سامانه ضد ارتعاشی را در نظر داشته باشید.

پ- اندازه‌گیری مستقیم مواجهه با ارتعاش در محیط کار توسط دستگاه ارتعاش‌سنج انسانی[1].

الف-۲-۱ مراحل شناسایی، اندازه‌گیری و ارزیابی ارتعاش

برای اندازه‌گیری و ارزیابی ارتعاش باید نسبت به روش‌های اندازه‌گیری، ویژگی‌های محیط شغلی و نوع مواجهه شغلی فرد با ارتعاش اطلاعات کافی کسب کرد. بهتر است قبل از اندازه‌گیری ارتعاش پس از تعیین هدف اندازه‌گیری، اطلاعات دقیقی از محل تولید ارتعاش، نحوه مواجهه شغلی فرد، وسیله اندازه‌گیری، روش کالیبراسیون آن، استانداردهای اندازه‌گیری و حدود مجاز مواجهه کسب نمود.

الف-۲-۱-۱ روش‌های شناسایی منابع ارتعاش و محدوده‌های خطر

ارتعاش یکی از عوامل همراه با صدا در محیط‌های صنعتی و شهری بوده و زمانی اتفاق می‌افتد که یک جرم متناوباً حول یک محور تعادل نوسان داشته باشد. فرکانس، دامنه جابه‌جایی و زمان تناوب از مشخصات حرکت ارتعاشی است. کلیهٔ اجسامی که دارای جرم و فنریت (قابلیت کشسانی) باشند، قابلیت پذیرش و تولید ارتعاش را دارند. از مشخصه‌های اصلی امواج ارتعاشی می‌توان به دامنه[2] (شامل دامنه جابه‌جایی[1]، سرعت و

1- Human Vibration Meter
2- Amplitude

شتاب[۲])، فرکانس[۳] (فرکانس زاویه‌ای[۴])، زمان تناوب[۵]، طول موج[۶] و نیرو[۷] اشاره نمود. با توجه به اینکه سامانه یا فرایند نقش قابل‌توجهی در میزان مواجهه افراد با ارتعاش داشته، برای آنالیز قابل قبول و مطمئن مشکلات ارتعاشی ضروری است که شناسایی منابع مولد به یک روش قابل اطمینان انجام و قبل از اقدام به ارزیابی ارتعاش در یک واحد یا کارگاه خاص، اطلاعات لازم درباره منابع ارتعاشی موجود، وسعت کار و زمان لازم برای انجام ارزیابی جمع‌آوری شود. در ارتباط بین ارتعاش اجسام در محیط و انسان (از نظر بهداشتی) آنچه که حائز اهمیت می‌باشد این است که انرژی امواج ارتعاشی حاصل از تجهیزات، وسایل کاری و مولدهای ارتعاش از قبیل ابزارهای الکتریکی گردان مثل دریل، انواع موتورهای درون‌سوز، ابزارهای پنوماتیک، وسایل نقلیه و دستگاه‌های دارای قسمت‌های متحرک در تماس مستقیم با اعضاء و اندام‌های بدن می‌توانند در برخی محدوده‌های دامنه و فرکانس ارتعاشی مخاطره‌آمیز باشد. انتقال این انرژی مکانیکی از منبع مرتعش به بدن کارکنان می‌تواند به ترتیب، موجب اختلال در راحتی و آسایش فرد، کاهش بازدهی در اثر خستگی و اختلال در اعمال فیزیولوژیک و حتی اختلالات دائم منجر به بیماری شود.

الف- ۲-۱-۱-۱ مطالعه ارتعاش تجهیزات

هر حرکت ارتعاشی تحت تاثیر یک نیروی درون سامانه یا نیروی محرکه ایجاد می‌شود. برای تداوم حرکت ارتعاشی باید یا میرایی سامانه بسیار کم باشد و یا نیروی ارتعاش پیوسته اعمال شود و این نیرو طبق رابطه هوک (فرمول‌های الف-۶، الف-۷ و الف-۸) محاسبه می‌شود:

$$F(N) = -K \times d \qquad \text{(الف-۶)}$$

$$F(N) = m \times a \qquad \text{(الف-۷)}$$

$$F(N) = C \times V \qquad \text{(الف-۸)}$$

که در آن:

F نیروی ارتعاش بر حسب نیوتن (N)؛

K ضریب فنریت یا سختی سامانه، برحسب نیوتن بر متر (N/m)؛

d دامنه جابه‌جایی، برحسب متر(m)؛

m جرم محیط، برحسب کیلوگرم (kg) ؛

a شتاب حرکت ارتعاشی، برحسب متر بر مجذور ثانیه (m/s^2)؛

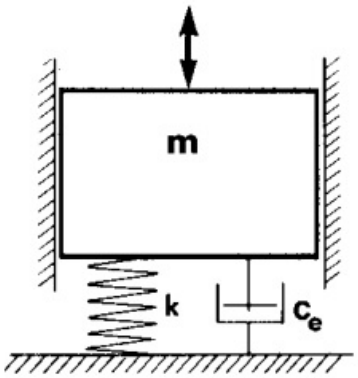
1- Displacement
2- Acceleration
3- Frequency
4- Angle Frequency
5- Period
6- Wave Length
7 - Force

g شتاب ثقل، معادل $9{,}81\ m/s^2$؛

C ضریب میرایی محیط، برحسب نیوتن ثانیه بر متر(Ns/m)؛

V سرعت ارتعاش در محیط، برحسب متر بر ثانیه (m/s)؛ است.

بر اساس روابط فوق، هر چه سختی، جرم یا میرایی سامانه بزرگتر باشد، برای حفظ دامنه (جابه‌جایی، سرعت یا شتاب) ارتعاش باید نیروی بزرگتری وارد شود. هر سامانه ارتعاشی با توجه به روابط بالا با سه عامل جرم، میرایی و فنریت نشان داده می‌شود. شکل الف-۵ نشان‌دهنده یک سامانه ارتعاشی است. در شرایطی که این سامانه به‌دلیل اعمال نیروی داخلی یا خارجی از حالت تعادل خارج شود، اگر چه انرژی محرکه سامانه باعث ارتعاش می‌شود، ولی بخشی از آن نیز صرف غلبه بر سختی و میرایی سامانه می‌شود. میرایی ارتعاش در حالت طبیعی، از دست دادن انرژی به طریق مالش، چسبندگی و حرارت بوده و دامنهٔ ارتعاشات به ضریب میرایی نیز وابسته است.



شکل الف-۵- طرح‌واره یک سامانه ارتعاشی

الف- ۲-۱-۱-۲ ارتعاش آزاد و ارتعاش واداشته

ارتعاشی که توسط نیروی ارتعاش سامانه داخلی (درونی) ایجاد شود را ارتعاش آزاد می‌نامند. به‌طورکلی هر سامانه با ارتعاش آزاد یا درونی، دارای یک فرکانس طبیعی مخصوص به خود می‌باشد. این فرکانس طبیعی در اثر وارد نمودن نیروی ذاتی سامانه بر جرم سامانه ارتعاشی که دارای سختی یا فنریت مخصوص به خود می‌باشد ایجاد شده و جرم محیط را حول نقطه تعادل آن به نوسان در می‌آورد. هنگامی که جسم از حالت تعادل خود خارج شود، نیروی ذاتی بر میرایی غلبه نموده و با فرکانس طبیعی شروع به ارتعاش می‌کند. رابطه مربوط به فرکانس طبیعی سامانه آزاد مطابق فرمول الف-۹ می‌باشد. ملاحظه می‌شود که فرکانس طبیعی وابسته به جرم، ضریب سختی و ضریب میرایی می‌باشد.

$$f_n(Hz)=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K}{m}-\left(\frac{C}{2m}\right)^2} \qquad \text{(الف-۹)}$$

که در آن:

K ضریب سختی سامانه، برحسب نیوتن بر متر (N/m)؛

m جرم محیط، برحسب کیلوگرم (kg)؛ و

C ضریب میرایی، برحسب نیوتن ثانیه بر متر (Ns/m)؛ است.

هنگامی که سامانه ارتعاشی آزاد تحت تاثیر نیروی محرکه بیرونی قرار گیرد، در ابتدا نسبت به نیروی محرکه از خود مقاومت نشان داده و در صورتی که نیروی محرکه بیشتر یا غالب باشد یا در شرایط نزدیک بودن فرکانس‌های دو محیط و برابری آن‌ها، عبور ارتعاش به‌راحتی انجام گرفته و سامانه ارتعاش آزاد[1] تحت تاثیر فرکانس نیروی محرکه به ارتعاش خود ادامه می‌دهد. این نوع ارتعاش از نوع واداشته[2] است. در صورتی که فرکانس نیروی محرکه و فرکانس طبیعی سامانه با یکدیگر برابر شوند عبور ارتعاش به سامانه آزاد بدون هیچ‌گونه مقاومتی انجام و پدیده تشدید[3] رخ می‌دهد. تشدید به معنی تسلیم شدن مکانیکی سامانه در برابر نیروی محرکه بوده و در مواردی که ارتعاش جز ذاتی یک سامانه آزاد برای فعالیت‌های آن می‌باشد، این پدیده ممکن است به‌دلیل غیر هم‌فاز بودن دو سامانه ارتعاشی، منجر به تخریب در سامانه‌های مکانیکی یا اختلال در سامانه فیزیولوژیک در بدن انسان شود. روابط مربوط اثر سامانه ارتعاشی محرکه بر سامانه آزاد در فرمول‌های الف-۱۰ و الف-۱۱ نشان داده شده است. میزان عبور ارتعاش با نسبت عبور نیروی ارتعاش محرکه بیان شده است:

$$T = \frac{F_t}{F_a} = \sqrt{\frac{1-(2\xi.X)^2}{[1-X^2]^2+[2\xi.X]^2}} \qquad \text{(الف-۱۰)}$$

$$X = f/f_n = \omega/\omega_n \qquad \text{(الف-۱۱)}$$

که در آن‌ها:

T نسبت عبور نیروی ارتعاش؛

F_t نیروی عبور کرده، برحسب نیوتن؛

F_a نیروی محرک، برحسب نیوتن؛

f فرکانس سامانه محرکه، برحسب هرتز؛

f_n فرکانس سیستم طبیعی، برحسب هرتز؛

ω سرعت زاویه‌ای؛

ξ نسبت میرایی، است.

نسبت میرایی بین صفر و یک متغیر بوده و از فرمول الف-۱۲محاسبه می‌شود:

1- Free Vibration
2- Forced Vibration
3- Resonance

$$\xi = \frac{C}{C_c} \quad \text{(الف-۱۲)}$$

که در آن:

C ضریب میرایی سیستم؛ و

C_c ضریب میرایی بحرانی سیستم، است.

ضریب میرایی بحرانی در هر سیستم ارتعاشی عبارت از ضریبی است که در آن، سیستم از ارتعاش باز می‌ایستد، رابطه آن در فرمول الف-۱۳ آمده است:

$$C_c = 2\sqrt{k.m} \quad \text{(الف-۱۳)}$$

که در آن:

K ضریب سختی سیستم، برحسب نیوتن بر متر؛

m جرم محیط، برحسب کیلوگرم؛

C_c ضریب میرایی بحرانی، برحسب NS/m، است.

فرکانس تشدید نیز طبق فرمول الف-۱۴ قابل محاسبه است:

$$f_r(Hz) = f\sqrt{1-\xi^2} \quad \text{(الف-۱۴)}$$

که در آن:

f_r فرکانس تشدید؛ و

f فرکانس نیروی محرکه، است.

الف- ۲-۱-۱-۳ عبور (انتقال) ارتعاش

به‌طورکلی میزان سهولت عبور نیروی ارتعاش از یک سامانه مرتعش به سامانه دیگر متناسب با نسبت فرکانس سیستم محرکه به فرکانس سامانه آزاد (طبیعی) (f/f_n) است. در صورتی‌که نسبت فرکانس سیستم محرکه به فرکانس سامانه طبیعی برابر با یک باشد، دامنه جابه‌جایی یا آسانی عبور ارتعاش در محیط به سمت بی‌نهایت میل می‌کند و پدیده تشدید اتفاق می‌افتد. زمانی که نسبت فرکانس نیروی محرکه به فرکانس طبیعی برابر با ۰٫۲ باشد میزان عبور ارتعاش برابر با ۱ و زمانی که فرکانس نیروی محرکه به فرکانس طبیعی برابر با ۱۰ باشد، در صورت عدم وجود میرایی، قابلیت عبور ارتعاش بسیار کم می‌شود، به‌همین علت در امر کنترل ارتعاش سعی می‌شود نسبت فرکانس محرکه به فرکانس طبیعی بزرگ باشد تا قابلیت عبور ارتعاش به حداقل برسد.

الف- ۲-۱-۱-۴ میرایی ارتعاش

در مطالعه ارتعاش، از بین سه کمیت جرم، میرایی و فنریت (سختی)، بررسی میرایی به‌دلایلی نسبت به دو کمیت دیگر از دشواری بیشتری برخوردار است. هنگامی که کمیت میرایی به‌درستی بررسی و اعمال شود سه ویژگی مهم را ایجاد می‌کند:

الف- کاهش انرژی ارتعاشی منتقل‌شده در طول سازه؛

ب- کاهش دامنه ارتعاشی در حالت تشدید؛

پ- کاهش ارتعاش آزاد یا ارتعاشات ناشی از ضربه.

از آنجا که ارتعاش، با تولید صدا همراه بوده، کاهش انرژی ارتعاشی منجربه کاهش تولید صدا نیز می‌شود. در حقیقت بخش عمده‌ای از صدای فرکانس پایین توسط سطوح سازه‌ای مرتعش تشدید شونده تولید می‌شود. در این نوع ارتعاشات، کنترل صدا با کاهش ارتعاشات ساختاری همراه است. به‌طور کلی میرایی سازه‌ای با استفاده از سامانه‌های پراکنش‌کننده انرژی بالا برای کاهش سطوح ارتعاش در فرکانس‌های تشدید انجام می‌شود و بر روی فرکانس‌های غیر از فرکانس تشدید بی‌اثر یا کم‌اثر است.

میرا شدن به‌معنی تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی حرارتی بوده و هر روشی که قادر به انجام این تبدیل باشد، یک مکانیسم میراکننده محسوب می‌شود. مواد میراکننده ارتعاش علاوه برکاهش میزان ارتعاش، انتقال صوت را نیز کاهش خواهند داد. به‌طور کلی ناحیه کنترل میرایی بین ناحیه با فرکانس پایین (جایی که سختی مهم‌ترین کمیت است) و ناحیه با فرکانس بالا (جایی که جرم کمیت کنترلی است) قرار می‌گیرد. بین این دو ناحیه جایی است که اکثر حالت‌های فرکانس طبیعی سازه وجود دارد.

الف- ۲-۱-۱-۵ فونداسیون تجهیزات

نصب تجهیزات ارتعاشی روی سطح زمین بدون قرار گرفتن روی یک فونداسیون مناسب، موجب افزایش دامنه جابه‌جایی استاتیکی می‌شود و بنابراین لرزش‌های ناشی از چرخش تجهیز موجب تشدید ارتعاش می‌شود. در نظر گرفتن فونداسیون به‌دلیل تحمیل جرم به سامانه باعث کاهش دامنه جابه‌جایی استاتیک می‌شود. هنگام نصب فونداسیون باید دقت کرد که این تجهیزات بر روی سطح زمین قرار بگیرند و از قرارگیری آن‌ها روی طبقات جلوگیری شود زیرا باعث تشدید ارتعاش می‌شود. نکته قابل توجه این است که هر دستگاه باید دارای فونداسیون مخصوص به خود باشد تا در صورت خرابی، ارتعاش آن به سایر دستگاه‌ها منتقل نشود. پیشنهاد می‌شود جرم فونداسیون باید بین ۱٫۵ تا ۳ برابر جرم تجهیز باشد. اگر دستگاه در سطح زمین قرار گیرد از نسبت ۱٫۵ و اگر در طبقات قرار بگیرد از نسبت ۳ استفاده می‌شود. متداول‌ترین فونداسیون‌ها معمولاً بتن آرمه و بعد از آن فولاد می‌باشد.

الف- ۲-۱-۱-۵-۱ مشخصات فونداسیون

برای انجام محاسبات مربوط به فونداسیون‌ها باید طول و عرض و مساحت آن محاسبه شود. طول و عرض فونداسیون وابسته به ابعاد کف تجهیزات می‌باشد. همچنین باید ٪۱۰ برای نصب صحیح تجهیز روی صفحه

اضافه شود و به‌همین ترتیب ارتفاع فونداسیون به جرم کلی فونداسیون و چگالی بتن آرمه وابسته است ولی در هر حال نباید ارتفاع فونداسیون از ۳۰ cm کمتر باشد. در فونداسیون از ۴ عدد صفحه و پایه عصایی برای متصل‌کردن پایه‌های دستگاه استفاده می‌شود. ابعاد بولت‌ها باید متناسب با ابعاد فونداسیون بوده، اغلب از cm^2 (۲۵×۲۵) کمتر نیست. ضخامت صفحه فولادی اغلب بیشتر از mm ۱۰ است. پایه بولت شامل میلگرد آجدار خمیده‌ای است که به صفحه پیچ یا جوش شده است و در داخل بدنه آرماتورها نصب می‌شود و پس از بتن‌ریزی، با فونداسیون یکپارچه می‌شود.

