

عایق‌های حرارتی

تدوین و تألیف:

سعید امانی

عبدالرضا کرباسی

« فهرست مطالب »

عنوان	صفحه
۱- مقدمه	۱
۲- اصول بنیادی	۳
۲-۱- واژه‌ها و تعاریف	۳
۲-۲- انتخاب مواد عایق	۵
۲-۲-۱- مروری بر آزمون	۷
۲-۳- انتقال حرارت	۷
۲-۴- جریان حرارت	۸
۲-۵- حفاظت و درزگیری پوشش عایق	۱۱
۲-۵-۱- پوشش حفاظتی و پرداخت نهایی	۱۱
۲-۵-۲- بخار بندها	۱۲
۲-۶- محدوده‌های دمایی	۱۲
۲-۶-۱- عایق‌های حرارتی دما پائین	۱۳
۲-۶-۲- عایق‌های حرارتی دما متوسط	۱۳
۲-۶-۳- عایق‌های حرارتی دما بالا	۱۴
۲-۷- ضخامت عایق	۱۴
۲-۷-۱- روش‌های انتخاب عایق	۱۴
۲-۷-۲- انتخاب عایق با ضخامت مناسب	۱۴
۲-۷-۳- انتخاب عایق بر اساس منابع مالی	۱۶
۲-۷-۴- ضخامت بهینه عایق	۱۶

صفحه

عنوان

۲۲.....	۸-۲- مدیریت انرژی
۲۲.....	۲-۸-۱- ممیزی انرژی
۲۳.....	۲-۸-۲- فرصت‌های مدیریت انرژی
۲۵.....	۳- خصوصیات مواد عایق
۲۵.....	۳-۱- انواع شکل‌های عایق
۲۶.....	۳-۲- متداول‌ترین مواد عایق
۲۹.....	۳-۳- رعایت اصول عایق‌کاری
۲۹.....	۳-۳-۱- پوشش‌های حفاظتی و پرداخت نهایی
۳۲.....	۳-۳-۲- خواص پوشش‌های محافظ
۳۳.....	۳-۳-۳- لوازم جانبی
۳۳.....	۳-۳-۴- ایمنی و حفاظت
۳۴.....	۳-۳-۵- تقویت ساختار عایق‌ها
۳۴.....	۳-۳-۶- پاشش آب
۳۵.....	۳-۳-۷- استحکام
۳۵.....	۳-۳-۸- قطعات نگهدارنده عایق
۳۵.....	۳-۳-۹- آب بندی و درز بندی
۳۵.....	۳-۳-۱۰- جبران انقباض و انبساط حرارتی
۳۶.....	۳-۴- کاربردهای عمومی و متعارف
۳۶.....	۳-۴-۱- ساختار مرکب و چند لایه
۳۷.....	۳-۴-۲- عایق‌کاری لوله‌ها
۳۸.....	۳-۴-۳- روکش‌های فلزی
۳۹.....	۳-۴-۴- پوشش‌های الاستومری
۳۹.....	۳-۴-۵- عایق‌کاری اتصالات

عنوان	صفحه
۳-۴-۶- عایق کاری با پی وی سی یا الیاف پشم و شیشه	۴۱
۳-۴-۷- عایق کاری فلنچ‌ها	۴۲
۳-۴-۸- عایق‌های قابل تعویض	۴۲
۳-۴-۹- عایق کاری کانال‌ها	۴۳
۳-۴-۱۰- آستر داخل کانال‌ها	۴۴
۳-۴-۱۱- عایق کاری منبع و مخزن	۴۵
۳-۴-۱۲- عایق کاری سقف منبع و مخزن	۴۶
۴- اقدامات مدیریت انرژی	۴۹
۴-۱- اقدامات حفظ و نگهداری تأسیسات	۴۹
۴-۱-۱- نمونه‌هایی از حفظ و نگهداری تأسیسات	۵۰
۴-۲- اقدامات کم هزینه	۵۲
۴-۲-۱- نمونه‌هایی از اقدامات کم هزینه	۵۲
۴-۳- اقدامات بازسازی اساسی	۵۵
۴-۳-۱- نمونه‌هایی از اقدامات بازسازی اساسی	۵۶
ضمائم	۶۱
مراجع	۹۱
ضرایب هم ارزی و تبدیل واحدهای انرژی	۱۰۵
آدرس سایت‌های مرتبط	۱۱۳

« فهرست شکل ها »

عنوان	صفحه
شکل ۱ - نمونه لوله عایق شده.....	۱۰
شکل ۲ - تعیین ضخامت بهینه عایق	۱۷
شکل ۳ - اتلاف حرارت از سطح صاف	۱۹
شکل ۴ - هزینه اتلاف انرژی در مقایسه با ضخامت عایق	۲۰
شکل ۵ - هزینه عایق کاری برای ضخامت های مختلف.....	۲۱
شکل ۶ - نمونه ای از جزئیات عایق کاری لوله ها و پوشش های محافظ	۳۷
شکل ۷ - کاربرد روکش های فلزی	۳۸
شکل ۸ - پوشش های عایقی انعطاف پذیر الاستومری	۳۹
شکل ۹ - مقطع برش خورده ای از عایق کاری زانویی ها.....	۴۰
شکل ۱۰ - سیستم عایق کاری زانویی با PVC یا پشم و شیشه	۴۱
شکل ۱۱ - سیستم عایق کاری اتصالات با PVC یا پشم و شیشه	۴۲
شکل ۱۲ - عایق کاری قابل تعویض و استفاده مجدد برای شیرآلات	۴۳
شکل ۱۳ - عایق کاری کانال بوسیله روکش پتویی از جنس پشم و شیشه	۴۴
شکل ۱۴ - نمونه آستر داخل کانال ها	۴۴
شکل ۱۵ - عایق کاری بدنه منبع بوسیله صفحات تخت صلب و تسمه های فلزی	۴۵
شکل ۱۶ - عایق کاری سقف و درپوش مخازن	۴۷

« فهرست جدول‌ها »

عنوان	صفحه
جدول ۱ - اتلاف حرارت از لوله‌های فولادی بدون عایق	۷۱
جدول ۲ - اتلاف حرارت از سطوح صفحات فولادی بدون عایق	۷۲
جدول ۳ - اتلاف حرارت از لوله‌ها با ضخامت‌های مختلف عایق	۷۵
جدول ۴ - خصوصیات حرارتی انواع مصالح ساختمانی و مواد عایق حرارتی	۸۱
جدول ۵ - ضریب هدایت حرارتی عایق‌های صنعتی	۸۳
جدول ۶ - پاره‌ای از مشخصات انواع عایق	۸۷
جدول ۷ - پوشش‌های حفاظتی و پرداخت نهایی	۸۸
جدول ۸ - بخاربندها	۸۹
جدول ۹ - ارزش حرارتی برخی از سوخت‌ها	۹۰

۱- مقدمه

واژه عایق‌های حرارتی به موادی اطلاق می‌شود که مانع هدر رفتن و اتلاف انرژی حرارتی شود. جلوگیری از اتلاف انرژی حرارتی موجب صرفه‌جویی در انرژی و پول می‌گردد و از طرفی زمینه‌های ایمنی و آسایش را فراهم می‌سازد. عایق‌کاری سطوح داغ یکی از ساده‌ترین و مقرون به صرفه‌ترین روشهای افزایش بازدهی انرژی است. درجه حرارت سطح لوله‌ها می‌تواند بسیار متغیر باشد، ولی بطور تقریب مدت زمان برگشت سرمایه عایق‌کاری حرارتی لوله‌ها، کمتر از یک سال است.

از طریق ارتقاء کارایی انرژی امکان کاهش اندازه و ظرفیت تجهیزات حرارتی، برودتی و تهویه مطبوع میسر بوده و بدین ترتیب حجم سرمایه‌گذاری برای خرید آنها نیز کاهش می‌یابد. از دیگر مزایای عایق‌کاری می‌توان به کنترل مطلوب‌تر دمای فرآیندها اشاره نمود.

مواد عایق حرارتی عمدتاً در سه محدوده دمایی ذیل قرار می‌گیرند:

الف - عایق دماهای سرمازا^۱ که عمدتاً کمتر از منهای ۷۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

ب - عایق حرارتی که در برگیرنده محدوده دمای منهای ۷۳ تا ۹۸۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

ج - عایق حرارتی نسوز^۲ که برای دماهای بیش از ۹۸۲ درجه سانتی‌گراد بکار می‌رود.