الف- ۲-۱-۱-۵ عایق ارتعاش

عایق ارتعاش[1] شامل مصالحی است که متناسب با ماهیت ارتعاش تجهیز بین پایه تجهیز و صفحه ستون فونداسیون قرار می‌گیرد و علاوه بر کاهش ارتعاش تجهیز، از انتقال ارتعاش به کف و سطوح و سازه‌های مجاور جلوگیری می‌کند. عایق‌های ارتعاش، شامل: انواع فنر، قطعات الاستومری، صفحات لاستیکی، صفحات چوب پنبه و نمد، بالشتک‌های هوا و کمک فنرها هستند.

الف- ۲-۱-۲ ارتعاش انسانی

بدن انسان همانند سایر محیط‌های الاستیک قابلیت پذیرش و تولید ارتعاش را دارد. بدن انسان دارای سیستم ارتعاشی مخصوص به خود بوده و همانند سایر موجودات زنده، حرکت ارتعاشی لازمهٔ حیات وی می‌باشد. ارتعاش عضلات باعث تعادل بدن می‌شود، ارتعاش کره چشم در دیدن اشیاء ساکن نقش ممتازی را برای انسان ایجاد نموده است، هضم و جذب غذا در دستگاه گوارش بدون ارتعاش طبیعی ناممکن است و بالاخره گردش خون و ضربان قلب دارای ارتعاش منظمی برای تغذیه و اکسیژن رسانی بافت‌ها می‌باشد. هر بخش از بدن انسان دارای یک ارتعاش طبیعی یا ذاتی بوده و بسته به هر اندام دارای فرکانس، جرم، فنریت و میرایی مخصوص به خود است. برای بدن انسان یک مدل ارتعاشی مکانیکی در نظر گرفته شده‌است که در آن، هر اندام یک محدوده از فرکانس ارتعاشی را دارا می‌باشد. بدن انسان به‌عنوان یک سامانه بیولوژیک می‌تواند تحت تاثیر سیستم‌های ارتعاش مهاجم (محرکه) قرار گیرد و دچار اختلال شود. در مباحث بهداشت حرفه‌ای شناخت و توجه به فرکانس بحرانی اندام‌ها متناسب در مواجهه با ارتعاش محیط کار علاوه بر اندازه‌گیری و ارزیابی دامنه شتاب ارتعاش دارای اهمیت بالایی می‌باشد، زیرا هر محدوده فرکانس به‌طور متناظر برخی اندام‌های هدف در بدن را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به‌همین دلیل در مطالعات ارتعاش شغلی، مبحث ارتعاش انسانی[2] جایگاه مهمی دارد. اصولاً در اندازه‌گیری و ارزیابی ارتعاش و هم‌چنین در تدوین حدود مجاز مواجهه شغلی، معیارهایی برای ارتعاش تمام بدن (WBV)[3] و به‌طور مستقل با توجه به اهمیت حفاظت دست و بازو، ارتعاش دست- بازو (HAV)[4] مورد توجه قرار گرفته است.

1- Vibration isolator
2- Human vibration
3- Whole Body Vibration
4- Hand Arm Vibration

الف-۲-۱-۳ روش‌های اندازه‌گیری ارتعاش شغلی

برای اندازه‌گیری و نهایتاً ارزیابی ارتعاش، شناخت کامل نسبت به روش‌های سنجش، خصوصیات محیط کار و چگونگی مواجهه کارکنان اهمیت دارد. در زیر به مهمترین نکاتی که باید قبل از اقدام به اندازه‌گیری و ارزیابی در نظر گرفته شود، اشاره شده است.

الف-۲-۱-۳-۱ هدف اندازه‌گیری

قبل از اندازه‌گیری ارتعاش باید هدف از انجام اندازه‌گیری مشخص شود. چرا که با توجه به نوع هدف، روش، وسایل و نحوه اندازه‌گیری ارتعاش متفاوت می‌شود. از جمله اهداف اندازه‌گیری ارتعاش می‌توان به اندازه‌گیری برای اهداف صنعتی (مثلاً عیب‌یابی و بازرسی فنی و پایش ارتعاش تجهیزات)، اندازه‌گیری برای مشخص نمودن میزان مواجهه فرد، اندازه‌گیری برای آنالیز فرکانس و اندازه‌گیری برای کنترل ارتعاش اشاره نمود.

الف-۲-۱-۳-۲ جمع‌آوری اطلاعات موردنیاز

قبل از هر گونه اقدام به اندازه‌گیری و ارزیابی، باید اطلاعات دقیقی از کارگاه و نحوه مواجهه کارکنان جمع‌آوری شود. نقشه ساده محیط کار به‌همراه جانمایی محل نصب دستگاه‌ها و خصوصاً دستگاه‌های مولد ارتعاش با مقیاس مناسب، ترسیم و اطلاعات مربوط به محل‌های توقف کارکنان، ساعات مواجهه هر گروه کارکنان با ارتعاش، اوقات تغییر شیفت و اطلاعات مدیریتی مهم مانند اضافه‌کاری، کارگردشی و مرخصی‌ها نیز باید ثبت شود. در اهداف کنترلی ارتعاش به اطلاعات دقیق و وسیعی در رابطه با مشخصات فنی دستگاه‌ها، مشخصات فنی سازه‌های بنای کارگاه و نیز مشخصات فنی فونداسیون محل نصب دستگاه‌ها نیاز است.

الف-۲-۱-۳-۳ وسیله اندازه‌گیری

با توجه به طرز کار و محدودیت‌های دستگاه استفاده شود. در انتخاب دستگاه ارتعاش‌سنج انسانی باید دقت نمود که طراحی دستگاه برای این کار انجام شده باشد. به‌علاوه اطمینان از داشتن قابلیت شبکه وزنی برای مطابقت با پاسخ بدن انسان و مناسب بودن بخش دریافت‌کننده ارتعاش برای اندازه‌گیری ضروری است. (به مراجع [2]، [3]، [4]، [0]، [10] و [11] مراجعه شود)

اصولاً ارتعاش‌سنج‌ها به دو صورت ارتعاش‌سنج صنعتی و ارتعاش‌سنج انسانی به بازار عرضه می‌شوند. نوع صنعتی برای عیب‌یابی و پایش ارتعاش تجهیزات صنعتی کاربرد دارد و مقادیر ارتعاش را به‌صورت مطلق و بدون توزین فرکانس اندازه‌گیری می‌کند، ولی نوع انسانی علاوه بر امکان توزین فرکانس بر مبنای درک حسی انسان، می‌تواند برخی محاسبات لازم را نیز انجام داده و شاخص مواجهه را تعیین کند. ارتعاش‌سنج انسانی برای اندازه‌گیری ارتعاش تمام بدن و دست- بازو کاربرد دارد. این وسایل دارای سنسور دریافت کننده اختصاصی و جدول توزین فرکانس مستقل بوده و با توجه به هدف اندازه‌گیری متفاوت می‌شود. نتایج اندازه‌گیری با این وسایل به‌صورت مقادیر فیزیکی یا تراز، مخصوصا تراز شتاب با مقادیر RMS یا PEAK دریافت می‌شود. دریافت‌کننده دارای شتاب‌سنج، قاب نگهدارنده، فیلتر تشدید، و کابل رابط است.

دستگاه‌های ارتعاش‌سنج شامل بخش‌های دریافت‌کننده، تقویت‌کننده سیگنال، پردازشگر و نمایشگر است.

الف-۲-۱-۳-۳-۱ انواع شتاب‌سنج‌ها

بخش دریافت‌کننده دستگاه‌های ارتعاش‌سنج، شامل شتاب‌سنج، قاب و سیم رابط به دستگاه است.

شتاب‌سنج‌های متداول شامل انواع زیر می‌باشند. نکته مهم در انتخاب دستگاه ارتعاش‌سنج و دریافت‌کننده آن توجه با استاندارد دستگاهی موردنیاز برای کاربرد آن در اندازه‌گیری مواجهه شغلی می‌باشد.

الف- پیزوالکتریک (کریستالی)؛

ب- پیزورزیستیو؛

ج- کششی (استرین گیج).

الف- ۲-۱-۳-۴ کالیبراسیون تجهیزات

بعد از تعیین هدف اندازه‌گیری، دستگاه‌های موردنیاز باید تنظیم و کالیبره شوند. کالیبراسیون در مرحله اول باید در اتاق کار یا آزمایشگاه انجام شود. این روش این مزیت را دارد که به محقق اطمینان می‌دهد که تنظیم سخت‌افزاری و نرم‌افزاری آن درست بوده و بنابراین زمان تنظیم دستگاه در محل اندازه‌گیری را کاهش می‌دهد. این کار، این مزیت را نیز دارد که می‌توان عملکرد تمام تجهیزات را قبل از بازدید از محیط کار مورد آزمون قرار داد. کالیبراسیون همچنین باید قبل از شروع فرایند اندازه‌گیری در محیط کار با استفاده از یک کالیبراتور استاندارد، انجام شود زیرا ممکن است در این مرحله نیز به تنظیمات مختصری نیاز باشد.

الف-۲-۱-۳-۵ اندازه‌گیری ارتعاش

با توجه به اهداف اندازه‌گیری، روش‌های اندازه‌گیری نیز متفاوت می‌شود. روش‌های اندازه‌گیری شامل موارد زیر است:

الف- اندازه‌گیری ارتعاش برای مقاصد صنعتی؛

ب- اندازه‌گیری ارتعاش تمام بدن؛

پ- اندازه‌گیری ارتعاش دست- بازو؛

ت- دوزیمتری ارتعاش.

الف- اندازه‌گیری ارتعاش برای مقاصد صنعتی

یکی از اهداف استفاده از این اندازه‌گیری پایش عملکرد و عیب‌یابی دستگاه‌های صنعتی می‌باشد. در این‌گونه اندازه‌گیری کمیات ارتعاش را بدون توزین فرکانس اندازه‌گیری کرده و در بررسی‌های بعدی راه‌های کنترل فنی بررسی و اجرا می‌شود.

ب- اندازه‌گیری ارتعاش تمام بدن

برای اندازه‌گیری ارتعاش تمام بدن باید از دستگاه مخصوص اندازه‌گیری این‌گونه ارتعاش استفاده شود. معمولاً بخش دریافت‌کننده ارتعاش تمام بدن به شکل صفحه‌ای با ضخامتی بسیار کم و پوششی از لاستیک حاوی شتاب سنج سه‌جهته بوده و در حدفاصل بدن و دستگاه قرار داده می‌شود. مثلاً برای فرد نشسته، شتاب سنج باید روی صندلی قرار بگیرد و فرد روی آن بشیند. در صورتی که کارکنان با ارتعاش یکنواختی مواجهه داشته باشند یک بار اندازه‌گیری شتاب یا تراز شتاب معادل کوتاه مدت ۱۰ دقیقه‌ای در سه جهت برای ارزیابی کافی است ولی اگر در طول زمان‌های مختلف با مقادیر متفاوتی مواجهه دارد باید برای هر مواجهه شتاب یا تراز شتاب معادل کوتاه مدت در سه جهت X، Y، Z اندازه‌گیری شود و به مقادیر کلی یا محدودشده و یا دوز تبدیل شود.

پ- اندازه‌گیری ارتعاش دست- بازو

برای اندازه‌گیری ارتعاش دست و بازو باید از وسیله‌ای استفاده شود که توانایی توزین فرکانس را داشته باشد. به‌طور کلی وسایل اندازه‌گیری ارتعاش دست و بازو بسیار کوچک هستند. اگر کارکنان با ارتعاش یکنواختی مواجهه دارد یک بار اندازه‌گیری شتاب یا تراز معادل کوتاه مدت ۱۰ دقیقه‌ای در سه جهت برای اندازه‌گیری کافی است. ولی اگر در طول زمان‌های مختلف یا در حالت‌های مختلف قرار می‌گیرد باید برای هر مواجهه مقادیر شتاب معادل کوتاه مدت در سه جهت اندازه‌گیری و سپس به مقادیر معادل کلی یا محدودشده تبدیل شود.

الف-۲-۱-۳-۶ آنالیز فرکانس ارتعاش

تجهیزات موجود می‌توانند علاوه بر اندازه‌گیری مؤلفه‌های دامنه ارتعاش، خصوصاً شتاب ارتعاش که مبنای اعلام حدود مجاز مواجهه شغلی است، مقادیر ارتعاش مواجهه را در بیناب فرکانسی بین ۰٫۲ Hz تا Hz ۲۰۰۰ تجزیه کنند. آنالیز فرکانس اغلب در باندهای یک اکتاو انجام می‌شود. کاربرد آنالیز فرکانس ارتعاش علاوه بر امکان مقایسه با حدود مجاز، برای پیش‌بینی اثرات و همچنین طرح کنترل کاربرد دارد.

الف- ۲-۱-۴ ملاحظات بررسی ارتعاش شغلی

در بررسی ارتعاش شغلی لازم است ابتدا مرحله شناسایی شاغلین تحت مواجهه و مستندات، شکایات و سایر اطلاعات موردنیاز نحوه مواجهه کارکنان گردآوری و ثبت شود. در مرحله بعد تهیه نقشه‌های هر محدوده و تعیین تجهیزات ارتعاشی در آن و درج محل استقرار کارکنان تحت مواجهه ضروری است. در این مرحله ممکن است به‌دلیل بالا بودن تعداد کارکنان تحت مواجهه ناچار باشید که آنها را در گروه‌های شغلی یا گروه-های وظیفه تقسیم‌بندی نمایید تا کار اندازه‌گیری و ارزیابی ارتعاش با سهولت انجام شود. در مرحله سوم باید برای هر کارگر نوع ارتعاش مواجهه شامل تمام بدن یا دست- بازو تعیین شود تا از روش مناسب اندازه‌گیری استفاده شود. در مرحله چهارم روش کار اندازه‌گیری و تناوب و مدت آن برای هر فرد یا گروه شغلی تعیین می‌شود. مرحله پنجم، انتخاب دستگاه اندازه‌گیری مناسب و کالیبراسیون آن است و مرحله ششم، انجام اندازه‌گیری و ارزیابی و مرحله هفتم نیز ثبت نتایج و اظهار نظر صریح در خصوص مجاز بودن یا غیر مجاز

بودن مواجهه برای هر فرد از کارکنان است.

الف-۲-۱-۵ ارزیابی مواجهه شغلی با ارتعاش

الف-۲-۱-۵-۱ ارزیابی مواجهه با ارتعاش تمام بدن

برای ارزیابی مواجهه کارکنان با ارتعاش تمام بدن ابتدا باید در جهات سه گانه شتاب موثر اندازه‌گیری شده، آن‌گاه بسته به اینکه برای ارزیابی از کدام معیار استفاده می‌شود، مقادیر مربوطه به‌صورت زیر است:

الف- در صورتی‌که معیار مورد نظر بر اساس شتاب کلی باید مقادیر را ابتدا با توجه به زمان هر مواجهه طبق فرمول مربوطه به شتاب معادل کلی تبدیل شود. توجه شود که در این ارتعاش برآیند شتاب در سه جهت مهم است. بر اساس روابط ذکر شده در استاندارد ISO 2631(1997-R2004) برآیند شتاب معادل کلی در سه جهت محاسبه و آن‌گاه با نمودارها یا جداول مربوطه مقایسه می‌شود. از آنجا که در محاسبه شتاب معادل کلی مقادیر شتاب موثر rms به‌کار می‌رود مقادیر به‌صورت شتاب یا تراز شتاب موثر در نظر گرفته می‌شود.

ب- در صورتی‌که استاندارد بر اساس مقادیر شتاب یا تراز آن در فرکانس‌های اکتاوباند باشد، در این حالت باید قبلا مقادیر شتاب معادل کلی را محاسبه نموده و سپس با نمودار استاندارد مربوطه یا حدود مجاز مواجهه OEL مقایسه شود.

الف-۲-۱-۵-۲ ارزیابی ارتعاش دست- بازو

برای ارزیابی ارتعاش دست- بازو ابتدا در جهت‌های سه گانه شتاب موثر یا تراز آن اندازه‌گیری شده و با توجه به زمان هر مواجهه و به‌کارگیری رابطه مربوطه مقادیر به شتاب معادل کلی یا تراز آن تبدیل می‌شود، آنگاه فقط مقادیر مربوط به جهات سه گانه به‌صورت برآیند محاسبه و برای مقایسه با حد مجاز شغلی OEL به‌کار میرود. رویه اندازه‌گیری عبارت است از:

الف- اگر کمیت معیار بر اساس مقادیر شتاب یا تراز شتاب کلی برای یک شیفت ۸ ساعته شغلی باشد، ابتدا باید کمیت معادل ۸ ساعته محاسبه شود و سپس مقایسه انجام گیرد.

ب- اگر در معیار مد نظر زمان مواجهه روزانه ذکر شده باشد فقط مقادیر شتاب یا تراز آن به‌همراه ساعت مواجهه مجموع روزانه با معیار مورد نظر مقایسه می‌شود.

پ- اگر معیار مورد نظر برحسب توزیع فرکانسی باشد باید در تمام فرکانس‌های مرکزی، کمیت اندازه‌گیری شده و با توجه به ساعت مواجهه با معیار مربوطه مورد مقایسه قرار گیرد. البته در صورت نیاز می‌توان توزیع فرکانسی کمیت اندازه‌گیری شده را روی منحنی معیار ترسیم و سپس نتیجه‌گیری کرد.

الف-۲-۱-۶ الزامات گزارش‌های اندازه‌گیری و ارزیابی

گزارش‌های نتایج اندازه‌گیری و ارزیابی باید حاوی اطلاعات کارگاه، اطلاعات گروه شغلی و گروه وظیفه، اطلاعات تجهیزات ارتعاشی، نوع، مدت و تناوب مواجهه هر فرد با ارتعاش، درج نتایج اندازه‌گیری برای

دوره‌های زمانی در جدول مربوطه و تعیین مقادیر برآیند سه جهت ارتعاش و تعیین شتاب ارتعاشی با تـوزین وزنی زمانی مواجهه روزانه $A_{eq(8h)}$ و مقایسه با حدود مجاز و نهایتا درج نتایج آنالیز فرکانس ارتعاش مواجهـه در فرم مربوطه برای هر فرد می‌باشد. در خاتمه باید صریحاً در خصوص مجاز یا غیر مجاز بودن مواجهه و دوز دریافتی کارکنان اظهار نظر به‌عمل آید.

پیوست ب

(آگاهی‌دهنده)

چک لیست غربالگری صدا

غربالگری صدا می‌تواند یک راه ساده و ارزان برای شناسایی کارگاه‌هایی باشد که احتمال آلودگی صدا[1] در آنها بالا است. این فرم مستقل از تعداد کارکنان هر کارگاه می‌باشد. در روش غربالگری کارگاه‌هایی که مشکل آلودگی صدا ندارند یا اولویت اقدام ندارند، به‌راحتی و با یک الگوی علمی از بقیه جدا می‌شوند. برای سایر کارگاه‌ها با توجه به نمره آلودگی صدا حاصل از بازرسی اولیه توسط فرم غربالگری، برنامه‌ریزی لازم برای بررسی بیشتر شامل اندازه‌گیری دستگاهی و ارزیابی مواجهه کارکنان انجام می‌شود. در این راستا با پیشنهاد این روش و فرم اولیه غربالگری توسط مؤلف و تایید ضرورت آن توسط کمیته عوامل فیزیکی وزارت بهداشت به‌عنوان پروژه تحقیقاتی (مقایسه استفاده از فرم غربالگری با نتایج اندازه‌گیری دستگاهی) شامل ۳۰ کارگاه انجام گردید. پس از آنالیز آماری نتایج طی چند مرحله و بررسی نتایج تحلیل آنها، فرم حاضر به صورت یک ماتریس (۱۰ × ۳) تدوین گردید. مقایسه نتایج حاصل از این فرم با اندازه‌گیری دستگاهی دارای همبستگی ۰٫۷۲۴ ، ویژگی ۰٫۸۵ و حساسیت ۰٫۵ است. در این فرم، نمره حد آلودگی صدا با توجه به معیار حد مجاز مواجهه شغلی کشور (dB(A) ۸۵ برای ۸ ساعت کار روزانه) برابر ۷۲٫۵ تعیین شد. بنابراین تمامی کارگاه‌هایی که نمره این محدوده یا بالاتر را کسب کنند در اولویت مراحل بعدی بررسی خواهند بود.

حداقل نمره قابل کسب کارگاه‌ها در این فرم، مطابق جدول شماره ۳ برابر ۳۲ و حداکثر آن ۹۶ می‌باشد، بنابراین باید برای کارگاه‌هایی که نمره بیش از حد آلودگی کسب نمایند به‌ترتیب اولویت برنامه‌ریزی لازم برای اندازه‌گیری دستگاهی توسط کارشناس انجام شود. نمره کلی هر کارگاه از مجموع نمرات ردیف‌ها با توجه به ضریب مربوطه محاسبه می‌شود. این تکنیک می‌تواند به‌همین شیوه و توسط فرم مناسب برای سایر عوامل مخاطره‌زا نیز تدوین شود.

راهنمای تکمیل چک لیست غربالگری صدا (جدول-ب-۱):

۱- این فرم برای غربالگری کارگاه‌ها از نظر شناسایی عامل زیان‌آور صدا است.

۲- این فرم برای مراکز مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط زیست[2] (HSE-MS) صنایع مرتبط با نفت و گاز طراحی شده است.

۳- این فرم باید توسط کارشناسان بهداشت حرفه‌ای که آموزش کافی در خصوص مواجهه شغلی با صدا دیده باشند در بازرسی‌های معمول مورد استفاده قرار گیرد.

۴- تکمیل‌کننده این فرم باید دارای شنوایی سالم بوده و سابقه بیماری‌های گوش یا مواجهه حاد با صدا

1- Noise pollution
2- Health, Safety and Environment Management System

نداشته باشد.

۵- منظور از نگهداری دستگاه‌ها، تنظیم فنی و مراقبت برای جلوگیری از فرسودگی و روغن‌کاری و گریس‌کاری و سایر مواردی است که می‌تواند در افزایش صدا مؤثر باشند.

۶- تست مکالمه در محدوده بیشترین تردد یا توقف کارگران، در فاصله یک متری باید با استفاده از یک جمله مرتبط با کار و بدون استفاده از لب‌خوانی انجام شود و فرد مخاطب نیز باید از شنوایی سالم برخوردار باشد، برای این کار می‌توان از کارگران دیگر قسمت‌ها یا کارکنان اداری کمک گرفت.

۷- نمره هر ردیف، پس از علامت زدن قسمت مربوطه، حاصل ضرب ضریب ستون مذکور در ضریب اهمیت آن معیار دارد و به‌همین ترتیب نمره کلی فرم حاصل جمع نمرات ردیف‌ها است.

استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۲۳۳۰۶ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

جدول ب-۱ - چک لیست غربالگری صدا

نام کارگاه اصلی :			**نام کارگاه فرعی :**			**کد کارگاه :**	
تعداد کارگر :			**نوع تولید :**				
ردیف	**ویژگی- امتیاز / وضعیت کارگاه**	**ویژگی**	**۳**	**ویژگی**	**۲**	**ویژگی**	**۱**	**ضریب**
۱	جنس سطوح داخلی (دیوارها)	سخت (مانند سیمان یا کاشی)		متوسط (مانند گچ)		نرم (مانند چوب یا مصالح آکوستیکی)		(۲)
۲	جنس سطوح داخلی (کف)	سخت (مانند سیمان)		متوسط (مانند آجر)		نرم (مانند چوب، موکت)		(۱)
۳	جنس سطوح داخلی (سقف)	سخت (مانند فلز یا سیمان)		متوسط (مانند گچ)		نرم (چوب یا مصالح آکوستیکی)		(۱)
۴	متوسط عمر دستگاه‌های مولد صدا	بیش از ده سال		۹-۵ سال		کمتر از ۵ سال		(۱)
۵	نگهداری دستگاه‌های مولد صدا	خیلی نامناسب		تا حدودی مناسب		مناسب		(۱)
۶	تداوم صدا	در طول شیفت		نیمی از شیفت		کمتر از نیم شیفت		(۲)
۷	تعداد منابع صوتی	بیش از ۱۰ دستگاه		۹-۵ دستگاه		کمتر از ۵ دستگاه		(۲)
۸	متوسط مواجهه کارگران با صدا	بیش از ۸ ساعت		۷-۴ ساعت		کمتر از ۴ ساعت		(۱)
۹	مکالمه در فاصله یک متری	اصلاً شنیده نمی‌شود		باید فریاد زد		به‌راحتی شنیده می‌شود		(۱۵)
۱۰	حجم کارگاه	کمتر از ۱۰۰متر مکعب		۱۰۰ تا ۱۰۰۰ متر مکعب		بیش از ۱۰۰۰ متر مکعب		(۶)
	نمره کل آلودگی صدا							
ساعت و تاریخ تکمیل فرم				نام و امضای بازرس				

استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۲۳۳۰۶ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

پیوست پ

(آگاهی‌دهنده)

فرم اندازه‌گیری صدا

فرم شماره ۱- گزارش اندازه‌گیری محیطی صدا

الف - نام کارگاه اصلی: نام کارگاه فرعی: کد:

دستگاه‌های عمده مولد صدا: ۱ - ۲ - ۳ –

- ابعاد سالن (به متر) طول عرض ارتفاع جنس مصالح: کف دیوار سقف

تاریخ اندازه‌گیری صدا: ساعت اندازه‌گیری صدا:

ب - نوع و مدل ترازسنج صوت: کالیبراتور:

- شبکه توزین فرکانس: A-O C- O LIN- O

- سرعت پاسخ دستگاه SLOW-O FAST-O IMP.-O

- نوع صدا: پیوسته‌O کوبه‌ایO توأم (نوبتی) O

- موقعیت تراز فشار صوت: RMS- O PEAK(MAX)- O

ج - نقشه موقعیت منابع صوتی و ایستگاه‌های اندازه‌گیری:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A															
B															
C															
D															
E															
F															

حداقل تراز فشار صوت در کارگاه: حداکثر تراز فشار صوت در کارگاه:

تعداد ایستگاه‌های محدوده خطر: درصد ایستگاه‌های محدوده خطر:

تعداد کارکنان شاغل در محدوده خطر: درصد کارکنان شاغل در محدوده خطر:

تاریخ تکمیل فرم: نام و امضای کارشناس:

راهنمای تکمیل فرم شماره ۱- گزارش اندازه‌گیری محیطی صدا (روش شبکه‌ای)

۱- دستگاه‌های عمده مواد صدا طبق کدهای قسمت (الف) در نقشه شطرنجی قسمت (ج) به‌صورت ساده و با حفظ نسبت فواصل ترسیم نمایید.

۲- ابتدا دستگاه ترازسنج صوت را کالیبره نموده و برای اندازه‌گیری تراز کلی صدا از شبکه A استفاده نمایید.

۳- سرعت پاسخ دستگاه را بر اساس توصیه استاندارد انتخاب نمایید (Slow).

۴- تراز SPL بر اساس موقعیت RMS دستگاه تنظیم شود.

۵- برای ترسیم خطوط هم‌تراز یا نواحی هم‌تراز (نقشه صدا) می‌توانید به فواصل معین اندازه‌گیری و ثبت نمایید. فواصل مناسب دقت برای ترسیم خطوط یا تعیین نواحی حداکثر ۳ دسی‌بل است. می‌توان هر خط به‌دست آمده یا هر ناحیه مورد نظر را با رنگ یا کد مشخص نمود. برای مناطق کمتر از ۶۵ در مقیاس A به رنگ سبز، مناطق ۶۵ دسی‌بل تا ۸۱ دسی‌بل با رنگ زرد، مناطق ۸۲ دسی‌بل تا ۸۵ دسی‌بل به رنگ نارنجی و مناطق مساوی یا بالاتر از ۸۵ دسی‌بل را با رنگ قرمز مشخص نمایید.

۶- برای هر بار اندازه‌گیری باید دستگاه را روی حالت L_{eq} بگذارید و بر اساس ماهیت تغییرات صدا مدت اندازه‌گیری را بین ۱۰ s تا ۳۰ s تنظیم کنید.

فرم شماره ۲- گزارش اندازه‌گیری موضعی صدا (اندازه‌گیری تراز کلی)

الف - نام کارگاه اصلی: نام کارگاه فرعی: کد کارگاه:

- دستگاه‌های عمده مولد صدا:۱ - ۲ - ۳ –

- تاریخ اندازه‌گیری صدا: ساعت اندازه‌گیری صدا:

ب - نوع و مدل ترازسنج صوت: - کالیبراتور:

- شبکه توزین فرکانس: A-O C- O LIN- O

- سرعت پاسخ دستگاه SLOW-O FAST-O IMP.-O

- نوع صدا: پیوسته‌O کوبه‌ایO توأم (نوبتی) O

- موقعیت تراز فشار صوت: RMS- O PEAK(MAX)- O

ج - پلان موقعیت منابع صوتی و کد ایستگاه‌های سنجش:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A															
B															
C															
D															
E															
F															

د - نتایج اندازه‌گیری کلی صدا:

ایستگاه / کمیت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
SPL (rms)									
SPL (max)									
Crest Factor									
ساعت مواجهه									
L_{eq8hr} (dBA)									
Dose (%)									
تشخیص نهایی*									

* تشخیص نهایی م = مواجهه مجاز غ= مواجهه غیر مجاز

تاریخ تکمیل فرم: نام و امضای کارشناس:

راهنمای تکمیل فرم شماره ۲- گزارش اندازه‌گیری موضعی صدا (اندازه‌گیری تراز کلی)

۱- دستگاه‌های عمده مواد صدا طبق کدهای قسمت (الف) در نقشه شطرنجی قسمت (ج) به‌صورت ساده و با حفظ نسبت فواصل ترسیم نمایید.

۲- ابتدا دستگاه ترازسنج صوت را کالیبره نموده و برای اندازه‌گیری تراز کلی صدا از شبکه A استفاده نمایید.

۳- سرعت پاسخ دستگاه را بر اساس توصیه استاندارد مواجهه انتخاب نمایید (Slow).

۴- تراز SPL بر اساس موقعیت RMS دستگاه و تراز ماکزیمم بر اساس موقعیت max تنظیم شود.

۵- در ستون مربوط به هر ایستگاه در قسمت (د) پس از ثبت مقادیر تراز کلی و تراز پیک فشار صوت مقادیر تراز معادل ۸ ساعته و دوز صدا را بر اساس روابط زیر و نحوه مواجهه و ساعت مواجهه کارکنان محاسبه و ثبت نمایید. در صورتی‌که تراز کلی با توجه به الگوی تراز متوسط $\overline{LP}$ (فرمول پ-۱) باشد، آن را با ستاره علامت‌گذاری کنید.

$$\overline{LP}(dB) = \left[\frac{1}{N} \sum_{1}^{n} 10^{SPL/10} \right] \qquad \text{(پ-۱)}$$

Crest Factor = PEAK Level - RMS Level

$$L_{eq(8h)} = 10 \log \left[\frac{1}{8} \sum_{1}^{n} t_i . 10^{LP_i/10} \right]$$

که در آن:

n دفعات مواجهه با صدا؛

t_i زمان هر بار مواجهه، برحسب ساعت؛ و

SPL_i تراز فشار صوت در هر بار مواجهه، است.

فرم شماره ۳- گزارش آنالیز فرکانس صدا

الف - نام کارگاه اصلی: نام کارگاه فرعی: کد کارگاه:

- دستگاه‌های عمده مولد صدا: ۱ - ۲ - ۳ –

- تاریخ اندازه‌گیری صدا: ساعت اندازه‌گیری صدا:

ب - نوع و مدل ترازسنج صوت: - کالیبراتور:

- شبکه توزین فرکانس: A-O C*- O LIN- O

- سرعت پاسخ دستگاه SLOW-O FAST-O IMP.-O

- نوع صدا: پیوسته O کوبه ای O توأم (نوبتی) O

- موقعیت تراز فشار صوت: RMS- O PEAK(MAX)- O

ج - پلان موقعیت منابع صوتی بر اساس کد ایستگاه اندازه‌گیری:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A															
B															
C															
D															
E															
F															

د - نتایج آنالیز فرکانس صدا:

Hz / ایستگاه	۶۳	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	۸۰۰۰
۱								
۲								
۳								
۴								
۵								
۶								
۷								

* - شبکه توزین فرکانس توصیه شده C می‌باشد.

تاریخ تکمیل فرم: نام و امضای کارشناس:

پیوست ت

(آگاهی‌دهنده)

موارد اقدام و تخصیص مسئولیت

نمونه‌ای موارد اقدام تعریف شده و تخصیص مسئولیت انجام وظایف که در این پیوست آمده است به‌شرح جدول ت-۱ خلاصه می‌شود. توجه داشته باشید که موارد اقدام در پروژه‌ها ترتیب زمانی ندارد.