1- Cryogenic Insulation

2- Refractory Insulation

در ساختار بدنه کوره‌های سیمان، فولاد و زباله سوزها از عایق‌های دیرگداز و نسوز استفاده می‌گردد. معمولاً مواد عایق‌های نسوز باید در برابر سایش مقاوم باشند تا بتوانند عملکرد خوبی در دماهای بالا از خود نشان دهند. در راهنمای حاضر فقط عایق‌های حرارتی (نوع ب) مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند.

پوشش‌های عایقی در انواع صفحه‌ای، تخته‌ای، بلوکی، آجری، ورقه‌ای، نواری و قالبی به بازار عرضه می‌گردد. انتخاب نوع عایق حرارتی به قیمت، دمای مورد نظر، کاربرد آن و ایمنی و شرایط محیط بستگی دارد. ضخامت عایق حرارتی باید دقیقاً بر اساس ضخامت بهینه اقتصادی مورد محاسبه و ارزیابی قرار گیرد تا هزینه‌های خرید و نصب عایق در برابر صرفه اقتصادی سود حاصل از صرفه‌جویی انرژی در حد مطلوب تعیین گردد. در کتاب راهنمایی که پیش رو دارید، مباحث فوق‌الذکر مورد نقد و بررسی قرار گرفته و مثال‌هایی در رابطه با عایق‌کاری و سود حاصل از آن ارائه شده است.

۲- اصول بنیادی

۲-۱- واژه‌ها و تعاریف

متداول‌ترین واژه‌ها و تعاریف در رابطه با عایق‌های حرارتی ذیلاً ارائه می‌گردد:

- هدایت (Conduction): فرآیندی است که طی آن حرارت از جسم داغ به جسم سردتر یا سیالی که در تماس ثابت با آن است، انتقال می‌یابد.
- همرفت یا جابه‌جایی (Convection): فرآیندی است که طی آن حرارت از جسم داغ به گاز و یا مایعی که در حرکت تماسی با جسم می‌باشد، انتقال می‌یابد.
- تابش (Radiation): انتشار حرارت از جسم داغ، بدون آنکه در تماس با سیال یا جسم جامد باشد.
- هدایت حرارتی (Thermal Conductivity): میزان عبور انرژی حرارتی در مواد همگن و به ازای یک واحد ضخامت می‌باشد که با علامت (k) نشان داده می‌شود. موادی که دارای هدایت حرارتی کمی هستند، می‌توانند عایق‌های خوبی محسوب شوند. میزان هدایت حرارتی توسط $W/(m^{\circ}C)$ و یا $Btu/(hft^{\circ}F)$ نشان داده می‌شود.
- گرما رسانایی (Thermal Conductance): میزان عبور انرژی حرارتی از مواد همگن بدون در نظر گرفتن واحد ضخامت (مجموعه‌ای از مواد) می‌باشد که آنرا

با علامت (e) نشان می‌دهند. میزان گرماسانایی را بصورت $W/(m^2.C^{\circ})$ یا $Btu/(ft^2.hr.^{\circ}F)$ نشان می‌دهند.

- انتشار حرارتی (Thermal Transmittance): میزان انتشار انرژی حرارتی توسط ماده یا مجموعه‌ای از مواد شامل لایه هوای مرزی^۱ می‌باشد که آن را با علامت (U) نشان می‌دهند. میزان انتشار حرارتی را توسط $W/(m^2.k)$ و یا $Btu/(h.ft^2.^{\circ}F)$ نشان می‌دهند.
- مقاومت حرارتی (Thermal Resistance): نشان دهنده میزان نسبی عایق بودن یا مقاومت در برابر جریان حرارتی مواد است. هر چقدر که میزان مقاومت حرارتی (R) بیشتر باشد، نوع عایق بهتر است. رابطه C ، K ، U و R به شرح زیر قابل ارایه می‌باشد:

$$R = \frac{t}{k} = \frac{1}{C} = \frac{1}{U}$$

در اینجا t = ضخامت ماده (بر حسب متر یا اینچ)

- میانگین دما (Mean Temperature): متوسط حسابی و هندسی بین دمای سطوح عایق گرم و سرد می‌باشد که از طریق آن حرارت انتشار یافته است.
- ضریب تشعشع (Emissivity): نسبت میزان تابش انرژی حرارتی از یک سطح به میزان تابش انرژی حرارتی از یک جسم سیاه، تحت همان دما، می‌باشد.
- جسم سیاه (Black Body): به جسمی اطلاق می‌شود که بتواند کل تابش بر سطح خود را جذب نماید و یا هیچ قسمت از تابش بر سطح خود را منعکس نکند و یا به عنوان یک تابنده بتواند حداکثر حرارت تابشی را تحت هر دمایی از خود ساطع نماید.

1 - Boundary Air Films

۲-۲- انتخاب مواد عایق

خصوصیات مهمی که باید در انتخاب مواد عایق مد نظر قرار گیرد، به شرح زیر ارایه شده است :

- مقاومت حرارتی (Thermal Resistance): هر چقدر که میزان مقاومت حرارتی بیشتر باشد، نوع عایق بهتر خواهد بود.
- قابلیت احتراق (Combustibility): هنگام در نظر گرفتن خطرات ناشی از آتش سوزی، در نظر گرفتن این پارامتر حائز اهمیت می باشد .
- سمیت (Toxicity): برخی از مواد عایقی احتراق پذیرند و بدین ترتیب موجب رها سازی مواد سمی (بخار سمی) می گردند. بنابراین می بایست از استفاده از این نوع مواد در محیط های سر بسته اجتناب نمود.
- چروک خوردگی (Shrinkage): تحت درجه حرارت های زیاد امکان انقباض عایق و ایجاد چروک خوردگی در آن وجود خواهد داشت. در اثر ایجاد چروک بخشی از سطح عایق کاری شده، فاقد پوشش عایق خواهد شد.
- مقاومت در برابر تشعشعات ماوراء بنفش^۱: زمانی که مواد عایق کاری در خارج از ساختمان مورد استفاده قرار می گیرند (بعنوان مثال تأسیساتی که در فضای غیر مسقف نصب شده باشند) می بایست به نوعی سطوح آنها پوشانده شود تا بتوان آنها را در برابر آسیب نور ماوراء بنفش محافظت نمود.
- مقاومت در برابر قارچ و میکروب^۲: مواد عایق کاری خصوصاً در صنایع غذایی و شیمیایی باید در برابر رشد قارچ و میکروب مقاوم باشند .
- خاصیت شیمیایی خنثی^۳: مواد عایق کاری می بایست از لحاظ خواص شیمیایی خنثی باشند (pH=7) تا بتوان از تخریب فلزاتی که با آنها در تماس هستند

1 - Resistance to Ultra Violet Radiation

2 - Resistance to Fungal or Bacterial Growth

3 - Chemical Neutrality

- جلوگیری نمود. این موضوع خصوصاً در مکان‌هایی که رطوبت‌زا هستند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.
- ضریب انبساط و انقباض^۱: این ضرایب در طراحی و مکان‌یابی مناسب، اتصالات تحت انقباض و انبساط و همچنین کاربرد عایق‌های چند لایه‌ای (مرکب) حائز اهمیت می‌باشند.
 - مقاومت فشاری (Compressive Strength): در مکان‌هایی که مواد عایق‌کاری متحمل بار و یا فشارهای مکانیکی هستند، مقاومت فشاری عایق بسیار حائز اهمیت خواهد بود. لذا مناسب است تا در این مواقع از عایق‌هایی که قادر به تحمل فشار هستند، استفاده شود.
 - پل حرارتی (Thermal Bridge): در مکان‌هایی که عایق‌کاری بر سطوح غیر منظم و غیر یکنواخت انجام می‌پذیرد، ضروری است تا بگونه‌ای انجام گیرد که تمامی پل‌های حرارتی فصل مشترک بین سطوح مختلف را پوشش دهد.
 - خاصیت موئینگی (Capillarity): زمانی که مواد عایق‌کاری در تماس با مایعات خطرناک و قابل اشتعال می‌باشند، میزان مقاومت در برابر جذب مایعات توسط خاصیت موئینگی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است.
 - چگالی (Density): بسیاری از خواص مواد عایق و خصوصاً ویژگی‌های حرارتی تحت تأثیر چگالی قرار می‌گیرند. بنابراین انتخاب چگالی مناسب برای مواد عایق‌کاری بسیار حائز اهمیت است و می‌بایست در راستای نوع کاربری این مواد در نظر گرفته شود. در فصل‌های بعدی فهرست کنترل (چک لیست) برای انتخاب چگالی متناسب با انواع کاربری ارائه می‌گردد.
- نصب صحیح مواد عایق‌کاری می‌تواند طول عمر این مواد را تا حد طول عمر دستگاه‌ها و یا لوله‌هایی که بر روی آنها لایه‌های عایق‌کاری تعبیه شده‌اند، تضمین نماید.
- عایق‌های مکانیکی می‌بایست همواره بر اساس توصیه‌های تولیدکنندگان آن نصب و مورد بهره‌برداری قرار گیرند.