جدول ت-۱- خلاصه موارد اقدام و تخصیص مسئولیت

شماره اقدامات	شرح وظیفه	مرجع. بخش	طرف مسئول		
			شرکت	پیمانکار	مشاور
A1	بررسی مقدماتی انتشار صدا در محدوده‌های شرکت		*		
A2	بررسی مقررات محلی برای صدای داخل شرکت		*[1]		
A3	تعیین حدود مجاز صدای محیطی و موضعی و تجهیزات در مشخصات پروژه		*[1]		
A4	بررسی مقررات صدای محیطی و مذاکره با مسئولین		*[1]		
A5	تعیین الزامات مربوط به پایش و کنترل صدا		*[1]		
A6	اندازه‌گیری صدای تجهیزات، صدای محیطی و صدای موضعی مربوط به مواجهه شاغلین				*
A7	کسب مجوز از شرکت برای مناطق ممنوعه			*	
A8	نصب برچسب‌ها و تابلوهای مربوط به حفاظ‌های شنوایی			*	
A9	مشخص‌کردن حدود مجاز صدای تجهیزات، از جمله محدودیت‌های بیشتر		*		
A10	تعیین الزامات عایق‌بندی و صدابندی		*[1]		*[1]
A11	تعیین نیاز به کنترل صدا و انتخاب روش مناسب آن		*		*
A12	اندازه‌گیری و ارزیابی صدا به‌منظور انجام آزمون‌های موفقیت کنترل صدا				*
A13	اجرای طرح‌های کنترل صدا			*	
A14	ارائه گزارش کنترل صدا			*[1]	
A15	صدور گزارش نتایج آزمون‌های کنترل صدا				*[1]
A16	صدور تاییدیه نتایج آزمون‌های کنترل صدا		*		
A17	انجام اقدام اصلاحی در صورت لزوم			*	
A18	انتخاب تجهیزات کم صدا		*		
A19	تعیین جزئیات تجهیزات کم‌صدا و تجهیزات موردنیاز برای کنترل صدا		*		
A20	تصمیم‌گیری در مورد اینکه کدام تجهیزات باید آزمون «صدا» داشته باشند		*[1]		
A21	ارائه گزارش در مورد تعیین تراز توان و تراز نشر صوتی منابع				*[1]
A22	قرارداد مشاور مستقل آکوستیک برای بررسی		*		

[1] در صورت درخواست ممکن است این اطلاعات تفسیر شود.

استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۲۳۳۰۶ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

پیوست ث

(آگاهی‌دهنده)

اجرای آزمون‌های صدا

آزمون صدا باید برای تجهیزات مشخص شده در محلی که برای شرکت تأمین‌کننده تعیین می‌شود اجرا شود و بر اساس آن توسط شرکت مورد تأیید قرار گیرد. توجه شود در صورتی‌که پذیرش تک‌تک اقلام تجهیزات منوط به نتیجه رضایت‌بخشی از آزمون‌های صدا در تعهدات تأمین‌کننده تجهیزات باشد، مرحله آزمایش باید تاییدکننده عملکرد در محل نصب تجهیز باشد و باید قبلاً یک روش آزمون مناسب بین پیمانکار و شرکت توافق شود. (به استاندارد ISO 3746 و استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۸۵ و استاندارد ISO 9614 مراجعه شود).

ث-الف آزمون قبولی

مسئولیت پیمانکار برای انجام تعهدات حدود مجاز مشخص‌شده صدا تا زمانی که پایان اندازه‌گیری و ارزیابی توسط یک مشاور صوتی مستقل (تعیین‌شده توسط شرکت و تعریف‌شده در متن استاندارد) مبنی بر اینکه تراز صدا از حدود مجاز فراتر نرفته است، خاتمه نمی‌یابد. قرارداد با این مشاور مستقل بخشی از حوزه کار پیمانکار را تشکیل می‌دهد.

آزمون صدا شامل تهیه یک نقشه توزیع انتشار صدا در محل نصب تجهیز و شامل تعیین خطوط بافرهای dB(A) ۵۵ و بالاتر، با مراحل افزایشی dB(A) ۳ است. در مواردی که لازم است محدودیت توان انتشار صدای تجهیزات برای پروژه اعمال شود، باید قبلا روش آزمون مناسب انجام شود.

درصورتی‌که منظور از اندازه‌گیری تعیین میزان موفقیت کنترل صدا توسط عایق‌ها، محفظه‌ها و ساکت کننده‌ها و انباره‌ها (سایلنسر و مافلر) باشد. باید اندازه‌گیری به ترتیبی که در متن استاندارد (بخش‌های ۱-۳-۲-۱ و ۱-۳-۲-۲) برای اندازه‌گیری تراز توان و تراز نشر صدای منابع معرفی‌شده، انجام شود. به‌طوری که بتوان نتایج قبل و بعد از اجرای مداخله را با هم مقایسه نمود و اثربخشی اقدام را در کاهش صدا تعیین نمود.

ث-ب اقدامات اصلاحی

اگر تراز عینی صدا در اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در آزمون با ترازهای پیش‌بینی شده از حد مجاز تعیین‌شده بیشتر شود، باید اقدامات اصلاحی انجام شود.

استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۲۳۳۰۶ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

پیوست ج

(آگاهی‌دهنده)

آزمون سامانه‌های عایق صوتی

ج-۱ کلیات

این بند روشی را برای تعیین افت انتقال نسبی سامانه‌های عایق صوتی روی لوله‌هایی با قطر اسمی mm ۱۰۰ تا mm ۱۰۰۰ توصیف می‌کند. روش آزمون در شرایط آزمایشگاهی توضیح داده می‌شود. برای اطلاعات خاص در مورد تجهیزات اندازه‌گیری، امکانات آزمون و غیره، باید از استانداردهای مربوطه استفاده شود. به‌طور کلی تعیین افت انتقال ورودی تعیین اختلاف بین ترازهای توان صوتی است. روش تشریح شده در زیر بر اساس استاندارد ISO 3741 برای اتاق‌های بازتابی و مطابق با استاندارد ASTM E1222 است.

توجه- روش‌های مهندسی برای تعیین تراز توان صوتی منابع کوچک متحرک در استانداردهای ISO 3743-1 و ISO 3743-2 توضیح داده شده است. از آنجایی که این استانداردها محدودیت‌هایی برای حداکثر ابعاد فیزیکی منبع صدا ذکر کردند، آن‌ها برای آزمون‌هایی که در این بند توضیح داده شده است، کمتر مناسب هستند.

افت انتقال نسبی سامانه عایق صوتی به مواد عایق، روش نصب، ابعاد لوله (ضخامت دیواره، قطر) و مکانیسم‌های تحریک ایجادکننده تابش صدا از لوله (اسپیکرهای بلند در آزمایشگاه و جریان، شیر و صدای ماشین‌آلات در شرایط میدانی). به این دلایل، نتایج به‌دست آمده در شرایط آزمایشگاهی می‌تواند با نتایج به‌دست آمده در شرایط مشابه در عمل متفاوت باشد. نتایج برای اهداف طراحی و مقایسه سامانه‌های عایق مختلف بسیار مفید است.

ج-۲ روش اندازه‌گیری: اتاق بازتابی

یک لوله فولادی در یک اتاق بازتابی نصب می‌شود. صدا در این لوله با استفاده از یک بلندگو یا درایور آکوستیک در یک انتهای آن وارد می‌شود. ترازهای فشار صوت در اتاق بازتابی در شرایط با لوله بدون عایق و لوله با عایق اندازه‌گیری می‌شود. افت انتقال نسبی سامانه عایق برابر با تفاوت بین تراز فشار صوتی برای صدای منتشر شده از لوله بدون عایق و تراز فشار صوت تابش شده از لوله عایق شده است.

توجه یادآوری- اگر روکش از مواد منعکس‌کننده صدا مانند فولاد یا آلومینیم باشد، جذب صدا در اتاق بازتابی تقریباً با افزودن عایق بر روی لوله تغییر نمی‌کند.

نتایج باید در یک سوم اکتاوباند از Hz ۱۰۰ تا Hz ۱۰۰۰۰ یا اکتاوباندهای از Hz ۱۲۵ تا Hz ۸۰۰۰ به‌دست آید. دقت در محدوده فرکانس پایین به‌شدت به اندازه اتاق بازتابی بستگی دارد.

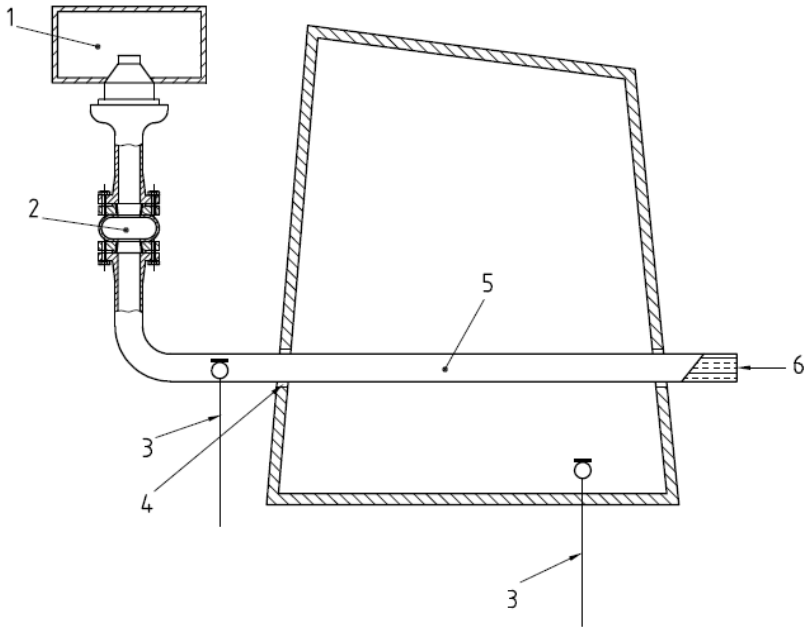
ج-۳ امکانات آزمون

ج-۳-۱ اتاق آزمون

الزامات مربوط به حجم اتاق آزمون به‌دقت مورد نظر، محدوده فرکانس مورد نظر و ابعاد نمونه آزمون بستگی دارد. اتاق آزمون باید با الزامات محیط صوتی مطابق با استاندارد ISO 3741 مطابقت داشته باشد. این مورد مربوط به حجم، شکل و جذب اتاق آزمون، تراز صدای پس زمینه، دما و رطوبت است. حداقل حجم اتاق تست در جدول ۳ استاندارد ISO 3741 مشخص شده است. برای اتاق‌های بازتابی با حجم کمتر از مقادیر نشان داده شده در این جدول برای محدوده فرکانس مورد نظر، یا با حجم بیش از $۳۰۰\ m^3$ ، مناسب بودن اتاق برای اندازه‌گیری باند پهن باید با استفاده از روش پیوست D استاندارد ISO 3741 بررسی شود. حجم نمونه آزمون، از جمله عایق صوتی، ترجیحاً بیشتر از ٪۲ حجم اتاق بازتابی مورد استفاده برای آزمون نباشد.

ج-۳-۲ فرایند نصب

لوله آزمایش باید به‌گونه‌ای نصب شود که سهم صدا ناشی از سایر مسیرهای انتقال صدا در مقایسه با انتقال صدا از طریق نمونه آزمون ناچیز باشد (شکل ج-۱ را ببینید). این امر به‌ویژه در مورد انتقال صدای جانبی، که باید حداقل ۱۰ دسی‌بل کمتر از انتقال صدا از طریق نمونه آزمایشی باشد، مهم است. به‌همین دلیل لوله آزمایش باید به‌طور ارتجاعی در خارج از اتاق بازتابی در هر دو انتها نصب شود. لوله آزمایش باید از دیوارهای اتاق بازتابی بدون اتصالات سخت نفوذ کند. این نفوذها باید به اندازه کافی درزبندی شوند.



راهنما:

۱. جعبه مربوط به اسپیکر
۲. اتصال انعطاف‌پذیر، کاهش انتقال صدای پیکری
۳. میکروفون
۴. درزبندی الاستیکی
۵. لوله با عایق در حال آزمون
۶. انتهای بدون بازتابش صوتی

شکل ج-۱ - طرحی از پیکربندی آزمایشی برای اندازه‌گیری افت انتقال عایق لوله

لوله با استفاده از یک پایانه بدون بازتابش صوتی بسته خاتمه می‌یابد، که باید در بیرون از اتاق بازتابی قرار گیرد. پایانه باید دارای ضریب بازتاب (قدرت) کمتر از ٪۱۰ در محدوده فرکانس تعریف شده در بند ۵ باشد.

ج-۳-۳ ابعاد لوله

طول لوله فولادی باید حداقل ۴ متر و قطر آن از ۱۰۰ mm تا ۱۰۰۰ mm باشد. برای آزمون‌های استاندارد روی لوله‌های با قطر خارجی در محدوده ۱۰۰ mm تا ۳۰۰ mm، حداقل ضخامت دیواره ۴٫۲ mm موردنیاز است. برای لوله‌های با قطر بین ۳۰۰ mm تا ۱۰۰۰ mm حداقل ضخامت دیواره ۶٫۳ mm موردنیاز است. به دلایل عملی، ضخامت دیواره بزرگتر توصیه نمی‌شود زیرا ممکن است باعث ایجاد مشکلاتی در اندازه‌گیری شود. تجربه ثابت کرده است که افت انتقال اندازه‌گیری شده برای ضخامت دیواره بزرگتر از آنچه در طول آزمون استفاده می‌شود معتبر است.

ج-۳-۴ منبع صدا

در خارج از اتاق بازتابی، لوله آزمایش به یک منبع صوتی با خروجی مناسب مربوط به افت انتقال که باید اندازه‌گیری شود، متصل می‌شود. سیگنال آزمون در هر یک سوم اکتاوباند یا اکتاوباند باید صدای سفید باشد. می‌توان اندازه‌گیری‌ها را به‌طور همزمان در یک یا چند باند فرکانسی انجام داد. در داخل لوله باید از یک

میکروفون برای کنترل استواری منبع صدا قبل و بعد از اعمال عایق روی لوله استفاده شود. منبع صدا به طور انعطاف‌پذیر به دیواره لوله آزمایش متصل می‌شود تا از انتقال صدای پیکری به لوله جلوگیری شود. باید حالتی (مثلاً یک خم) بین منبع و بخش آزمایشی وجود داشته باشد تا حالت‌های لوله مرتبه بالاتر به اندازه کافی برانگیخته شود. می‌توان تغییر در جذب صدا در اتاق بازتابی را به‌دلیل سامانه روکش با استفاده از یک منبع صوتی مرجع در اتاق بازتابی (متفاوت از منبع متصل به لوله) که مطابق با استاندارد ISO 354 است، تعیین کرد.

ج-۴ نمونه آزمایشی

سامانه عایق صوتی باید مطابق دستورالعمل‌های استاندارد سازنده نصب شود. شکاف در ورودی لوله (بدون یا با عایق) از طریق دیواره‌های اتاق بازتابی باید به‌گونه‌ای ارتجاعی مهروموم شود تا از انتشار صدای قابل توجه از دیوارها جلوگیری شود.

ج-۵ اندازه‌گیری

اندازه‌گیری‌های زیر باید به‌صورت متوالی انجام شود.

الف- اندازه‌گیری بدون عایق:

- لوله فولادی را با صدای باند پهن یا صدا پی‌درپی یک سوم اکتاوباند در فرکانس‌های مرکزی از Hz ۱۰۰ تا ۱۰kHz با استفاده از منبع صوتی متصل به لوله خارج از اتاق آزمایش تحریک کنید.
- میانگین لگاریتمی تراز فشار صوت (L_b) در اتاق آزمون را بر اساس استاندارد ISO 3741 تعیین کنید.
- میانگین لگاریتمی تراز فشار صوت (L_{br}) را با استفاده از منبع صوتی مرجع در اتاق آزمون، در حالی‌که منبع صوتی خارج از اتاق آزمون خاموش است، تعیین کنید.

ب- اندازه‌گیری با وجود عایق:

- تکرار تحریک لوله؛
- تعیین میانگین لگاریتمی تراز فشار صوت منتقل‌شده توسط نمونه آزمون شامل سامانه روکش ناشی از وجود منبع خارجی (L_c)؛
- میانگین تراز فشار صوت را با توجه به منبع صوتی مرجع در اتاق آزمون (Lcr) را تعیین کنید.
- ضروری است که شرایط زیر در طول آزمون تغییر نکند:

۱- تنظیمات سیگنال آزمایشی در لوله فولادی؛

۲- تنظیمات منبع مرجع در اتاق آزمون؛

۳- محل منبع در اتاق آزمون؛

۴- موقعیت‌های میکروفون یا مسیر میکروفون.

یادآوری- لازم است که مدار آزمون بررسی شود و در صورت لزوم، انتقال صدای پیکری بین نمونه آزمون و دیوار مجاور قطع شود. تمیز کردن اتاق آزمون پس از هر بار اصلاح و تغییر نمونه آزمون برای جلوگیری از تغییر در جذب صدا در اتاق آزمون ضروری است. توالی اندازه‌گیری‌ها (بدون و با عایق) می‌تواند در صورت تمایل تغییر کند.