1 -Coefficient of Expansion and Contraction

۲-۲-۱- مروری بر آزبست

در گذشته از آزبست بصورت گسترده در عایق کاری استفاده می شد. هر چند به لحاظ سرطانزا بودن الیاف آزبست، دیگر از این مواد در عایق کاری استفاده نمی شود. آزبست در انواع مختلف تولید می شود که امروزه از نوع کریزوتیل^۱ به لحاظ کم خطر بودن استفاده می شود. تحقیقات نشان داده است که میزان کم کریزوتیل سرطانزا نمی باشد. امروزه از کریزوتیل در تهیه مصالح ساختمانی، آستر ترمز ماشین و دیگر موارد مشابه استفاده می شود، اما دیگر بعنوان عایق حرارتی مورد بهره برداری قرار نمی گیرد. در گذشته از آزبست بعنوان عایق حرارتی استفاده زیاد بعمل نمی آمد چرا که هدایت حرارتی آن بسیار پائین است (حدود $0.06 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) و تنها عاملی که باعث می شد از آزبست استفاده شود، خاصیت عدم اشتعال پذیری آن بوده است.

تأسیسات قدیمی هنوز دارای عایق های آزبستی می باشند که غالباً ایمن تر است تا دست نخورده باقی بمانند در غیر اینصورت امکان آزاد شدن فیبرهای آزبست در هوای اطراف تأسیسات وجود خواهد داشت. پیشنهاد می گردد برای برداشتن عایق های آزبست از تأسیسات قدیمی حتماً با مسئولین بهداشت مشاوره لازم بعمل آید.

۲-۳- انتقال حرارت

حرارت همیشه از یک جسم گرمتر به جسم سردتر انتقال می یابد و هرگز خلاف این امر صورت نمی پذیرد. حرارت به سه طریق زیر از جسم گرم به هدر می رود.

- هدایت : حرارت از طریق تماس به اجسام جامد و یا سیال ثابت انتقال می یابد.
- جابجایی : حرارت از طریق تماس به گاز و سیال متحرک انتقال می یابد.
- تابش : در این حالت حرارت بدون تماس با جسم یا سیال انتقال می یابد. حرارت از طریق هوا یا خلاء تشعشع می یابد. در این حالت حرارت بصورت تابش

الکترومغناطیسی ساطع می‌گردد (همانند تشعشعات مادون قرمز). افزایش میزان تشعشع در اثر افزایش دما قابل ملاحظه است.

در اکثر کارخانجات قسمت اعظم حرارت از سطوح لوله و دیگر سطوح گرم از طریق جابجایی به هدر می‌رود. هوایی که با سطوح داغ در تماس است، گرم می‌شود و سپس با هوای سرد جابجا می‌گردد.

۲-۴- جریان حرارت

نرخ یا میزان جابجایی حرارت از یک منطقه گرم به منطقه سردتر را جریان حرارت می‌نامند. هدف اصلی از عایق‌کاری جلوگیری از جریان حرارت است. واژه هدایت حرارتی (k) بیانگر میزان حرارتی است که در واحد سطح و به ازای یک درجه سانتی‌گراد اختلاف دما جریان می‌یابد. هدایت حرارتی توسط واحد وات بر متر درجه سانتی‌گراد ($W/(m^{\circ}C)$) یا $Btu/(h.ft^2.F)$ بیان می‌گردد. اینک مقاومت حرارتی را می‌توان متضاد با عبور حرارت از عایق توصیف نمود و آنرا با معادله زیر نشان داد:

در اینجا t = ضخامت عایق (بر حسب متر یا اینچ)
 $(R) = t/k [(m^2.{}^{\circ}C)/W]$ یا $[(h.ft^2.F)/Btu]$ مقاومت حرارتی

هر چقدر که میزان مقاومت حرارتی (R) بیشتر باشد، نوع عایق بهتر است. جریان حرارت عبوری از یک سطح مسطح عایق را می‌توان از طریق زیر محاسبه نمود:

$$(\text{ بر حسب وات ساعت }) = \frac{\Delta T \times A}{R} Wh \quad \text{جریان حرارت عبوری در یک ساعت}$$

در اینجا ΔT = اختلاف دما در مقطع عرضی مواد عایق (بر حسب درجه سانتی‌گراد)

A = مساحت سطح (بر حسب متر مربع)

بعنوان مثال یک صفحه مسطح ده متر مربعی با دمای $140^{\circ}C$ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شود. این صفحه توسط عایقی که هدایت حرارتی آن معادل $0.45 W/(m.{}^{\circ}C)$ و ضخامت آن 51 میلی متر است، پوشانیده شده است. دمای سطح بیرونی عایق $10^{\circ}C$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

اینک می توان مقاومت حرارتی را به شرح زیر محاسبه نمود:

$$R = \frac{t}{k}$$

$$R = \frac{0/051}{0/045}$$

$$R = 1/133 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

بدین ترتیب جریان حرارت در طی یک ساعت به شرح زیر قابل محاسبه است:

$$\text{جریان حرارت در طی یک ساعت} = \frac{\Delta T \times A}{R}$$

$$\text{جریان حرارت در یک ساعت} = \frac{(140-10) \times 10}{1/133}$$

$$\text{جریان حرارت در یک ساعت} = 1147/4 \text{ Wh (وات ساعت)}$$

جریان حرارت در عایق لوله ها با آنچه که در بالا توضیح داده شد متفاوت است، چرا که سطوح داخلی و خارجی عایق دارای اختلاف مساحت می باشند. بنابراین، این اختلاف مساحت باید در محاسبات در نظر گرفته شود. چون جریان حرارت از جداره داخلی عایق به سمت جداره خارجی عایق حرکت می نماید بنابراین سطح مسیر جریان حرارت از داخل به سمت خارج افزایش می یابد. این فرآیند موجب افزایش میزان مقاومت حرارتی می گردد.

لذا از معادلات زیر می توان برای محاسبه دقیق مقاومت حرارتی مقاطع استوانه ای استفاده نمود:

$$[R] = \frac{\text{ضخامت معادل}}{k} \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W})$$

هدایت حرارتی

$$(R) = \frac{r_2 \ln \frac{r_2}{r_1}}{k}$$

در اینجا :

r_2 = شعاع بیرونی عایق (بر حسب متر)

r_1 = شعاع داخلی عایق (بر حسب متر)

l_n = لگاریتم پایه ۱۰

بعنوان مثال تلفات حرارتی از لوله‌ای بطول یک متر و قطر ۰/۲۱۹ متر با حرارت ۹۵ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شود. عایقی با ضخامت ۵۱ میلی متر و هدایت حرارتی معادل $0.37 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$ و دمای سطح بیرون برابر با ۲۵ درجه سانتی‌گراد برای پوشش این لوله بکار می‌رود. این مثال بصورت شماتیک در شکل شماره (۱) نشان داده شده است. جریان حرارت در عایق به شرح زیر قابل محاسبه است:

$$r_2 = \frac{0.219}{2} + 0.051$$

$$r_2 = 0.1605 \text{ m}$$

$$r_1 = \frac{0.219}{2}$$

$$r_1 = 0.1095 \text{ m}$$

$$(R) = \frac{r_2 \ln \frac{r_2}{r_1}}{k}$$

$$R = \frac{0.1605 * \ln \frac{0.1605}{0.1095}}{0.037}$$

شکل ۱ - نمونه لوله عایق شده

$$R = \frac{0.1605 * 1.466}{0.037}$$

$$R = 1.66 \text{ (m}^2\text{.}^\circ\text{C)/W}$$

$$A = 2\pi r_2 \times l = 2 \times 3.14 \times 0.1605 \times 1 = 1.008 \text{ m}^2$$

$$\text{جریان حرارت در یک ساعت} = \frac{\Delta T \times A}{R}$$

$$\text{جریان حرارت در یک ساعت} = \frac{(95-25) \times 1/008}{1/66} \text{ Wh}$$

$$\text{جریان حرارت در یک ساعت} = \frac{70 \times 1/008}{1/66}$$

(جریان حرارتی عبوری از سطح عایق به ازای یک متر لوله)

$$\text{جریان حرارت در یک ساعت} = 42/51 \text{ Wh/m}$$

بنابراین ملاحظه می‌شود که طی یک ساعت ۴۲/۵۱ وات ساعت به ازای یک متر لوله جریان حرارتی (یا تلفات حرارتی) صورت می‌پذیرد. شایان ذکر است که در معادلات فوق‌الذکر، A نشان دهنده مساحت سطح بیرونی یک متر لوله عایق شده است که به شرح زیر محاسبه شده است:

$$\Pi = 3/14159$$

$$D = \text{قطر بیرونی عایق} [\text{قطر بیرونی لوله} + 2 \times \text{ضخامت عایق}]$$

$$L = \text{طول لوله بر حسب متر که در این مثال معادل یک متر فرض شده است}$$

بنابراین :

$$A = \Pi \times (0/219 + 2 \times 0/051) \times L$$

$$A = \Pi \times (0/321) \times 1$$

$$A = 3/14159 \times 0/321$$

$$A = 1/008 \text{ m}^2$$

۲-۵- حفاظت و درزگیری پوشش عایق

۲-۵-۱- پوشش حفاظتی و پرداخت نهایی

بازدهی و طول عمر عایق مستقیماً به نحوه حفاظت از مواد عایق در برابر رطوبت، صدمات مکانیکی و شیمیایی وابسته است. بنابراین نوع پرداخت نهایی عایق بستگی به عوامل فوق‌الذکر دارد و از طرفی هزینه نهایی و زیبا سازی نیز در تصمیم‌گیری نهایی مؤثر می‌باشند.

پوشش حفاظتی عایق‌ها را می‌توان بر اساس عملکردهای ششگانه زیر تقسیم بندی نمود:

- حفاظت عایق در برابر بخار آب موجود در هوا (رطوبت)
 - حفاظت عایق در برابر صدمات مکانیکی (صدماتی که ممکن است از طرف پرسنل و یا دستگاه‌ها بر عایق وارد آیند)
 - حفاظت عایق در برابر شعله و حتی در برابر خوردگی
 - پوشش و پرداخت نهایی عایق به نوعی که در محیط‌های باز از لحاظ جلوه ظاهری زشت نباشد.
 - پوشش‌های بهداشتی به نوعی که در سطح عایق قارچ و باکتری رشد ننماید.
- به سایر جزئیات تکمیلی در خصوص مشخصات کیفی پوشش حفاظتی و پرداخت نهایی عایق‌ها در بخش سیستم‌های مواد اشاره شده است.

۲-۵-۲- بخار بندها

بخاربندها به موادی اطلاق می‌شود که از انتقال بخار آب جلوگیری نمایند. این نوع مواد معمولاً در دمای کمتر از دمای محیط کاربرد دارند. معمولاً بخار آب موجود در هوا میل نفوذ به عایق را دارد و در صورتیکه این عمل حادث شود موجب افت کیفیت و عملکرد عایق می‌گردد. شایان ذکر است که نفوذ بخار آب به داخل عایق قادر به ایجاد خوردگی نیز می‌باشد.

بخاربندها در محل عملیات نصب می‌شوند و عمدتاً از ترکیبات نیمه مایع و آستری ساخته می‌شوند. این نوع مواد با روش پاشش یا مالیدن ماستیک برس بر روی سطح مورد نظر استفاده می‌شوند. در این خصوص می‌بایست دستورالعمل تولید کنندگان را برای رعایت ضخامت مناسب در نظر گرفت.

۲-۶- محدوده‌های دمایی

محدوده دمایی در خصوص عایق حرارتی بین ۷۳- درجه سانتی‌گراد (یا ۱۰۰- درجه فارنهایت) تا ۹۸۲ درجه سانتی‌گراد (یا ۱۸۰۰ درجه فارنهایت) قرار می‌گیرد.

عایق‌های حرارتی بطور کلی به سه دسته دمایی قابل تقسیم می‌باشند.

۲-۶-۱- عایق‌های حرارتی دما پائین

عایق‌هایی که در این گروه قرار می‌گیرند خود به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند:

- ۱۶ تا صفر درجه سانتی‌گراد (معادل ۶۰ تا ۳۲ درجه فارنهایت) - آب سرد
- ۱ تا ۳۹- درجه سانتی‌گراد (معادل ۳۱ تا ۳۹- درجه فارنهایت) - انواع مبردها
- ۴۰ تا ۷۳- درجه سانتی‌گراد (معادل ۴۰- تا ۱۰۰- درجه فارنهایت) - انواع مبردها

مهمترین مشکل درباره عایق‌های حرارتی دما پائین نفوذ رطوبت و قیمت آن است. به هر حال این نوع عایق‌ها باید مانع ورود رطوبت به داخل خود شوند و حتی اگر آب به آن نفوذ نماید باید قادر به دفع آن باشد. عایق‌های ضد بخار آب بطور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند اما باید اذعان نمود که عایق صد در صد ضد بخار آب وجود ندارد. فشار جریان بخار از سطح گرم بیرونی تا حدی است که حتی با وجود عایق‌های ضد آب، بخار آب از طریق شکاف و درز وارد عایق شده و در اثر برودت یخ می‌زند و نهایتاً منجر به وارد آوردن صدمات جدی می‌گردد. تراوایی بخار بندها باید بسیار پائین باشد و هر چقدر که میزان سرمایش در سیستم بیشتر باشد نیاز است تا از موادی بعنوان بخار بند استفاده شود که کمترین تراوایی را داشته باشند.

با توجه به اینکه هزینه‌های تولید سرما به مراتب بیشتر از هزینه‌های تولید گرما است بنابراین منطقی است که حتی تحت ΔT یکسان، سرمایه‌گذاری بیشتری برای عایق‌کاری سیستم‌های سرمایشی بعمل آید. برای آنکه دمای سطوح گرم بالاتر از نقطه شبنم حفظ گردد، استفاده از عایق‌های بیشتر برای افزایش ضخامت فراتر از ضخامت اقتصادی در بعضی موارد صورت می‌پذیرد.

۲-۶-۲- عایق‌های حرارتی دما متوسط

محدوده دمایی برای بکارگیری این نوع عایق‌ها بین ۱۶ تا ۳۱۵ درجه سانتی‌گراد (۶۱ تا ۶۰۰ درجه فارنهایت) می‌باشد. چنین محدوده دمایی معمولاً در اکثر فرآیندهای صنعتی، آب گرم و سیستم‌های بخار ساختمان‌های تجاری وجود دارد. مهمترین عامل در انتخاب عایق برای دماهای فوق‌الذکر عمدتاً میزان هدایت حرارتی است، ولی عوامل

دیگری چون خواص فیزیکی و شیمیایی، دستیابی به اشکال مورد نظر، طول عمر نصب و نهایتاً هزینه از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند.

۲-۶-۳- عایق‌های حرارتی دما بالا

محدوده دمایی برای بکارگیری این نوع عایق‌ها بین ۳۱۵ تا ۸۷۰ درجه سانتی‌گراد (۶۰۰ تا ۱۶۰۰ درجه فارنهایت) است. برای عایق‌های حرارتی نسوز، مواد و کاربردهای محدودتری وجود دارد. محدوده کاربرد این نوع عایق‌ها در صنایع تولید برق، نیروگاه و پالایشگاه، بویلرهای صنعتی و تجاری، دودکش‌ها، کوره‌ها، زباله سوزها و چندین فرآیند صنعتی دیگر می‌باشد. برای تولید عایق‌های حرارتی دمای بالا، باید ترکیبی از چند ماده را مورد استفاده قرار داد و از پیوند دهنده‌های ویژه برای انسجام این مواد بهره گرفت.