ج-۶ نتایج

در هر باند فرکانسی مورد نظر، افت انتقال طبق فرمول ج-۱ زیر محاسبه می‌شود:

$$D_W = L_b - L_c - (L_{br} - L_{cr}) \qquad (ج-۱)$$

که در آن:

D_W افت انتقال، برحسب دسی‌بل؛

L_b و L_c میانگین تراز فشار صوت بازتابی برای لوله بدون عایق (L_b) و لوله با عایق (L_c)، برحسب دسی‌بل؛

L_{br} و L_{cr} میانگین تراز فشار صوت بازتابی برای منبع مرجع برای لوله بدون عایق L_{br} و لوله با عایق L_{cr} در اتاق بازتابی، برحسب دسی‌بل؛ است.

توجه یادآوری- در مورد اصطلاح (Lbr – Lcr) که تغییرات جذب صدا در اتاق آزمون را به‌دلیل سامانه روکش در نظر می‌گیرد.

داده‌های افت انتقال اکتاوباند را می‌توان از یک داده یک سوم اکتاوباند به شرح فرمول ج-۲ محاسبه کرد:

$$D_{W.oct} = -10\log\left(\frac{1}{3}\sum_{1=1}^{3} 10^{-\frac{D_{Wi}}{10}}\right) \qquad (ج-۲)$$

که در آن:

DWi افت انتقال در هر یک سوم اکتاوباند از اکتاوباند مربوطه، است.

ج-۷ اطلاعاتی که باید گزارش شود

اطلاعات فهرست شده در زیر باید برای تمام اندازه‌گیری‌های انجام شده مطابق با استاندارد بین المللی گردآوری و گزارش شود.

الف- نمونه تحت آزمون

- مشخصات لوله و سامانه عایق صوتی (ابعاد و مواد یا مصالح)؛
- ویژگی‌های خاص برای نصب عایق در اتاق بازتابی، به‌ویژه در صورت انجام روش‌های نصب غیرعادی.
- محل نمونه تست در اتاق آزمون.
- محل منبع صدا در اتاق آزمون.

ب- محیط صوتی

- مشخصات اتاق آزمون، از جمله ابعاد، برحسب متر، روکش ها یا مواد استفاده شده روی سطح

دیوارها، سقف و کف. طرحی که مکان منبع و محتویات اتاق را نشان می‌دهد.

- دمای هوا برحسب درجه سلسیوس، رطوبت نسبی برحسب درصد و فشار هوا بر حسب پاسکال.
- توصیف محدوده فرکانس بر اساس استاندارد ISO 3741.

پ- تجهیزات و ابزار مورد استفاده برای اندازه‌گیری‌ها، از جمله نام، نوع، شماره سریال و سازنده

- تاریخ، مکان و روش‌های کالیبراسیون تجهیزات مورد استفاده برای اندازه‌گیری‌ها؛
- کپی گواهی کالیبراسیون.

ت- داده های صوتی

- مکان و جهت مسیر میکروفون (در صورت لزوم باید یک طرح نیز وجود داشته شود).
- هر گونه اصلاحات اعمال‌شده در هر باند فرکانسی برای محاسبه صدا پس‌زمینه، بر حسب دسی‌بل.
- افت انتقال نسبی در اکتاوباندها به‌صورت جدولی، افت انتقال در یک سوم اکتاوباند به‌صورت گرافیکی، برحسب دسی‌بل تا نزدیک ۰/۵ دسی‌بل.
- تاریخ و زمان انجام اندازه‌گیری‌ها؛
- جزئیات کامل شخص/سازمان که آزمون را انجام می‌دهد.

این گزارش باید بیان کند که آیا تراز توان صدا گزارش شده مطابق با الزامات این استاندارد به‌دست آمده است یا خیر. در غیر این صورت، هر گونه انحراف باید گزارش شود و پیامدهای احتمالی ارزیابی شود.

اگر حجم لوله آزمایش نسبت به حجم اتاق بازتابی باعث شود عدم قطعیت مقادیر اندازه‌گیری شده در باندهای فرکانسی مشخص از مقادیر ارائه شده در جدول ۲ استاندارد ISO 3741 بیشتر شود، این موضوع باید به‌صراحت ذکر شود.

پیوست چ

(آگاهی‌دهنده)

طراحی آکوستیکی

چ-۱ عایق صوتی برای لوله‌ها، شیرها و فلنج‌ها

صدای منتشر شده از دیواره لوله معمولاً توسط تجهیزات متصل به لوله مانند کمپرسور، پمپ‌ها، شیرها یا اجکتورها ایجاد می‌شود. این منابع صوتی ممکن است باعث شوند که بخش طویل لوله صدا ایجاد کند زیرا صدا با کاهش کمی در لوله منتقل می‌شود. تابش صدا ممکن است با عایق صوتی کاهش یابد.

سه کلاس عایق صوتی در نظر گرفته شده است که به‌صورت A، B و C مشخص می‌شوند. (به مرجع [32] کتابنامه مراجعه شود)

چ-۲ الزامات عمومی برای سایلنسرها و مافلرها

این الزامات باید در مورد سایلنسر خروجی بخار، بخارات هیدروکربنی و سایر گازها اعمال شود. این موضوع در مورد خروجی‌های مورد استفاده برای ذرات یا پلیمریزاسیون مواد که ممکن است برای جلوگیری از گرفتگی نیاز به طراحی خاص باشد، اعمال نمی‌شود.

سایلنسر ها باید از مواد سازگار با سیال در حال تهویه ساخته شود و تمام سطوح فولادی باید از حفاظت آب‌وهوای کافی برخوردار باشند. سازنده باید جزئیات تمام مواد مورد استفاده و حفاظت از آب‌وهوا را ارائه دهد.

چ-۳ موانع و محفظه‌های صوتی

یکی از موفق‌ترین روش‌ها برای کاهش صدا، ایجاد دیواری بین منبع صدا و گیرنده است. دیوار می‌تواند به شکل زیر باشد:

۱- محفظه برای منبع صدا (ماشین آلات)؛

۲- محفظه برای گیرنده (کارکنان)؛

۳- مانعی بین این دو.

چ-۳-۱ محفظه‌های ماشین‌آلات و دستگاه‌ها

جداسازی ماشین‌آلات تولیدکننده صدا با استفاده از محفظه‌های صوتی بیشترین کاهش صدا را فراهم می‌کند. کاهش صدا ۲۰ دسی‌بل تا ۳۰ دسی‌بل با محفظه‌های صوتی مربوط به دستگاه‌ها رایج است. عوامل زیر جنبه‌های اصلی مهندسی طراحی محفظه هستند که باید در نظر گرفته شوند:

۱- دستورالعمل طراحی برای اثربخشی آکوستیکی؛

۲- در نظر گرفتن الزامات عملیاتی ماشین؛

۳- اطمینان از سازگار بودن تولید؛

۴- حفظ ایمنی و رفاه کارکنان.

چ-۳-۲ طراحی محفظه (اتاقک) صوتی کارکنان

در طراحی محفظه صوتی کارکنان ، فاکتورهای مهم زیر باید در نظر گرفته شود:

۱- مکان؛

۲- اندازه؛

۳- قابلیت دید؛

۴- نزدیکی.

چ-۳-۳ انواع محفظه

بسته به نیازهای عملیاتی ماشین و میزان کاهش صدا موردنیاز، باید سه رویکرد طراحی برای محفظه‌های ماشین در نظر گرفته شود.

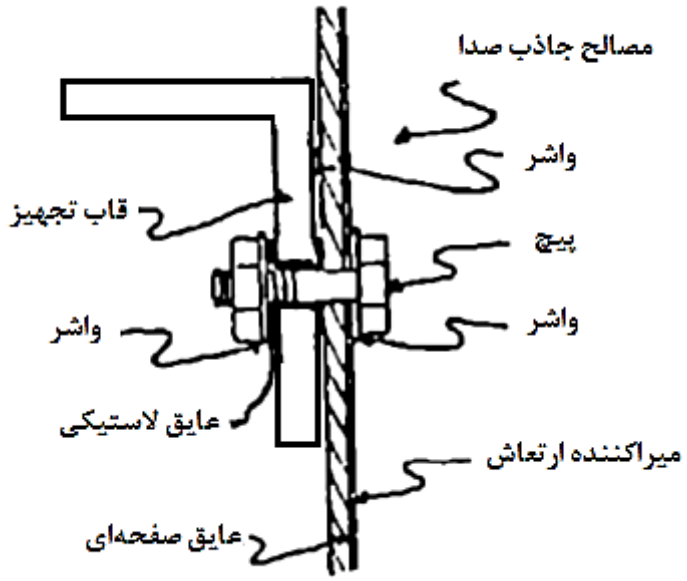
۱- محفظه موضعی؛

۲- محفظه جزئی؛

۳- محفظه کامل.

چ-۳-۳-۱ محوطه‌های موضعی

در بسیاری از دستگاه‌ها، تراز بالای صدا فقط با اجزای خود دستگاه مرتبط است. در جایی که منابع صدا جداشده روی یک ماشین شناسایی می‌شوند، محصور کردن تنها یک منطقه کوچک به‌جای کل دستگاه عملی‌تر است. به‌عنوان یک دستورالعمل کلی، پانل‌های محفظه صوتی هرگز نباید مستقیماً به اجزای دستگاهی که ترازهای ارتعاش بالایی دارند وصل شوند. در جاهایی که پانل ها روی ماشین نصب می شوند، باید از روش‌های جداسازی ارتعاشی که در شکل چ-۱ نشان داده شده است، استفاده شود. برای اطمینان از حداقل تشعشع صوتی ناشی از ارتعاش پانل، بهبود میرایی نیز باید برای محفظه‌های نصب‌شده در ماشین اعمال شود.



شکل چ-۱ - روش جداسازی ارتعاشی پانل محفظه از قاب ماشین

چ-۳-۳-۲ محفظه‌های جزئی

محفظه دستگاهی که حداقل یک قسمت باز یا دهانه بسیار بزرگ دارد باید به‌عنوان محفظه جزئی در نظر گرفته شود. یک محفظه جزئی دستگاه عملاً هیچ کاهش صوتی برای کارکنانی که مستقیماً در دستگاه کار می‌کند ایجاد نمی‌کند مگر اینکه:

الف- مسیر خط دید بین دستگاه و ناحیه شنوایی اپراتور را قطع کند؛ یا

ب- صدایی را که توسط دیوار یا سقف مجاور از دستگاه به اپراتور منعکس می‌شود، جذب می کند.

چ-۳-۴ دهانه در محفظه

برای اثربخشی یک محفظه صوتی، باید شکاف‌ها و دهانه حذف یا به حداقل برسد. در مواردی که دهانه یا شکاف لازم است (مانند تهویه)، می‌توان از سایلنسر یا «تله‌های صوتی» استفاده کرد.

چ-۳-۵ ایزولاسیون ارتعاشی

ارتعاش از طریق کف به محفظه‌ها منتقل می‌شود. پانل‌های محفظه سطح بزرگ به منبع صدا تبدیل می‌شوند. با نصب دستگاه بر روی عایق‌های ارتعاشی می‌توان از این مشکل جلوگیری کرد. میرایی روشی دیگری برای کاهش صدا است. این مورد انرژی مرتبط با ارتعاش را پراکنده و حذف می‌کند و اغلب با استفاده از پوششی که روی سطوح منبع صدا قرار می‌گیرد، اعمال می‌شود.

چ-۳-۶ الزامات غیر صوتی

علاوه بر طراحی یک محفظه صوتی برای برآورده کردن اهداف کاهش صدا، الزامات طراحی اضافی زیر باید در نظر گرفته شود:

۱- محفظه باید به‌طور مناسب تهویه شود تا از ایجاد گرما جلوگیری شود.

۲- دسترسی عملیاتی باید برای برآوردن الزامات تولید فراهم شود.

۳- دسترسی موضعی و کامل باید برای تعمیر و نگهداری فراهم شود.

۴- اگر از سیگنال‌های صوتی برای ارزیابی عملکرد ماشین استفاده می‌شود، سامانه‌های تشخیص جایگزین باید نصب شوند.

۵- سامانه‌های تأمین‌کننده باید برای ماشین‌آلات محصورشده ارائه شود تا نیازهای انرژی و فرایند را برآورده کند.

۶- دهانه‌های ورودی و خروجی باید طوری طراحی شوند که کاهش صوت را مطابق با سامانه کل محفظه فراهم کنند اما مانع عبور جریان مواد نشوند.

۷- در صورتی که محفظه بیش از حد نور بیرونی را تحت‌الشعاع قرار دهد، باید یک سامانه روشنایی داخلی نصب شود.

۸- حفاظت در برابر آسیب کارکنان و وسایل نقلیه (بالابرها) انجام شود.

۹- حفاظت در برابر شرایط محیطی: رطوبت، اسپری آب، روغن، گریس، خاک، فرسایش توسط جریان سیال، هوا متقاطع و غیره باید ارائه شود.

۱۰- الزامات ضدحریق باید در تمام کانال‌ها، لوله‌ها و شفت‌ها اعمال شود. آشکارسازهای دود یا دمای نیز می‌توان برای محفظه‌ها در نظر گرفت.

پیوست ح

(آگاهی‌دهنده)

نظارت و پایش اجرای کنترل صدا

پی‌بردن به این که مشکل چیست و در کجا رخ داده و چه کسانی تحت تاثیر این مشکل قرار گرفتند:

ارزیابی ریسک مشخص می‌کند که چه کسانی دارای مواجهه صوتی هستند و ابزارها، ماشین‌آلات و فرایندهایی که باعث مواجهه صوتی می‌شوند را تعیین می‌کند. با کمی بررسی بیشتر می‌توان قسمتی از دستگاه را که منبع تولید صدا است شناسایی نمود. این کار طی مراحل زیر قابل انجام است:

الف- بازدید میدانی و بررسی صدای دستگاه مورد نظر؛

ب- تشخیص اینکه آیا ممکن است بخش‌های مرتعش دستگاه، منبع صدا باشند یا خیر؛

پ- ابتدا منابع اصلی صدا را بررسی و کنترل کنید؛

ت- اولویت کنترل را به مناطقی که اکثر کارکنان در آن کار می‌کنند بدهید؛

در نظر گرفتن منبع صدا:

الف- آیا تعویض دستگاه با یک دستگاه با انتشار صدا کمتر مقرون به‌صرفه است؟

ب- آیا اصلاح کردن بخش های از دستگاه امکان‌پذیر است؟ به‌عنوان مثال، با جایگزینی اجزای پر صدا با اجزای کم صداتر و بدون اینکه بر عملکرد ایمن ماشین تأثیر بگذارد.

پ- آیا می‌توان دستگاه را بدون ایجاد اختلال در تولید به منطقه‌ای با تعداد کارکنان کمتر منتقل کرد؟

ت- آیا فرایند تعمیر و نگهداری به‌درستی برای دستگاه انجام می‌شود؟

بررسی اینکه چگونه منبع صوتی، صدا را منتشر می‌کند؟

الف- آیا پانل‌های دستگاه مرتعش هستند؟ پانل‌ها را عایق یا مواد میرا کننده را به آنها اضافه کنید.

ب- آیا ارتعاش ماشین وارد ساختار ساختمان (دیوارها یا کف) می‌شود؟ دستگاه را با پایه‌های عایقی یا فونداسیون عایقی از ساختمان جدا کنید.

پ- آیا صدا ناشی از برخوردهای ناشی از سقوط مواد است؟ فاصله سقوط مواد را کاهش دهید و مواد میراکننده را به سینی‌ها و مجاری دریافت‌کننده مواد اضافه کنید.

ت- آیا حفاظ های جامد در اطراف قسمت‌های پر صدا به دستگاه متصل هستند؟ حفاظ ها را با مواد جاذب

صدا بپوشانید و در صورت امکان، شکاف‌ها را با در نظر گرفتن تهویه درزبندی کنید.

ث- آیا منبع اصلی صدا ناشی از ورود یا خروج هوا یا گاز از دستگاه است؟ یک ساکت‌کننده مناسب را در ورودی، خروجی یا هر دو نصب کنید.

ج- آیا منبع اصلی صدا ناشی از رهایش ناگهانی هوا از سامانه هوای فشرده است؟ ساکت‌کننده‌ها یا انباره‌های صوتی‌ها را در محل نصب یا خروجی را از محل کار دور کنید.

بررسی مسیر انتقال صدا:

الف- آیا می‌توانید کارکنان را دور از منبع صدا قرار دهید؟ دوبرابر کردن فاصله می‌تواند صدا را بین ۳ دسی-بل تا ۶ دسی‌بل کاهش دهد.

ب- آیا می‌توانید موانع یا صفحه‌هایی را بین بخش‌های مختلف در فرایند تولید قرار دهید تا عملیات کم صداتر را از عملیات پر صدا جدا کند؟

پ- آیا می‌توانید برای کارکنانی که بر دستگاه‌های بزرگ نظارت می‌کنند یک پناهگاه صوتی بسازید؟

ت- آیا می‌توانید از یک محفظه با طراحی مناسب در اطراف دستگاه استفاده کنید که نیازی به عملکرد «دستی» نداشته باشد؟

ث- آیا می‌توانید شکاف‌ها و ورودی‌های موجود در ماشین‌آلات یا محفظه آن را که در آن محصولاتی قرار دارد یا از آن خارج می‌شود، از لحاظ آکوستیکی کنترل کرد؟

ج- در صورت نیاز به کاهش تجمعی گرما، آیا می‌توان کانال‌های آکوستیک یا فن‌های بی‌صدا را در محفظه قرار دهید؟

چ- آیا می‌توان از مصالح جاذب صوت شامل تایل آکوستیک یا پانل آکوستیک برای کاهش صدای بازآوا به سازه اضافه کرد؟

ح- آیا می‌توان داخل کانال دهانه‌های خروجی تهویه را با پوشاندن لایه جاذب صوت بهبود بخشید؟

به یاد داشته باشید که پس از اجرای فرایند کنترل صدا، بررسی کنید که تراز صدا حتما بهبود پیدا کرده باشد.