۲-۷-۲- ضخامت عایق

۲-۷-۲-۱- روش‌های انتخاب عایق

هر چند که عایق کاری سطوح فاقد عایق موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی و یا بطور کلی صرفه‌جویی در هزینه‌ها می‌گردد، اما متأسفانه در بسیاری از موارد صرفه‌جویی‌های دراز مدت در نظر گرفته نمی‌شوند. به عبارت دیگر کلیه تأسیساتی که مجهز به عایق هستند هر ده سال یک بار می‌بایست نسبت به تجدید عایق کاری اقدام کرد. باید در نظر داشت که علاوه بر عایق کاری سطوح صاف و لوله‌ها حتماً باید نسبت به عایق کاری منابع و مخازن، شیر آلات و فلنج‌ها نیز اقدام نمود.

۲-۷-۲-۲- انتخاب عایق با ضخامت مناسب

در جداول شماره (۱) و (۲) که در ضمیمه کتاب آمده است اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه میزان صرفه‌جویی انرژی ارائه شده است. در این جداول میزان تلفات حرارت از

لوله‌های فولاد فاقد عایق و سطوح صاف فولادی بدون عایق در دماهای مختلف در مقایسه با دمای محیط ۲۱/۱ درجه سانتی‌گراد ارائه شده است.

جهت کاربردهای فرآیندی، ضخامت عایق برای انواع مواد و دماها در جدول شماره (۳) نشان داده شده است. در این جدول انواع عایق‌هایی که از الیاف معدنی، سیلیکات کلسیم و پشم شیشه (برای لوله‌های NPS با قطر ۱/۲ تا ۳۶ اینچ و دمای فرآیندی بین ۶۵ الی ۵۶۶ درجه سانتی‌گراد) هستند، ارائه شده است. جدول‌های فوق‌الذکر آمار و اطلاعات سطوح صاف را نیز در بردارند.

باید خاطر نشان کرد که سطح مخازن و تانک‌هایی که قطر آنها بیش از ۹۱۴ میلی‌متر می‌باشد، بعنوان سطوح صاف در محاسبات تلفات حرارت در نظر گرفته شده‌اند.

در مثال زیر نحوه استفاده از جدول‌های مذکور ارائه می‌گردد. فرض شود که لوله فولادی شش اینچی (NPS-6) تحت دمای محیط (۲۱/۱°C) دارای حرارت ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. جدول شماره یک نشان می‌دهد که از این لوله حدود ۷۰۰ وات ساعت انرژی به ازای یک متر لوله به هدر می‌رود. اگر بر اساس جدول شماره (۳)، عایقی به ضخامت ۷۶ میلی‌متر از جنس الیاف معدنی برای این لوله مورد استفاده قرار گیرد، میزان تلفات انرژی حرارتی به ۳۷ وات ساعت به ازای هر متر لوله کاهش خواهد یافت. بدین ترتیب دمای سطح بیرونی عایق به ۲۳ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید.

تولید کنندگان عایق جدول‌هایی را تهیه نموده‌اند که محاسبات فوق را برای انواع پوشش‌های عایقی نشان می‌دهد. علت این اقدام به این جهت است که هر عایقی دارای مقاومت حرارتی متفاوت می‌باشد. اگر دسترسی به جدول‌های از پیش تهیه شده میسر نباشد در آن صورت باید از معادلاتی که در بخش‌های قبلی ارائه شد برای محاسبات استفاده گردد (در این رابطه مناسب است تا به جدول شماره (۴) رجوع شود).

پس از اتمام سلسله محاسبات می‌بایست نسبت به آنالیز اقتصادی اجرای عایق‌کاری اقدام نمود. این نوع محاسبات برای تعیین عایقی با ضخامت بهینه اقتصادی ضروری است. یکی از روش‌های اقتصادی نمودن عایق‌کاری، بهنگام سازی عایق‌ها از طریق بهینه‌سازی ضخامت عایق‌ها می‌باشد (به جدول شماره (۳) رجوع شود). ارقام این جدول

می‌بایست بعنوان راهنما در نظر گرفته شوند. در پاره‌ای از موارد جداول مزبور ممکن است فاقد کاربرد باشند و لذا باید مستقیماً محاسبات مورد نیاز انجام شود.

۲-۷-۳- انتخاب عایق بر اساس منابع مالی

بطور کلی لوله‌ها عمده‌ترین منبع تلفات حرارتی در سیستم‌های مکانیکی گرم به شمار می‌آیند. در صورت مواجهه با کمبود منابع مالی، مناسب است تا عملیات عایق‌کاری در سطوحی صورت پذیرد که بیشترین تلفات حرارتی را در بردارند. در اولین گام پیشنهاد می‌گردد تا حداقل ضخامت پوشش عایق معادل ۲۵ میلی‌متر در نظر گرفته شود تا بیشترین بهینه‌سازی در کاهش مصرف انرژی حاصل گردد. گرچه این ضخامت شاید در حد مطلوب نباشد، ولی موجب صرفه‌جویی‌های هنگفتی خواهد شد. معمولاً استفاده از عایقی با ضخامت یاد شده باعث می‌شود تا بتوان از منابع مالی سالانه که برای حفظ و نگهداری تجهیزات در نظر گرفته شده است استفاده کرد. البته ذکر این نکته حائز اهمیت است که هزینه نصب عایق ۲۵ میلی‌متری و عایق‌های ضخیم‌تر تقریباً یکسان است.

۲-۷-۴- ضخامت بهینه عایق

اصولاً عایق‌کاری بعنوان سرمایه‌گذاری دراز مدت شناخته شده است که مدت بازگشت سرمایه‌گذاری اولیه نسبتاً کوتاهی دارد. جهت انتخاب ضخامت عایق از نقطه نظر اقتصادی می‌توان از انواع برنامه‌های کامپیوتری بهره گرفت. کاربر می‌تواند با استفاده از برنامه‌های کامپیوتری بهترین ضخامت عایق را با کمترین هزینه انتخاب نماید. به هر حال نکات زیر را باید در رابطه با میزان سرمایه‌گذاری و ضخامت عایق در نظر گرفت.

- ارزیابی انواع مواد عایق‌کاری همراه با عملکرد حرارتی و هزینه‌های آن
- انتخاب بهترین ضخامت عایق با توجه به نوع و جنس عایق

به هر حال مسائل اقتصادی بعنوان معیار اصلی در انتخاب و تعیین نوع و ضخامت عایق به شمار می‌آید. بدون شک انتخاب عایق‌های بسیار ضخیم و بیش از حد مطلوب،

موجب می‌شود تا زمان بازگشت سرمایه افزایش یابد. نوع عایق و تا حدودی ضخامت آن در هزینه‌های نصب تأثیر گذار می‌باشند. معمولاً عایق‌کاری باید در چندین لایه صورت پذیرد چرا که عایق‌های ضخیم بصورت تک لایه تولید نمی‌شوند. بنابراین نصب چند لایه عایق بر روی یکدیگر موجب افزایش هزینه‌های نصب خواهد شد. در شکل شماره (۲) هزینه نصب عایق‌های چند لایه‌ای ارائه شده است. مشاهده می‌شود که شیب منحنی هزینه‌ها در اثر بکارگیری عایق‌های چند لایه‌ای افزایش می‌یابد. این افزایش ناشی از نیروی کار بیشتر و هزینه‌های مواد عایق‌کاری می‌باشد.

شکل ۲ - تعیین ضخامت بهینه عایق

برای درک مطالب فوق‌الذکر فرآیندی را در سطح صاف در نظر بگیرید که دمای سیال در آن ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد و دمای محیط ۲۰ درجه سانتی‌گراد است. محاسبات اتلاف حرارت برای عایق‌های ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌متر از نوع پشم شیشه با چگالی ۲۴ کیلوگرم بر متر مکعب به شرح زیر است:

دمای فرآیند: ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد
دمای محیط: ۲۰ درجه سانتی‌گراد

اختلاف دمای فرآیند و دمای محیط: $150 - 20 = 130$ درجه سانتی‌گراد

هدایت حرارتی (K) در دمای ۹۳/۳ درجه سانتی‌گراد که نزدیکترین رقم به ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد است، بر اساس جدول شماره (۵) معادل $0.053 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$ می‌باشد.