پیوست خ

(آگاهی‌دهنده)

عایق‌های ارتعاشی

خ -۱ مواد عایق بندی ارتعاش[1]

چندین نوع ماده رایج برای کاربرد عایق‌بندی ارتعاش استفاده می‌شود که شامل نمد، چوب پنبه، لاستیک یا الاستومرها، و فنرهای فلزی و غیره می‌باشد. ویژگی‌های این مواد در این بخش آمده است.

خ -۱-۱ مواد قابل انعطاف چوب پنبه و نمد[2]

مواد نمد و چوب پنبه در عایق بندی ارتعاش در حالتی که دارای فشار سطحی نسبتاً کمی (کمتر از حدود ۲۰۰ kPa یا ۳۰ psi) و در جایی که نیازمند جابه‌جایی استاتیکی در محدوده ۰٫۲۵ mm تا ۱٫۸ mm باشد، به‌کار می‌روند. در مکان‌هایی که چوب پنبه و نمد استفاده می‌شود، باید مواظب بود که از تماس آلاینده‌هایی مثل روغن و آب با این مواد جلوگیری شود. تماس با روغن و آب بیش از یک دوره زمانی، سبب می‌شود که این مواد خراب شوند. چوب پنبه و نمد برای مواردی باید فرکانس بالا میرا شود بسیار مناسب می‌باشند. نمد ممکن است ترکیب‌شده با الیاف پشمی و مخلوط الیاف مصنوعی و پشمی باشد.

به‌دلیل اینکه نمد دارای پیوند قوی بین الیاف نمی‌باشد، مواد نمدی فقط به شکل لایه‌های متراکم شده باید به‌کار روند. هنگامی که نمد به‌عنوان ماده ایزولاسیون ارتعاش به‌کار می‌رود کمترین قابلیت انتقال با استفاده از یک سطح کوچک به‌دست می‌آید، یک نمد نرم دارای چگالی کم و ضخامت زیاد می‌باشد. مواد نمدی به‌طور کلی دارای نسبت میرایی حدود $\zeta = 0.060$ می‌باشند. ضخامت غیرمتراکم لایه نمدی به‌طور عملی معمولاً بیش از ۳۰ برابر یا بیشتر از جابه‌جایی استاتیکی انتخاب می‌شود. فشار سطحی برای نمد معمولاً باید محدود به مقادیر کمتر از حدود ۱۴۰kPa تا ۲۰۰ kPa (20 − 30 psi) باشد. رابطه تجربی (Crede, 1951) بین فرکانس طبیعی و فشار سطحی برای لایه نمدی به شکل فرمول خ-۱ است:

$$f_{\mathrm{n}}\{\mathrm{HZ}\} = \left\{\mathrm{C}_1 + \frac{14.93[1-(0.148)/(\rho_{\mathrm{f}}/\rho_{\mathrm{ref}})]}{(P_{\mathrm{S}}/P_{\mathrm{ref}})}\right\}\psi(h) \qquad (\text{خ-۱})$$

که در آن:

P_s فشار سطحی بر لایه؛ و

1- Vibration isolation materials
2- Cork and felt resilient material

C_1 تابع چگالی نمد (ρ_f)، است که از فرمول خ-۲ محاسبه می‌شود:

$$C_1 = \frac{14.29}{1-1.068(\rho_f/\rho_{ref})} \quad (خ-۲)$$

$\psi(h)$ تابع ضخامت بدون بار لایه نمد (h) است که از فرمول خ-۳ محاسبه می‌شود:

$$\psi(h) = 1 - 0.25\ in(h/h_{ref}) \quad (خ-۳)$$

P_{ref} فشار سطحی مرجع، معادل ۱۰۱٫۳۲۵ kPa ؛

ρ_{ref} چگالی مرجع، معادل ۱۰۰۰ kg/m^3؛

href ضخامت مرجع، معادل ۲۵٫۴ mm، است.

رابطه تجربی برای محدوده متغیرهای زیر قابل قبول می‌باشد:

۱۸۰ $Kg/m^3 \leq \rho \leq$ ۴۰۰ Kg/m^3

۳۰ KPa $\leq P_S \leq$ ۲۵۰ KPa

۵ mm $\leq h \leq$ ۲۰۰ mm

چوب پنبه یکی از قدیمی‌ترین موادی است که برای ایزولاسیون ارتعاش به‌کار می‌رود، که از لایه خارجی کشسان پوست درخت بلوط ساخته شده است. شبیه نمد، چوب پنبه نیز فقط به شکل لایه‌هایی زیر بار متراکم به‌کار می‌رود. شیب منحنی جابه‌جایی بار برای چوب پنبه ثابت نیست، اما با افزایش بار روی چوب پنبه زیاد می‌شود. ضخامت معمول چوب پنبه که برای لایه‌ها به‌کار می‌رود حدوداً بین ۲۵ mm تا ۱۵۰ mm می‌باشد. جابه‌جایی استاتیکی مورد قبول برای چوب پنبه باید در محدوده ۰٫۴ mm تا ۲٫۰ mm باشد. میزان نسبت میرایی برای چوب پنبه تقریبا برابر($\zeta = 0.075$) می‌باشد.

رابطه تجربی فرکانس طبیعی نامیرا به‌عنوان تابعی از فشار سطحی برای ماده چوب پنبه به شکل فرمول خ-۴ است:

$$f_n\{Hz\} = C_2(P_S/P_{ref})^{-1/3}\psi(h) \quad (خ-۴)$$

توصیه شده است که در طراحی فرکانس طبیعی حدود ۱٫۵ برابر بزرگتر از مقداری که از فرمول خ-۵ به‌دست می‌آید، انتخاب شود کمیت (P_S) برابر فشار سطحی بر لایه و کمیت (C_2) تابع چگالی چوب پنبه (ρ_c) می‌باشد:

$$C_2 = \frac{19.75}{1-1.091(\rho_c/\rho_{ref})} \quad (خ-۵)$$

کمیت $\psi(h)$ به‌وسیله فرمول داده شده است، فشار سطحی، چگالی، و ضخامت مرجع شبیه همان‌هایی که در

عبارت فرکانس طبیعی نمد داده شد، می‌باشد.

حداکثر فشار سطحی مورد قبول برای چوب پنبه تابع چگالی آن می‌باشد (فرمول خ-۶):

$$P_{max}/P_{ref} = 13(\rho_c/\rho_{ref}) \qquad (خ-۶)$$

روابط تجربی برای محدوده مقادیر زیر قابل قبول می‌باشد:

$۲۰۰\ \text{Kg/m}^3 \leq \rho \leq ۳۵۰\ \text{Kg/m}^3$

$۷۰\ \text{KPa} \leq P_S \leq ۴۰۰\ \text{KPa}$

$۲۵\ \text{mm} \leq h \leq ۱۵۰\ \text{mm}$

مواد چوب‌پنبه‌ای بعضی اوقات برحسب واحدهای صفحه‌ای مسطح (ورق مسطح[1]) فروخته می‌شوند، به‌طوری که یک فوت ورق مسطح برابر است با $144\ \text{in}^3 = 1/12\ \text{ft}^3 = 2.36\ \text{dm}^3$ ضریب تبدیل برای چگالی ذکر شده برحسب واحد $\text{lb}_\text{m}/\text{bd}.\text{ft}$ به‌شکل فرمول خ-۷ است:

$$192.22\ (\text{kg/m}^3)/(\text{lb}_\text{m}/\text{bd ft}) = 12.00\ (\text{lb}_\text{m}/\text{ft}^3)/(\text{lb}_\text{m}/\text{bd ft}) \qquad (خ-۷)$$

خ-۱-۲ مواد عایق بندی الاستومر و لاستیک برای ارتعاش[2]

مواد لاستیکی الاستومر (مانند نئوپرن) در کاربردهای عایق‌بندی ارتعاش به‌کار می‌روند در جایی که جابه‌جایی استاتیک مورد نظر به مقدار ۱۰ mm تا ۱۵ mm و با فشار سطحی متوسط روبرو هستیم. بعضی از خاصیت‌های مواد لاستیکی در جدول خ-۱ داده شده است. قابل توجه است که ویژگی‌های فیزیکی لاستیک به‌شدت سفتی مواد بستگی دارد.

طراحی مواد عایق‌بندی لاستیکی با استفاده از کاتالوگ اطلاعات توسط سازندگان به بهترین شکل انجام می‌شود، به‌دلیل اینکه تنوع گسترده‌ای از شکل‌ها و اندازه‌های پایه در دسترس می‌باشد. برای تراکم بار[3]، جابه‌جایی استاتیک باید در حدود ٪۱۰ تا ٪۱۵ ضخامت بدون بار محدود شود. برای برش بار[4]، جابه‌جایی استاتیک باید در حدود ٪۲۰ تا ٪۳۰ محدود شود. طراحی و یا استرس حداکثر تراکم کاری برای مواد عایق-بندی لاستیکی به‌طورکلی نباید از حدود ۶۰۰ kPa فراتر رود و طرح استرس برش برای مواد عایق‌بندی بار-برش باید در حدود ۲۰۰kPa تا ۲۷۵ kPa محدود شود. کاتالوگ اطلاعات سازنده به‌طور کلی حداکثر بار مجاز برای مواد عایق‌بندی را ذکر می‌کند. دمای کاری طبیعی و مناسب برای پایه‌های لاستیکی معمولاً کمتر از ۶۰ °C می‌باشد. اگرچه در دماهای زیاد مانند ۷۵ °C می‌توان از بعضی پایه‌ها بدون صدمه جدی در کارایی

1- Board feet
2- Rubber and Elastomer Vibration Isolators
3- Compression Loading
4- Shear Loading

آن‌ها استفاده کرد. ثابت فنریت برای پایه لاستیکی تحت‌فشار بار شدیداً به اصطکاک بین پایه و تکیه‌گاه برای پایه‌های غیرپیوسته وابسته است. تخمین روابط تجربی ثابت فنریت (قابلیت کشسانی) عایق‌بندی‌های لاستیکی بار متراکم شبیه است به آنچه که در فرمول خ-۸ نشان داده شده، به‌شرح زیر:

$$K_S = \frac{SE_c}{h}\left[\frac{S^{1/2}}{(h_0 h^2 a^2/b^2)^{1/3}}\right] \qquad (خ-۸)$$

که در آن:

a طول (طول بزرگتر، $a \geq b$) ورقه لاستیک؛

b پهنای ورقه لاستیک؛

h ضخامت ورقه لاستیک؛

S مساحت سطح ($S = ab$)؛

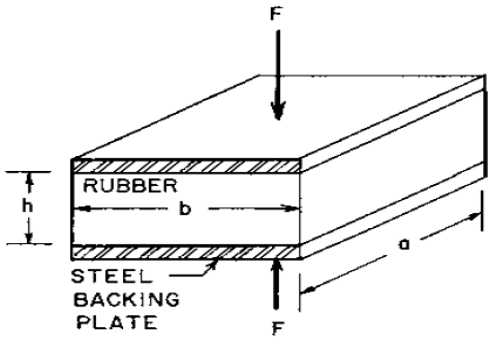
h_0 برابر با ۲۵٫۴ mm؛

E_c مدول یانگ در تراکم لاستیک، است.

جدول خ -۱ - ویژگی لاستیک در دمای ۲۱°C (۷۰ °F)

سختی[1]	دانسیته	مدول الاستیک (MPa[a])				نسبت میرایی
		تراکم[2]	کنش(کشش)[3]	برش[4]	حجم کلی[5]	
۳۰	۱۰۱۰	۱٫۲۸	۱٫۲۱	۰٫۳۴۵	۲۰۳۰	۰٫۰۱۵
۴۰	۱۰۶۰	۱٫۸۶	۱٫۵۹	۰٫۴۸۳	۲۲۲۰	۰٫۰۲۰
۵۰	۱۱۱۰	۲٫۵۹	۲٫۱۰	۰٫۶۵۵	۲۳۸۰	۰٫۰۴۵
۶۰	۱۱۸۰	۳٫۷۹	۳٫۱۰	۰٫۹۶۵	۲۵۵۰	۰٫۰۷۵
۷۰	۱۲۵۰	۵٫۱۷	۴٫۲۱	۱٫۳۴	۲۸۷۰	۰٫۱۰۵
۸۰	۱۳۱۰	۸٫۲۷	۷٫۰۷	۱٫۷۶	۳۱۳۰	۰٫۱۴۰
[a]:تبدیل MPa به psi ضریب تبدیل 145.038 psi/MPa						

1- Durometer (hardness)
2- Compression
3-Tension
4- Shear
5- Bulk



شکل خ -۱- مواد عایق‌بندی لاستیکی یا الاستومر ارتعاش بارشده تحت‌فشار بار در تراکم، بعد a بعد بزرگتر مثلاً $a \geq b$.

برای مورد پایه تحت برش بار، شامل دو لایه لاستیک که بین سه صفحه فولاد قرار گرفته، همان‌طور کـه در شکل خ-۲ نشان داده شده است، فرمول خ-۹ برای ثابت فنریت (ارتجاعی) به‌کار می‌رود:

$$K_S = \frac{2SG}{h} \qquad (خ-۹)$$

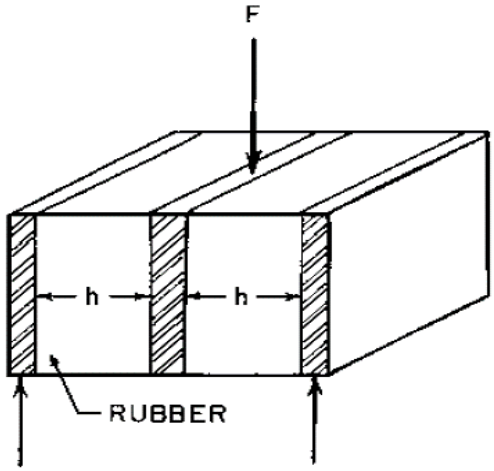
که در آن:

S سطح مساحت لایه در یک وجه؛

G مدول الاستیسیته در برش؛

h ضخامت لایه لاستیک، است.

اگر یک وجه استفاده شود (یک لایه لاستیکی بین دو صفحه استیل) ضریب دو از فرمول خ -۹ حـذف مـی-شود.



شکل خ-۲ - تحت برش بار مواد عایق بندی لاستیکی یا الاستومر ارتعاش

برای یک پایه تحت برش بار، شامل استوانه لاستیکی که بین دو استوانه فولادی نصب شده، همان‌طور که در فرمول خ-۱۰ نشان داده شده است، ثابت فنریت به‌وسیله عبارت زیر داده می‌شود:

$$K_S = \frac{2\pi hG}{\ln(D_0/D_i)} \qquad (خ-۱۰)$$

که در آن:

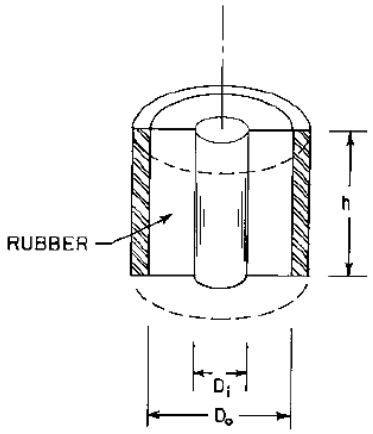
D_0 قطر خارجی لاستیک؛

D_i قطر داخلی لاستیک؛

h طول استوانه؛

G ضریب مدول الاستیسیته تحت برش[1] برای لایه لاستیک، است.

برش تحت بار پایه‌های لاستیک معمولاً بیشتر از میزان تحت‌فشار بار کاربرد دارد، به‌دلیل اینکه ثابت فنریت برای پایه‌های تحت برش بار معمولاً بسیار کوچکتر از پایه‌های تحت‌فشار بار می‌باشد. ثابت فنریت فنر کوچک در نتیجه فرکانس طبیعی بدون میرایی کوچکتر و میزان نسبت فرکانسی بزرگتر که یک قابلیت انتقال کمتری را فراهم می‌کند.



شکل خ -۳- مواد عایق‌بندی لاستیکی یا الاستومر استوانه‌ای ارتعاش تحت بار برشی اعمالی به انتهای داخلی و خارجی استوانه فلزی

پایه‌های لاستیکی تحت‌فشار بار استفاده کاربردی دارد، وقتی‌که تحمل حمل بار بیشتری بر واحد حجم از لاستیک موردنیاز است. لاستیک تحت‌فشار در مکان‌هایی که جابه‌جایی زیاد موردنیاز نیست به‌کار می‌روند.