مقاومت حرارتی (R) برای ضخامت‌های مختلف توسط معادله زیر قابل محاسبه است:

$$R = \frac{t}{k}$$

$$R_{\Delta_0} = \frac{0.050}{0.053} = 0.943$$

$$R_{\Delta_1} = \frac{0.075}{0.053} = 1.415$$

$$R_{\Delta_{100}} = \frac{0.100}{0.053} = 1.887$$

از آنجایی که سطح مورد نظر صاف است بنابراین مساحت سطح برای عایق‌کاری ثابت در نظر گرفته می‌شود. اکنون میزان اتلاف حرارت برای یک متر مربع در برابر هر یک از ضخامت‌های فوق‌الذکر به شرح زیر قابل محاسبه است:

$$\text{اتلاف حرارت در یک ساعت} = \frac{\Delta T \times A}{R}$$

$$\text{اتلاف حرارت (عایق ۵۰ میلی‌متری) در یک ساعت} = \frac{130 \times 1}{0/943}$$

$$= ۱۳۷/۸۶ \text{ Wh}$$

$$\text{اتلاف حرارت (عایق ۷۵ میلی‌متری) در یک ساعت} = \frac{130 \times 1}{1/415}$$

$$= ۹۱/۸۷ \text{ Wh}$$

$$\text{اتلاف حرارت (عایق ۱۰۰ میلی‌متری) در یک ساعت} = \frac{130 \times 1}{1/887}$$

$$= ۶۸/۸۹ \text{ Wh}$$

با استفاده از جدول شماره (۲) مشخص می‌شود که میزان اتلاف حرارتی از یک متر مربع از سطح مورد نظر بدون آنکه عایق‌کاری شده باشد، معادل ۲۱۰۰ وات ساعت به ازای متر مربع است. ارقام فوق‌الذکر را می‌توان بر روی نمودار شماره ۳ علامت گذاری نمود که در حقیقت از کنار هم گذاشتن ضخامت عایق و اتلاف حرارت نهایتاً منحنی اتلاف حرارت بدست می‌آید.

با دانستن ارزش انرژی حرارتی می‌توان ارزش اتلاف انرژی حرارتی را با بکارگیری عایق در ضخامت‌های مختلف از طریق فرمول زیر محاسبه نمود :

تعداد ساعات در سال $\times$ اتلاف انرژی در واحد سطح $\times$ کل سطح = کل اتلاف انرژی

$$(Wh/yr) = (m^2) \times (W/m^2) \times (hr/yr)$$

موارد فوق‌الذکر به نوعی در شکل شماره (۴) نشان داده شده است.

شکل ۴ - هزینه اتلاف انرژی در مقایسه با ضخامت عایق

اینک می‌توان هزینه‌های نصب انواع عایق با ضخامت‌های متفاوت را از شکل شماره (۴) استخراج نمود و نهایتاً شکل شماره (۵) را ترسیم کرد. می‌توان شکل‌های شماره (۴) و (۵) را روی هم قرار داد که نهایتاً نموداری همانند شکل شماره (۲) بدست خواهد آمد. اگر منحنی‌های هزینه عایق‌کاری و صرفه‌جوئی در هزینه انرژی، در کنار هم ترسیم شوند در آن صورت می‌توان اقتصادی‌ترین ضخامت عایق را از روی نمودار مشخص نمود. در واقع در چنین ضخامتی صرفه‌جوئی قابل قبولی با مناسب‌ترین حد سرمایه‌گذاری انجام می‌پذیرد که به آن نقطه ضخامت بهینه اقتصادی عایق اطلاق می‌گردد.

۲-۸- مدیریت انرژی

۲-۸-۱- ممیزی انرژی

فرآیند ممیزی انرژی مستلزم مشخص نمودن تمامی سطوحی است که در آن به علت عدم انجام عایق کاری و یا کافی نبودن مقدار عایق، امکان اتلاف انرژی در آنها وجود داشته باشد. ممیزی ممکن است شامل تمامی بخش‌های فرآیند و یا تنها متمرکز روی یک بخش خاص از تجهیزات فرآیند و یا سیستم لوله کشی باشد.

۲-۸-۱-۱- ممیزی اجمالی^۱

اقدام اولیه، انجام ممیزی اجمالی است که با بازدید و بررسی در محل و جستجوی علائم بارز تلفات انرژی صورت می‌گیرد. عموماً ممیزی اجمالی باید توسط فردی هدایت شود که نه تنها نسبت به عملکرد فرآیند، بلکه نسبت به هر دو موضوع عایق کاری فرآیند و اعمال مدیریت انرژی آگاهی کامل داشته باشد.

از جمله مواردی که باید در حین انجام ممیزی اجمالی مد نظر قرار گیرد، می‌توان به: کنترل عدم انجام عایق کاری یا عایق کاری خراب و معیوب، بازرسی سطوح گرم و سرد، خراب یا فاسد بودن پوشش و یا آستر نهایی عایق‌ها، عدم وجود و یا معیوب بودن لایه بخار بند، فواصل بین عایق‌های اتصالات و درزهای انبساط و انقباض، تشعشع حرارتی زیاد از سطوح عایق کاری شده و سایر موارد مشابه اشاره نمود.

۲-۸-۱-۲- ممیزی تشخیصی دقیق^۲

به محض اینکه موارد فوق‌الذکر در مرحله انجام ممیزی اجمالی مشخص گردید، به منظور برآورد میزان تلفات انرژی موجود نیاز به انجام ممیزی دقیق می‌باشد. در نتیجه این کار مشخص می‌گردد که با انجام عایق کاری و یا اضافه نمودن ضخامت عایق‌های موجود چه میزان از تلفات انرژی کاهش خواهد یافت. در این مرحله مقدار پوشش عایق، نوع عایق و هزینه‌های اجرا و نصب عایق‌ها و در نهایت کاهش مصرف انرژی مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

1- Walk Through Audit

2- Diagnostic Detail Audit

با این اطلاعات زمان ساده بازگشت سرمایه^۱ محاسبه شده و توجیه اقتصادی اجرای عایق‌کاری قابل ارزیابی خواهد بود.

۲-۸-۲- فرصت‌های مدیریت انرژی^۲

فرصت‌های اعمال مدیریت انرژی را می‌توان به سه گروه تقسیم بندی نمود:

- نگهداری مناسب (Good Houskeeping) - مطابق با یک اقدام اصولی مدیریت انرژی، تعمیرات و نگهداری مناسب ترجیحاً باید یکبار در سال به شکل منظم انجام گیرد، مثل انجام تعمیرات دوره‌ای در مورد پوشش‌های عایق حرارتی معیوب.
 - اقدامات کم هزینه (Low Cost Measures) - در مرحله بعد از تعمیرات و نگهداری مناسب دوره‌ای پیشنهاد می‌گردد تا انجام کارهای کم هزینه مد نظر قرار گیرد، از آن جمله می‌توان به عایق‌کاری شیرآلات و اتصالات، فلنچ‌ها و همچنین تعویض عایق‌های معیوب اشاره نمود.
 - اقدامات پر هزینه یا انجام تغییرات اساسی (Retrofitting) - بعد از انجام مراحل بالا، پیشنهاد می‌گردد تا تغییرات اساسی که عمده‌تاً نیازمند سرمایه‌گذاری و هزینه بیشتری است، مورد توجه قرار گیرد. از جمله این موارد می‌توان به انجام عایق‌کاری گسترده لوله‌ها، کانال‌ها، مخازن، منابع و حتی بهبود و ارتقاء کیفی عایق‌های موجود با افزایش ضخامت عایق و یا با استفاده از مواد عایق حرارتی بهتر اشاره نمود.
- باید توجه داشت که تفاوت عمده بین انجام اقدامات کم هزینه در مقابل تغییرات اساسی و زیربنایی معمولاً منوط به ابعاد و نوع فعالیت‌ها، سیاست مالی سازمان و بودجه اجرای هر یک از موارد مربوطه، خواهد بود.
- مدیریت انرژی با جزئیات بیشتر در بخش ۴ کتاب مورد بحث قرار گرفته است.

1- Simple Payback Time

2- Energy Management Opportunities

۳- خصوصیات مواد عایق

۳-۱- انواع و شکل‌های عایق

مشخصات انواع و شکل‌های مختلف عایق‌ها ذیلاً بیان گردیده است. نوع این مواد به مشخصه ترکیبات و ساختار مواد تشکیل دهنده عایق بستگی دارد، در حالیکه شکل این مواد به نوع کاربرد و یا قالب کلی آنها دلالت می‌نماید. انواع این مواد عموماً به سه گروه تقسیم می‌شوند:

عایق فیبری یا الیافی :

این مواد از الیاف فیبری با قطر کوچک تشکیل شده است که بصورت ذرات ریز در هوا معلق می‌باشد. الیاف فیبری یا بطور موازی و یا بصورت ذرات مجزا و در هم آمیخته درکنار هم قرار می‌گیرند. پشم سنگ، پشم شیشه، پشم سرپاره و الیاف سیلیکات آلومینیوم از این نوع هستند. پشم‌های معدنی (پشم سنگ یا سرپاره) و ذرات سیلیس (شیشه) به مقدار زیادی در این نوع عایق‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

عایق سلولی (سلولزی):

این نوع عایق از سلول‌های کوچک منفرد و جدا از هم تشکیل شده است. جنس این سلول‌ها از ذرات شیشه‌ای و یا اسفنج‌های پلاستیکی مانند پلی استایرن، پلی اورتان و الاستومرها می‌باشد.