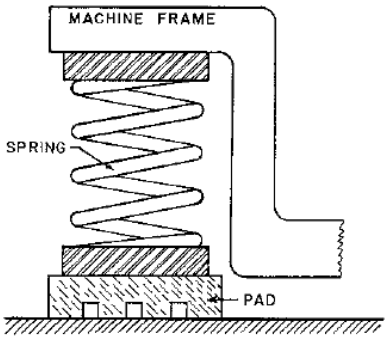
خ-۱-۳ مواد عایق‌بندی فنر فلزی[2]

1- Modulus of elasticity in shear
2- Metal springs isolators

فنرهای فلزی معمولاً در عناصر عایق‌بندی ارتعاش استفاده می‌شوند، مخصوصاً برای کاربردهایی که نیاز است فرکانس طبیعی نامیرا کمتر از ۵ Hz با جابه‌جایی استاتیکی بزرگ‌تر از ۱۲۵ mm باشد. فنرهای فلزی برای ایزولاسیون ابزار و وسایل با ظرافت کم و جرم‌هایی به بزرگی ۴۰۰ mg به‌کار می‌روند. مزیت فنرهای فلزی در جایی که جنس فنر مخالف اثر روغن و آب نیست انتخاب شوند.

در خیلی از موارد لایه‌هایی از نئوپان و یا دیگر الاستومرها به‌طور سری با مواد فنری قرار می‌گیرند (بین فنر و ساختار حمایتی، همان‌طور که در شکل خ -۴ نشان داده شده است) برای جلوگیری از عبور موج با فرکانس بالا از میان فنر به ساختار حمایتی.

فنرهای فلزی از چندین ماده، شامل فنر فولادی، ۳۰۴ فولاد زنگ‌نزن، فنر برنجی، برنز فسفر، مس بریلیم ساخته شده‌اند. خواص فیزیکی مربوط به این مواد در جدول خ-۲ فهرست شده است. اندازه استاندارد (درجه مفتول) برای سیم آهنی، به‌جز سیم موسیقی، اندازه $W\&M$ می‌باشد. درجه سیم موسیقی برای اندازه‌های سیم موسیقی به‌کاررفته است و برای مواد غیرآهنی اندازه‌های $B\&S$ یا سیم‌های AWG به‌کار رفته است.



شکل خ-۴- فنر فلزی حمایت دار با لایه میراکننده یا نئوپرن یا دیگر الاستومر

چندین نوع فنر فلزی وجود دارد. شامل فنر حلزونی[۱]، فنر برگی[۲]، زنگوله‌ای شکل[۳] و فنرهای صفحه مخروطی[۴]. در این بخش بر روی فنرهای متراکم حلزونی تمرکز داریم. فنرهای حلزونی می‌توانند به‌عنوان فنرهای ساده (نامحدود)، یا به‌عنوان فنرهای همراه با نگهدارنده به‌کار روند.

برای فنرهای ساده، باید مراقب نااستواری یا خم و راست شدن از سمت کنار (پهلو) باشیم. اگر شرایط فرمول خ-۱۱برقرار باشد، فنر متراکم بدون نگهدارنده همیشه می‌تواند مناسب باشد:

$$\xi \equiv \left(\frac{1+2\sigma}{2+\sigma}\right)\left(\frac{\pi D}{H_0}\right)^2 \geq 1 \qquad (خ-۱۱)$$

1- Helical springs
2- Leaf springs
3- Belleville springs
4- Torsin springs

برای مقدار نسبت پوآسون میزان $\sigma = 0.3$ فرمول خ-۱۱ به شکل فرمول خ-۱۲ خلاصه می‌شود:

$$D/H_0 \geq 0.382 \qquad \text{(خ-۱۲)}$$

جدول خ-۲- خاصیت فنرهای فلزی از جنس‌های مختلف

ماده	دانسیته	ضریب یانگ	ضریب برش[1]	نسبت پوآسون	استحکام برشی[2]
فنر فولادی	۷٫۸۳۰	۲۰۳٫۴	۷۹٫۳	۰٫۲۸۷	a
فولاد زنگ‌نزن ۳۰۴	۷٫۸۲۰	۱۰۹٫۳	۷۳٫۱	۰٫۳۰۵	۱۷۹
فنر برنجی	۸٫۵۵۰	۱۰۶٫۰	۴۰٫۱	۰٫۳۲۴	۲۰۰
برنز فسفر	۸٫۸۰۰	۱۱۱٫۰	۴۱٫۴	۰٫۳۴۹	۳۱۵
مس بریلیم	۸٫۲۳۰	۱۲۴٫۰	۴۸٫۳	۰٫۲۸۵	۶۷۵

1- Shear modulus
2- Shear yield strength

ویژگی استقامت شدیداً وابسته به رفتار گرمایی و سرمایی کار است. بازده استقامت برشی فنر فولادی همچنین وابسته به اندازه سیم است. بازده استحکام برشی به‌صورت تقریبی به‌وسیله فرمول خ -۱۳ برای اندازه کوچک است.

$$S_{ys} = S_{ys1}(d_{ref}/d_w)^n \qquad \text{(خ -۱۳)}$$

که در آن:

$d_{ref} = 1\ \text{mm}$؛

S_{ys1} و n به‌شرح جدول خ-۳ است:

جدول خ-۳- مقادیر S_{ys1} و n بازده استحکام برشی

	طیف اندازه (mm)	؟	نما (n)
سیم موسیقی	0.10-6.5	940	0.146
	>6.5	715	0
سیم چوب	0.50-12	814	0.186
	>12	513	0
سیم کشیده	0.70-12	758	0.192
	>12	470	0

اگر مقدار نسبت میرایی (ξ) کمتر از یک باشد، فنر پایدار است، در صورتی‌که نسبت

جابه‌جایی کل Δy به ارتفاع آزاد H_0 (طول فنر هنگامی که بدون بار است) به‌صورت فرمول خ -۱۴ است:

$$\frac{\Delta y}{H_0} < \left(\frac{1+\sigma}{1+2\sigma}\right)\left\{1-\left[1-\left(\frac{1+2\sigma}{2+\sigma}\right)\left(\frac{\pi D}{H_0}\right)^2\right]^{1/2}\right\} \qquad (خ-۱۴)$$

کمیت (σ) نسبت پوآسون، (D) متوسط قطر حلقه فنر و (H_0) ارتفاع آزاد فنری که در قسمت انتهایی محکم بسته نشده است. اگر هر دو انتهای فنر به چیزی متصل شده باشد، از عبارت (طول آزاد فنر $\times$ 2 $= H_0$) استفاده می‌کنیم. اگر نسبت پوآسون جنس فنر $\sigma = 0.3$ باشد، به شکل فرمول خ-۱۵خلاصه می‌شود:

$$(\Delta y/H_0) < 0.8125\{1-[1-6.87(D/H_0)^2]^{1/2}\} \qquad (خ-۱۵)$$

ثابت فنریت برای تراکم محوری یک فنر حلزونی به‌وسیله فرمول خ -۱۶ داده می‌شود:

$$K_S = \frac{Gd_w^4}{8D^3N_C} \qquad (خ-۱۶)$$

G ضریب برشی؛

d_w ضخامت (قطر سیم)؛

D قطر متوسط سیم (پیچ حلقه سیم)؛

N_c تعداد حلقه‌های (سیم‌پیچ) فعال در فنر، است.

نسبت (D/d_w) شاخص فنر نامیده می‌شود، و معمولاً دارای مقادیری در محدوده بین ۶ و ۱۲می‌باشد.

تعداد حلقه‌های فعال برای یک فنر بستگی به رفتار (طرز عمل[1]) پایانه‌های (انتهای) سیم فنری دارد. یک فنر با انتهاهای صاف[2] (پهن یا ساده) عملکرد ویژه پایانه‌ها (انتهاها) را ندارد؛ اگر یک فنر به دو فنر کوتاه‌تر بریده‌شده باشد، انتهاها به‌همان اندازه (یکسان) هستند. برای مورد انتهاهای ساده و اتصال به زمین، آخرین حلقه در انتهای فنر، سیم اتصال زمین دارد با یک سطح صاف به‌طوری که حدود نیمی از سیم‌پیچ در تماس مستقیم با سطح پشتیبان (حمایت‌کننده) است. برای انتهای مربعی و یا بسته، انتهای حلقه با یک زاویه مارپیچ صفر درجه به‌گونه‌ای تغییر شکل یافته که تمام سیم‌پیچ سطح پشتیبان را لمس می‌کند. برای انتهای مربعی و پایه اتصال به زمین، حلقه نهایی مربعی است، بنابراین سیم اتصال به زمین است با یک سطح صاف به‌طوری که عملاً تمام سیم‌پیچ در تماس مستقیم با سطح تکیه‌گاه است.

تعدادی از حلقه‌های (سیم‌پیچ‌های) فعال برای رفتارهای مختلف انتها در جدول شماره خ-۴ خلاصه شده است. سایر عوامل در غیر این صورت نشان می‌دهد، انتهای فنرها باید مربعی و اتصال زمین باشد زیرا انتقال بهتر بار در فنر برای این نوع انتهاها انجام می‌شود.

1 - Treatment
2 - Plain ends

واضح است که فنر نباید ماده جامد فشرده (مثلاً حلقه‌های فنر نباید به‌هم برسند) در طول بهره‌برداری از فنر باشد. عبارات ارتفاع جامد با رفتارهای مختلف انتها [1]همچنین در جدول خ-۳ داده شده است. برای یک فنر فشرده مارپیچی، ارتفاع فنر تحت شرایط حداکثر جابه‌جایی نباید کمتر از حدود ۱٫۲۰ برابر ارتفاع جامد آن باشد.

تنش برشی در یک فنر فشرده مارپیچی تابعی از نیروی اعمال شده (F) است، که شامل هر دو وزن حمایت‌کننده (تکیه‌گاه)، نیروی متحرک و ابعاد فنر است (فرمول خ-۱۷):

$$S_s = \frac{8FDk_{sh}}{\pi d_w^3} \qquad (خ-۱۷)$$

جدول خ- ۴- ویژگی‌های فنرهای مارپیچی

رفتارهای انتها[6]	حلقه‌های فعال[5] N_c	ارتفاع آزاد[4] H_o	ارتفاع جامد[3] H_s	گام‌های فنری[2] p_s[b]
ساده یا تخت				
ساده و زمین				
مربع				
مربع و زمین				

[a] : N_t تعداد کل حلقه‌های فنر.
[b] : p_s گام سیم‌پیچ فنری (عکس تعداد حلقه‌های بر ارتفاع واحد فنر).

کمیت (k_{sh}) ضریب تصحیح تنش برشی[7] است،که به‌شرح فرمول خ-۱۸ است:

$$k_{sh} = \frac{2(D/d_w)+1}{2(D/d_w)} \qquad (خ-۱۸)$$

فنرهایی که ماشین‌آلات را حمایت می‌کنند اغلب تابع بارهای در معرض جهت جانبی (عمود بر محور فنر) هستند. ثابت فنر در جهت جانبی (K_{lat}) وابسته به ثابت فنر در راستای محوری (K_S) و به شکل فرمول خ -۱۹ است:

$$\frac{K_{lat}}{K_S} = \frac{2(1+\sigma)}{1+4(2+\sigma)(H_o/D)^2} \qquad (خ-۱۹)$$

1 - Various end treatments
2- Spring pitch
3- Solid height
4- Free height
5- Active coils
6- End treatment
7- Shear-stress correction factor

برای موارد خاص که نسبت پوآسون $\sigma = 0.3$ است، فرمول خ-۱۹ به فرمول خ-۲۰ تبدیل می‌شود:

$$\frac{K_{lat}}{K_S} = \frac{2.60}{1+9.20(H_o/D)^2} \qquad (خ-۲۰)$$

عامل دیگری که در طراحی فنر باید در نظر گرفته شود، مشکل تغییر ناگهانی (نوسانات شدید، تحت کشش نگهداشتن) فنر[1] است. اگر یک انتهای فنر مارپیچی مجبور به نوسان باشد، موج از انتهای متحرک به انتهای ثابت فنر حرکت می‌کند، به‌نحوی که در آن موج به انتهای دیگر منعکس (برگشت) می‌کند. فرکانس بحرانی و یا نوسان شدید (شوک) برای یک فنری که دارای یک سر (انتها) در برابر یک صفحه تخت و انتهای دیگر گردنده توسط یک نیروی نوسانی است به‌وسیله فرمول خ-۲۱ تعیین می‌شود:

$$f_s = \frac{d_w\,(G/2\rho)^{1/2}}{2\pi D^2 N_c} \qquad (خ-۲۱)$$

d_w قطر سیم فنری؛

G ضریب برشی؛

ρ چگالی ماده فنر؛

D قطر متوسط حلقه فنر؛

N_c تعداد حلقه‌های فعال فنر، است.

به‌منظور جلوگیری از مشکلات رزونانس در فنر، فرکانس نوسان (شوک) فنر[2] باید کمتر از ۱۵ برابر فرکانس نیروی اعمالی برای سامانه باشد. فرکانس نوسان (شوک) ممکن است با استفاده از یک فنری با سیم قطورتر یا فنری با قطر حلقه کوچکتر (یا شاخص فنر کوچکتر ، D / d_w) افزایش یابد.

خ-۲ اثرات ارتعاش بر انسان‌ها[3]

بدن انسان نسبتاً یک سامانه پیچیده ارتعاشی است، زیرا هر دو حالت خطی و غیر خطی «فنرها» و «میراکننده‌هایی» را دارد. به‌طوری‌که مطالعات آسیب بر شنوایی در این مورد، (غیراخلاقی، در موارد شدید) و انجام پژوهش در زمینه خطر ارتعاشی بر روی زندگی افراد بشر دشوار است. به‌دلیل این مشکل، بسیاری از داده‌های پژوهشی بر روی اثرات ارتعاشی بر روی انسان از آزمون‌های بر روی حیوانات و یا از طریق شبیه‌سازی به‌دست آمده است.

برای محدوده فرکانس کمتر از حدود ۴۰ Hz، بدن انسان می‌تواند الگوی تقریبی یک سامانه از جرم‌ها (سر، نیم تنه فوقانی، لگن، پاها و بازوها)، عناصر فنر، و عناصر میراکننده باشد.

1- Springs surge
2- Surge frequency for the spring
3- Effect of vibration on hummans

به‌طورکلی، مواجهه با ارتعاش در محیط کار با توجه تراز و مدت زمان مواجهه بسیار جدی‌تر از مواجهه با ارتعاش در خانه است. بیشترین مواجهه ارتعاش تمام مربوط به تماس ناشی از نیروهای منتقل‌شده از طریق پاهای فرد در حالی‌که ایستاده، یا کفل در حالی‌که نشسته است.

مواجهه با ارتعاش دست و بازو نیز در حالی که ابزار در دست گرفته می‌شود رخ می‌دهد.

دو ناحیه فرکانسی مهم وجود دارد تا جایی که به ارتعاش کل بدن انسان مربوط می‌شود:

الف- از۳Hz تا ۶ Hz، جایی که در آن رزونانس (تشدید) مجموعه قفسه سینه- شکم رخ می‌دهد.

ب- از ۲۰ Hz تا ۳۰ Hz ، جایی که رزونانس مجموعه سر- گردن- شانه رخ می‌دهد. رزونانس مجموعه قفسه سینه- مخصوصاً شکم مهم است، زیرا این رزونانس (تشدید) نیازمند مکان‌های سخت و جداسازی دقیق ارتعاش در حالت نشستن یا ایستادن فرد است. به‌عنوان مثال، در فرکانس ۴ Hz، شتاب ناحیه لگن یک فرد ایستاده تقریبا ۱٫۸ برابر شتاب سطحی که فرد روی آن ایستاده است، می‌باشد. در فرکانس ۳۰ Hz برای یک فرد نشسته، شتاب ناحیه سر و شانه در حدود ۳٫۵ برابر شتاب سطحی است که شخص روی آن نشسته است.

رزونانس در چشم، در محدوده فرکانس بین۶۰ Hz و ۹۰ Hz رخ می‌دهد. اثر رزونانسی درسیستم فک پایین و جمجمه در محدوده فرکانسی بین ۱۰۰ Hz و ۲۰۰ Hz وجود دارد. تشدید در داخل جمجمه در محدوده فرکانس بین ۳۰۰ Hz و ۴۰۰ Hz رخ می‌دهد.

پاسخ افراد به ارتعاش در فرکانس‌های بالاتر از ۱۰۰Hz به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر لباس یا کفش در محل اعمال نیروی ارتعاشی قرار دارد. ارتعاش در فرکانس‌های کمتر از حدود یک هرتز بر گوش درونی اثر گذاشته و باعث آزردگی می‌شود، مانند بیماری حرکت[1]. برای فرکانس‌های بیشتر از حدود ۱۰۰ Hz ، درک ارتعاش بیشتر متوجه بر پوست است، و بستگی به ناحیه خاصی از بدن تحت تأثیر ارتعاش دارد و همچنین لباس، کفش و ...، که فرد پوشیده است، دارد.