عایق دانه پودری (گرانول):

این نوع عایق از دانه‌های کوچک با فضا‌های متخلخل و سوراخ دار تشکیل شده است. فرض انتشار مواد دانه پودری در فضا مانند گاز، فرض نادرستی است، این نوع عایق به شکل مواد قابل پاشش تهیه شده و در ضمن امکان استفاده از این مواد با ترکیبی از الیاف فیبری بعنوان عایق یکپارچه صلب وجود دارد. از این نوع عایق شکل‌های متنوعی برای موارد کاربرد خاص تهیه شده است. نوع، شکل و ترکیبات مواد عایق با توجه به روش ویژه و خاص عایق‌کاری مورد نظر، تعیین می‌گردد.

شکل‌های رایج موارد استفاده از این عایق به شرح زیر می‌باشد:

- تخته‌های یکپارچه صلب، بلوک، صفحات و شکل‌های خاص (مانند پوشش لوله‌ای، قطعات منحنی) معمولاً عایق‌های سلولزی و دانه‌ای در اشکال فوق تهیه می‌گردد.
- صفحات قابل انعطاف و اشکال پیش ساخته، معمولاً عایق‌های سلولزی و الیاف فیبری در شکل‌های فوق تهیه می‌شود.
- سیمانی شکل، معمولاً این نوع شکل با عایق الیاف فیبری و نوع دانه‌ای گرانول تهیه می‌گردد.
- شکل پتویی انعطاف پذیر، معمولاً عایق‌های الیاف فیبری به شکل قابل انعطاف پتویی تهیه می‌گردد.

۳-۲- متداول‌ترین مواد عایق

- فهرست کلی مشخصات و خواص فیزیکی متداول‌ترین مواد عایق مورد استفاده در صنایع و تأسیسات به شرح زیر می‌باشد :
- سیلیکات کلسیم - یک نوع عایق دانه‌ای ساخته شده از آهک و تقویت شده توسط ذرات سیلیکا با ساختار یکپارچه و صلب به همراه مواد معدنی آلی.

محدوده دمایی این نوع عایق‌ها بین 38°C (100°F) تا 982°C (1800°F) است. این نوع عایق ضمن اینکه مقاومت مناسبی در مقابل هر نوع تغییر شکل داشته و جاذب آب می‌باشد، به سرعت نیز خشک می‌شود و در نتیجه فاسد نمی‌شود. این ماده قابل اشتعال نبوده و اساساً برای سطوح و لوله‌های داغ مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- **سلولزی الاستومری** – عایقی است با ساختار متشکل از الاستومرهای طبیعی، مصنوعی و یا هر دو، که به شکل‌های انعطاف پذیر، نیمه صلب و یا فوم یکپارچه صلب با ساختار سلول بسته قابل تهیه می‌باشد. این نوع عایق برای محدوده‌های دمایی بالای 104°C (221°F) قابل استفاده است.
 - **سلولزی شیشه‌ای** – این نوع عایق به شکل تخته‌ای و پوشش روی لوله و سایر اشکال ساخته می‌شود. (مانند پلی استایرن و پلی اورتان) محدوده دمایی آن بین 40°C (40°F) تا 482°C (900°F) می‌باشد. این ماده در دماهای پائین هدایت حرارتی کمی داشته. مقاومت سایش آن کم و در مقابل خوردگی نیز مقاوم است. قابلیت جذب صوت از مشخصات ویژه این نوع عایق می‌باشد.
 - **الیاف شیشه (پشم شیشه)** – در شکل‌های متنوع و مختلفی ساخته شده است. از آن جمله به شکل عایق پتویی قابل انعطاف، صفحات نیمه صلب و یکپارچه صلب و پوشش‌های پتویی و لوله‌ای قابل تهیه می‌باشد. محدوده دمایی آن بین 73°C (110°F) تا 538°C (1000°F) بوده که بستگی به ساختار فیزیکی این نوع عایق دارد.
- الیاف این نوع مواد با حرارت به یکدیگر دوخته و متصل شده‌اند، ضریب هدایت حرارتی آن پائین بوده و براحتی قابل برش می‌باشد، خاصیت ارتجاعی الیاف شیشه‌ای بالا بوده، در حالیکه در مقابل ضربه مقاومت کمی دارد. هزینه‌های نصب و اجرای آن کم می‌باشد. قابلیت خوب جذب صوت از مشخصات ویژه این نوع عایق می‌باشد.

- فوم یا اسفنج پلاستیکی (پلاستوفوم) - این نوع عایق از مواد یکپارچه به شکل سلول بسته ساخته شده است. میزان هدایت حرارتی این عایق‌ها ممکن است در مدت زمان بهره‌برداری (افزایش طول عمر) به علت نفوذ هوا در بین سلول‌های آنها، افزایش پیدا کند. فوم‌های پلاستیکی سبک بوده و به راحتی بریده می‌شود. مواد تشکیل دهنده این نوع عایق قابل اشتعال بوده، اما در صورت اشتعال، شعله در خود عایق خاموش شده و توسعه نمی‌یابد. این نوع عایق به شکل‌های پیش ساخته و تخته‌ای قابل دسترس می‌باشد. اسفنج‌های پلاستیکی عموماً در محدوده دمای پائین و متوسط مورد استفاده قرار می‌گیرند.
 - عایق‌های سیمانی - این نوع عایق از مخلوط الیاف فیبری و مواد مختلف عایق با آب و همچنین نوع خاصی از سیمان^۱ ساخته شده است. این نوع عایق به شکل اجسام پلاستیکی نرم برای استفاده در سطوح نامنظم کاربرد دارد. هزینه نصب و اجرای این نوع عایق‌ها زیاد بوده و معمولاً به شکل کالای نمایشی تولید می‌شود. بکارگیری عایق‌های سیمانی برای سطوح دما بالا مناسب می‌باشد.
 - الیاف معدنی یا پشم‌های معدنی - این نوع عایق از به هم دوختن الیاف سنگ یا سرباره به یکدیگر بوسیله حرارت تهیه می‌گردد. حداکثر دمای قابل استفاده از این عایق‌ها 982°C (1800°F) بوده و مواد آن غیر قابل اشتعال می‌باشد. (پشم سنگ و پشم سرباره از این نوع عایق می‌باشد).
- عایق نوع الیاف معدنی به شکل پیش ساخته و پتویی انعطاف پذیر، قابل دسترس می‌باشد و عمدتاً در محدوده‌های دمایی بالا و متوسط قابل استفاده است.

۱ - انواع سیمان با توجه به خواص فیزیکی مختلف به ۵ نوع تقسیم‌بندی می‌شوند، البته سیمان نوع Porcelain نیز وجود دارد. در اینجا منظور نوع خاصی از سیمان است که خاصیت عایقی حرارتی بالایی دارد.

- عایق الیاف نسوز – این نوع عایق از مواد معدنی و الیاف سرامیکی همراه با ذرات سیلیکا و اکسید آلومینیوم که در دمای بالا به هم دوخته شده‌اند، ساخته شده است. این نوع عایق به شکل پتویی و یا به شکل آجری یکپارچه ساخته می‌شود. این نوع عایق در مقابل شوک‌های حرارتی مقاوم بوده و تحمل دماهای بسیار بالا را دارد. و همچنین غیر قابل اشتعال می‌باشد.
- اطلاعات اکثر مواد عایق مرسوم و متعارف در جدول شماره (۶) بطور مختصر نشان داده شده است.