معیار قابل قبول مواجهه با ارتعاش به‌وسیله سازمان‌های (ANSI, 1979) و (ISO, 1985) توسعه یافته است. ترازهای شتاب موثر (rms) مربوط به کاهش خستگی در مهارت کاری توسط روابط زیر داده می‌شود.

اگر شخصی در معرض ترازهای شتاب موثر (rms) که بیش از مقادیر داده شده توسط روابط زیر باشد، فرد به‌طورکلی خستگی قابل‌توجهی را تجربه می‌کند و کاهش کارایی شغلی در اکثر وظایف را خواهیم داشت:

برای محدوده فرکانسی $1\ \text{Hz} \leq f < 4\ Hz$ مطابق فرمول خ-۲۲:

$$L_a = 90 - 10\log_{10}(f/4) + CF_t \qquad (خ۲۲)$$

1- Cinerosis

برای محدوده فرکانسی $4\ \text{Hz} \leq f \leq 8\ \text{Hz}$ مطابق فرمول خ-۲۳:

$$L_a = 90\ \text{dB} + CF_t \qquad \text{(خ-۲۳)}$$

برای محدوده فرکانسی $8\ \text{Hz} < f \leq 80\ \text{Hz}$ مطابق فرمول خ۲۴:

$$L_a = 90 + 20\log_{10}(f/8) + CF_t \qquad \text{(خ-۲۴)}$$

تراز شتاب موثر (rms) نباید بیش از $L_a(\max) = 116.8\ \text{dB}$ باشد، که برابر با شتاب $0.707\ \text{g}$ یا $6.94\ \text{m/s}^2$ $(22.75\ \text{ft/sec}^2)$ است.

فاکتور (CF_t) یک ضریب تصحیحی برای زمان مواجهه با شتاب تخمین زده می‌باشد که به‌وسیله فرمول‌های خ-۲۵ و خ -۲۶ به‌دست می‌آید:

برای زمان $t \leq 8\ \text{hours}$:

$$CF_t = 20\left[1 - (t/8)^{1/2}\right] \qquad \text{(خ-۲۵)}$$

برای زمان $8 < t \leq 16\ \text{hours}$:

$$CF_t = 20\left[(8/t)^{1/2} - 1\right] \qquad \text{(خ-۲۶)}$$

محدوده شتاب برای یک شرایط «آسایش کاهش‌یافته[1]» ناشی از ارتعاش ممکن است به‌وسیله کم‌کردن ۱۰ دسی‌بل از مقادیر به‌دست آمده توسط معادلات زیرتشخیص داده شود. حد بالای قابل قبول مواجهه با شتاب، که بیانگر یک خطر برای سلامتی فرد است اگر بیش از حد باشد، به‌وسیله اضافه کردن ۶ دسی‌بل به مقادیر داده شده به‌وسیله معادلات زیر به‌دست می‌آید.

تراز شتاب مطابق فرمول خ-۲۷ تعریف می‌شود:

$$L_a = 20\log(a/a_{ref}) \qquad \text{(خ-۲۷)}$$

a_{ref} شتاب مرجع، معادل $10\ \mu\text{m/s}^2$ ؛

شتاب مرجع($0.00039\ \text{in/sec}^2$) $a_{ref} = 10\ \mu\text{m/s}^2$ و $1\text{g}\ (\text{g} = 9.806\ \text{m/S}^2 = 32.174\ \text{ft/sec}^2 =$ $386.1\ \text{in/sec}^2$) مطابق با تراز شتاب در فرمول خ-۲۸:

$$L_a = 20\log_{10}(9.806/10 \times 10^{-6}) = 119.8\ \text{dB} \approx 120\ \text{dB} \qquad \text{(خ-۲۸)}$$

1- Reduced comfort

اگر تغییر مکان (جابه‌جایی) ارتعاش سینوسی باشد، شتاب موثر (rms) مربوط به شتاب ماکزیمم یا قله، a_{max} و به‌وسیله فرمول خ-۲۹ به‌دست می‌آید:

$$a_{rms} = a_{max}/2^{1/2} = 0.707a_{max} \quad (خ-۲۹)$$

جابه‌جایی (تغییر مکان) ارتعاش $y(t)$ به‌وسیله رابطه سینوسی، ممکن است از ارتباط بین شتاب و جابه‌جایی تعیین شود (فرمول خ-۳۰):

$$y(t) = y_{max}\, e^{j\omega t} \quad (خ-۳۰)$$

$$a(t) = \frac{dy}{dt} = -\omega^2 y_{max}\, e^{j\omega t} = \omega^2 y_{max}\, e^{j(\omega t+\pi)} \quad (خ-۳۱)$$

شتاب جرمی (π) رادیان یا ($180°$) با تغییر مکان (جابه‌جایی) اختلاف فاز دارد. شتاب ماکزیمم یا قله به ماکزیمم جابه‌جایی بستگی دارد و به‌وسیله فرمول خ-۳۲ شرح داده می‌شود:

$$a_{max} = \omega^2 y_{max} = 4\pi^2 f^2 y_{max} \quad (خ-۳۲)$$

اگر مشتق عبارت برای ارتعاش تابع تغییر مکان جرم را بگیریم، با استفاده از فرمول خ-۳۳، رابطه شتاب ماکزیمم تغییر مکان تابع جرم را به‌دست می‌آوریم:

$$a_{2,max} = \omega^2 y_{1,max} Tr = (K_S/M) r^2 y_{1,max} Tr \quad (خ-۳۳)$$

کمیت (r) نسبت فرکانس، ($r = \omega/\omega_n = f/f_n$) و (Tr) قابلیت انتقال است. اگر قابلیت انتقال داده شده را به‌وسیله فرمول (خ-۳۳) جایگزین کنیم، روابط بدون بعد شتاب حداکثر جرم مورد نظر برای تحریک جابه‌جایی به‌دست می‌آید (فرمول خ-۳۴):

$$\frac{(a_{2,max}/g)}{(K_S y_{1,max}/Mg)} = r^2 Tr = r^2 \left[\frac{1+(2\zeta r)^2}{(1-r^2)^2+(2\zeta r)^2}\right]^{1/2} \quad (خ-۳۴)$$

اگر ثابت فنریت (K_s) متغیر طراحی شود، فرمول خ-۳۵ برای استفاده مناسب‌تر می‌باشد:

$$\frac{(a_{2,max}/g)}{(4\pi^2 f^2 y_{1,max}/g)} = Tr = \left[\frac{1+(2\zeta r)^2}{(1-r^2)^2+(2\zeta r)^2}\right]^{1/2} \quad (خ-۳۵)$$

استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۲۳۳۰۶ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

کتاب‌نامه

[1] ISO 1996-2, Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2: Determination of sound pressure levels

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲-۹۸۲۰: سال ۱۳۸۶، آکوستیک- توصیف، اندازه‌گیری و ارزیابی نوفه محیطی- قسمت دوم- تعیین ترازهای نوفه محیطی با استفاده از استاندارد ISO 1996- 2: 2007 تدوین شده است.

[2] ISO 2631-1, Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 1: General requirements

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۰۳۱۰: سال ۱۳۷۷، مشخصات عمومی در ارزیابی مواجه انسان با ارتعاش کامل بدن با استفاده از استاندارد ISO 2631-1: 1977 تدوین شده است.

[3] ISO 2631-2, Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۰۳۱۰: سال ۱۳۸۷، لرزش و شوک مکانیکی -ارزش‌یابی مواجهه انسان با لرزش کل بدن -قسمت ۲-لرزش در ساختمان‌ها (1hz-80hz) با استفاده از استاندارد ISO 2631-2: 2003 تدوین شده است.

[4] ISO 2631-5, Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 5: Method for evaluation of vibration containing multiple shocks

[5] ISO 3741, Acoustics — Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure — Precision methods for reverberation test rooms

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۸۱: سال ۱۳۹۷، آکوستیک- تعیین ترازهای توان و انرژی صدای منابع نوفه با استفاده از فشار صدا- روش‌های دقیق برای اتاق‌های واخنشی با استفاده از استاندارد ISO 3741: 2010 تدوین شده است

[6] ISO 3743-1, Acoustics — Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure — Engineering methods for small movable sources in reverberant fields — Part 1: Comparison method for a hard-walled test room

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۶۱۸۲: سال ۱۳۸۱، آکوستیک -تعیین ترازهای توان صدای منابع نوفه -روش‌های مهندسی برای منابع کوچک و قابل حمل در میدانهای واخنشی- بخش یکم -روش مقایسه‌ای برای اتاق‌های آزمون با دیوار سخت با استفاده از استاندارد ISO 3743-1: 1994 تدوین شده است

[7] ISO 3743-2, Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure — Engineering methods for small, movable sources in reverberant fields — Part 2: Methods for special reverberation test rooms

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲-۶۱۸۲: سال ۱۳۸۱، آکوستیک -تعیین ترازهای توان صدای منابع نوفه -روشهای مهندسی برای منابع کوچک و قابل حمل در میدان‌های واخنشی-بخش دوم-روشهایی برای اتاق‌های آزمون واخنشی خاص با استفاده از استاندارد ISO 3743-2: 1994 تدوین شده است

[8] ISO 3746, Acoustics — Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure — Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۸۵: سال ۱۳۹۷، آکوستیک- تعیین ترازهای توان صدا و ترازهای انرژی صدای منابع

استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۲۳۳۰۶ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

نوفه با استفاده از فشار صدا- روش‌های بازرسی با استفاده از یک سطح اندازه‌گیری محیط بر روی یک صفحه بازتابی با استفاده از استاندارد ISO 3746: 2010 تدوین شده است.

[9] ISO 5349-1, Mechanical vibration — Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration — Part 1: General requirements

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۹۱۷۷: سال ۱۳۹۳، ارتعاشات مکانیکی -اندازه‌گیری و ارزیابی مواجهه انسان با ارتعاش منتقل‌شده به دست -قسمت ۱- الزامات عمومی با استفاده از استاندارد ISO 5349-1: 2001 تدوین شده است.

[10] ISO 5349-2, Mechanical vibration — Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration — Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۹۱۷۷: سال ۱۳۹۴، اندازه‌گیری و ارزیابی مواجهه انسان با ارتعاش منتقل‌شده به دست -قسمت ۲- راهنمای عملی اندازه‌گیری در محل کار با استفاده از استاندارد ISO 5349-2: 2001 تدوین شده است.

[11] ISO 8041-1, Human response to vibration — Measuring instrumentation — Part 1: General purpose vibration meters

[12] ISO 9612, Acoustics- Determination of occupational noise exposure- Engineering method

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۷۱۳: سال ۱۳۸۸، آکوستیک- تعیین مواجهه با نوفه شغلی- روش مهندسی با استفاده از استاندارد ISO 9612: 2009 تدوین شده است.

[13] ISO 9614-3, Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity — Part 3: Precision method for measurement by scanning

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۳-۶۱۸۷: سال ۱۳۸۴، آکوستیک- تعیین ترازهای توان صدای منابع نوفه با استفاده از شدت صدا- قسمت ۳: روش دقیق برای اندازه‌گیری از طریق پیمایش با استفاده از استاندارد ISO 9614-3: 2002 تدوین شده است.

[14] ISO 266, Acoustics- Preferred frequencies

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲۰۴۶۰: سال ۱۳۹۴، آکوستیک- بسامدهای ترجیحی با استفاده از استاندارد ISO 266: 1997 تدوین شده است.

[15] ISO 1683, Acoustics- Preferred reference values for acoustical and vibratory levels

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲۲۱۱۴: سال ۱۳۹۵، آکوستیک- مقادیر مرجع ترجیحی برای ترازهای شنوایی و ارتعاشی با استفاده از استاندارد ISO 1683: 2015 تدوین شده است.

[16] ISO 3747, Acoustics- Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure- Engineering/survey methods for use in situ in a reverberant environment

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۶۱۸۶: سال ۱۳۹۷، آکوستیک- تعیین ترازهای توان صدا و ترازهای انرژی صدای منابع نوفه با استفاده از فشار صدا- روش‌های مهندسی/ بازرسی برای کاربری در محل و در یک محیط واخنشی با استفاده از استاندارد ISO 3747: 2000 تدوین شده است.

[17] ISO 4869-2: 2018, Acoustics- Hearing protectors- Part 2: Estimation of effective A-weighted sound pressure levels when hearing protectors are worn

استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۲۳۳۰۶ (چاپ اول): سال ۱۴۰۱

[18] ISO 7010, Graphical symbols- Safety colours and safety signs — Registered safety signs

یادآوری- استاندارد ملی ایران- ایزو شماره ۷۰۱۰: سال ۱۳۹۱، نمادهای نگاره‌ای- رنگ‌های ایمنی و علائم ایمنی- علائم ایمنی ثبت‌شده با استفاده از استاندارد ISO 7010: 2011 تدوین شده است.

[19] ISO 11201, Acoustics- Noise emitted by machinery and equipment-Determination of emission sound pressure levels at a work station and at other specified positions in an essentially free field over a reflecting plane with negligible environmental corrections

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۱۷۸: سال ۱۳۹۳، آکوستیک- صدای منتشره به‌وسیله ماشین‌آلات و تجهیزات- تعیین ترازهای فشار صوت منتشره در یک ایستگاه کاری و دیگر موقعیت‌های مشخص در یک میدان الزاما آزاد، روی یک صفحه بازتابش با تصحیح‌های محیطی قابل صرف‌نظر با استفاده از استاندارد ISO 11201: 2010 تدوین شده است.

[20] BS EN ISO 11202, Acoustics-Noise emitted by machinery and equipment-Determination of emission sound pressure levels at a work station and at other specified positions applying approximate environmental corrections

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۱۷۹: سال ۱۳۹۳، آکوستیک- صدای منتشره به‌وسیله ماشین‌آلات و تجهیزات- تعیین ترازهای فشار صوت منتشره در ایستگاه کاری و دیگر موقعیت‌های مشخص‌شده با اعمال تصحیح‌های تقریبی محیطی با استفاده از استاندارد ISO 11202: 2010 تدوین شده است.

[21] ISO 12001, Acoustics- Noise emitted by machinery and equipment- Rules for the drafting and presentation of a noise test code

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۹۱۳۹: سال ۱۳۸۶، آکوستیک- نوفه منتشره شده توسط ماشین‌آلات و تجهیزات- قواعد مربوط به نگارش و ارایه مقررات آزمون نوفه با استفاده از استاندارد ISO 12001: 1996 تدوین شده است.

[22] ISO 14163, Acoustics- Guidelines for noise control by silencers

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۹۸۳۷: سال ۱۳۸۶، آکوستیک- رهنمودهایی برای کنترل نوفه توسط صدا خفه‌کن‌ها با استفاده از استاندارد ISO 14163: 1998 تدوین شده است.

[23] ISO 15664, Acoustics- Noise control design procedures for open plant

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۹۸۳۴: سال ۱۳۸۶، آکوستیک- روش‌های اجرایی طراحی کنترل نوفه برای پایگاه باز با استفاده از استاندارد ISO 15664: 2001 تدوین شده است.

[24] ISO 15665, Acoustics- Acoustic insulation for pipes, valves and flanges

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۹۸۴۰: سال ۱۳۸۶، آکوستیک- عایق‌بندی آکوستیکی لوله‌ها، شیرها و فلنج‌ها با استفاده از استاندارد ISO 15665: 2003 تدوین شده است.

[25] ISO 15667, Acoustics- Guidelines for noise control by enclosures and cabins

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۹۸۳۹: سال ۱۳۸۶، آکوستیک- رهنمودهایی برای کنترل نوفه توسط محفظه‌ها و کابین‌ها با استفاده از استاندارد ISO 15667: 2000 تدوین شده است.

[26] ASTM E1222, Standard Test Method for Laboratory Measurement of the Insertion Loss of Pipe Lagging Systems

[27] IEC 60942, Electroacoustics - Sound calibrator

[29] IEC 61252, Electroacoustics - Specifications for personal sound exposure meters

[30] IEC 61672-1, Electroacoustics - Sound level meters - Part 1: Specifications

[31] EEMUA Publication No. 161 Silencers and acoustic enclosures- A guide to selection and assessment

[32] Horizontal Guidance for Noise Part 2 - Noise Assessment and Control

[33] VDI 3732: 1999, Standard noise levels of technical sound sources – Flares

[34] DEP 31.46.00.31-Gen.: Thermal insulation

[35] DEP 31.10.00.94-Gen. 2003 Equipment noise limitation

[36] DEP 31.10.00.95-Gen. 2000 Vent/blow-down/air-flow/in-line silencers

[37] DEP 31.10.00.96-Gen. 2002 Rotating equipment acoustic enclosures

[38] API STD 521: Guide for pressure-relieving and depressuring systems

[39] BS 4142, Methods for rating and assessing industrial and commercial sound

[40] BS 5378, Safety signs and colours