۳-۳- رعایت اصول عایق کاری

زمانی که یک شخص یا صاحب‌کار در نظر دارد سیستم‌های مکانیکی و یا تجهیزات خود را عایق کاری نماید، لازم است که به انتخاب روش مناسب و رعایت اصول عایق کاری توجه داشته باشد، این موضوع با توجه به سه مورد زیر امکان پذیر می‌باشد:

- مواد عایق
- پوشش و روکش محافظ نهایی
- تجهیزات ایمنی، استحکام و سختی لازم، درجه تحمل، کیفیت درزبندی و نفوذ پذیری عایق و روکش محافظ. سازگاری هر یک از اجزاء فوق باید به منظور انجام یک سیستم عایق کاری صحیح و مناسب مورد توجه قرار گیرند.

۳-۳-۱- پوشش‌های حفاظتی و پرداخت نهایی

همانطور که در بخش مقدمه به موضوع حفظ راندمان و کارایی عایق‌ها اشاره شد، حفظ کیفیت عایق مستقیماً منوط به محافظت آن در مقابل نفوذ رطوبت و یا صدمات شیمیایی و مکانیکی است. انتخاب روکش و پوشش محافظ بر اساس شرایط محیطی مانند دما و رطوبت، اثرات شیمیایی و مکانیکی در هنگام نصب بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

پوشش‌های محافظ از نظر کاربردی به شش نوع تقسیم بندی می‌شوند:

۳-۱-۳-۲ پوشش محافظ در برابر اثرات اقلیمی

اساس کار این نوع پوشش‌ها محافظت در مقابل نفوذ آب می‌باشد. در صورت نفوذ آب به داخل عایق، کارایی عایق بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد یافت. لذا برای جلوگیری از این امر بکارگیری پوشش محافظ فلزی یا پلاستیکی و یا روکش محافظ مانند ماستیک (جدول ۷) بسیار مناسب می‌باشد. روکش فوق باید بطور کامل از نفوذ آب جلوگیری کند. از استفاده از روکش پلاستیکی با مقاومت کم در برابر اشعه ماوراء بنفش باید اجتناب نمود، مگر آنکه محافظت‌های لازم انجام گرفته باشد.

۳-۱-۳-۲ بخار بندها

بخار بندها برای جلوگیری از نفوذ و عبور بخار آب موجود در هوا به لایه‌ها و سطوح عایق طراحی شده است (جدول شماره ۱). اتصالات و فصل مشترک‌های سطوح باید در مقابل نفوذ بخار بوسیله چسب‌های مخصوص آب‌بندی، محکم کاری و درزبندی شود. برای دریافت جزئیات اطلاعات مربوط به انواع بخاربندها و مشخصات هر یک به جدول شماره (۸) رجوع نمایید.

بخار بندها در سه شکل قابل دستیابی می‌باشند:

- روکش یکپارچه (Rigid Jacketing) - ساخته شده از پلاستیک تقویت شده، آلومینیوم یا فولاد ضد زنگ با ابعاد دقیق و چسب آب‌بندی نفوذ بخار آب.
- روپوش پوستی (Membrane Jacketing) - ورق‌های فلزی، ورقه‌های چند لایه و روکش‌های کاغذی که عموماً توسط کارخانه سازنده عایق روی مواد عایق کشیده شده است. ممکن است در شرایطی به روکش ضد بخار علاوه بر این نیز، نیاز باشد که بستگی به شرایط دما و رطوبت محیط دارد.
- کاربردهای ماستیک (Mastic Applications) - از انواع حلال‌ها یا شیره محلول به شکل یکپارچه تهیه شده و برای خشک شدن نیاز به زمان دارد.

۳-۳-۱- پوشش‌های مقاوم مکانیکی

این پوشش‌ها روکش‌های فلزی بسیار مقاوم در برابر صدمات مکانیکی وارده از سوی افراد، تجهیزات و ماشین‌آلات می‌باشند. مقاومت فشاری مواد عایق نیز در برابر صدمات مکانیکی باید مورد نظر، سنجش و ارزیابی قرار گیرد.

۳-۳-۱-۴ پوشش‌های مقاوم در برابر خوردگی و انتشار شعله آتش

در مواردی که حفاظت سطوح در برابر مخاطرات آتش سوزی حائز اهمیت باشد، مواد عایق و نوع پوشش‌های محافظ مورد استفاده، باید دارای لایه‌های مرکبی با خواص مورد نظر باشند. در این شرایط، اغلب پوشش‌ها و خمیرهای ماستیک باید مطابق با استانداردهای آتش سوزی، نرخ قابلیت انتشار شعله^۱ کمتر از ۲۵ داشته باشند. این نوع اطلاعات معمولاً توسط سازندگان این مواد ارائه شده است. مقاومت در برابر خوردگی^۲ نیز، بین مواد پوشش فلزی و پلاستیکی متغیر می‌باشد. پوشش‌های فلزی و فولاد ضد زنگ مناسب‌ترین و بهترین نوع مواد مقاوم در برابر خوردگی و ایجاد سوراخ و در نتیجه نشتی هستند. خمیر ماستیک هم عموماً مقاومت خوبی در مقابل خوردگی از خود نشان می‌دهد.

۳-۳-۱-۵ پوشش‌های ظاهری و پرداخت نهایی

طیف متنوعی از این نوع پوشش‌ها، که اغلب در مرحله نهایی بعنوان لایه محافظ عایق‌ها و سطوح عایق شده، نصب می‌گردند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. بطور نمونه برای لوله‌های عایق کاری شده، خمیر ماستیک بعنوان لایه پوشش ظاهری و پرداخت نهایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بعد از خشک شدن این لایه می‌توان، برای تشخیص بهتر نوع سیال داخل لوله، مانند آبگرم و سرد، لوله‌ها را رنگ آمیزی کرد.

-
- 1- Flame Spread Rating
 - 2- Corrosion Resistance

۳-۳-۱-۶- پوشش‌های بهداشتی

این نوع پوشش‌ها به جهت جلوگیری از رشد قارچ و باکتری روی سطح لوله و عایق بکار گرفته می‌شوند. این موضوع بخصوص در فرآیندهای تولید محصولات غذایی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. همچنین لوله‌های بخار داغ یا آب با فشار بالا نیز نیازمند به پوشش‌های مقاوم در برابر صدمات مکانیکی و شوک‌های حرارتی هستند (بطور مثال، در این گونه موارد از پوشش‌های پلاستیکی و یا فلزی استفاده می‌شود).

۳-۳-۲- خواص پوشش‌های محافظ

برخی از خواص و مشخصات بارز مربوط به پوشش‌های محافظ و مواد ماستیک به شرح زیر قابل ملاحظه می‌باشد:

۳-۳-۲-۱- سازگاری

خواص پوشش‌های محافظ باید با مواد عایق سازگاری کامل داشته و در مقابل عناصر محیطی مانند مواد شیمیایی، صنعتی، نمک موجود در هوا، اشعهٔ ماوراء بنفش و مادون قرمز، مقاومت خوبی از خود نشان دهند.

۳-۳-۲-۲- مقاومت در برابر تغییر طول‌های داخلی و خارجی

مسأله مهم و اساسی در مورد پوشش‌های عایق، تحمل این مواد در مقابل انقباض و انقباض طولی در اثر تغییرات درجه حرارت می‌باشد. و همچنین مقاومت این مواد در مقابل ارتعاشات سیستم نیز باید همواره مد نظر قرار گیرد.

۳-۳-۲-۳- محدودهٔ دمایی

خواص و مشخصات پوشش‌های عایق باید متناسب با شرایط عملکرد و محدوده‌های کاری درجه حرارت سطوح عایقی، مد نظر قرار گیرد.

۳-۳-۲-۴- نفوذ پذیری بخار آب

پوشش‌های عایق باید کمترین نفوذ پذیری را در مقابل بخار آب داشته و سد و مانع مناسبی در مقابل نفوذ و عبور بخار آب و رطوبت به داخل عایق را ایجاد نمایند. لازم به ذکر است برای موارد کاربرد این نوع پوشش‌ها در درجه حرارت‌های بالا، مشخصات این نوع پوشش باید به گونه‌ای باشد که به خروج و تخلیه بخار آب تشکیل شده در سطح داغ لوله به محیط کمک نماید.

۳-۳-۳- لوازم جانبی

متناسب با برخی نیازها و کاربردهای خاص، یک یا دو مورد از موارد اشاره شده در زیر به عنوان لوازم جانبی به مواد عایق افزوده می‌شود.

- ایمنی عایق و پوشش محافظ
 - تقویت ساختار عایق برای کاربردهای جنس سیمانی یا خمیر ماستیک
 - محکم کردن اطراف سازه عایق‌های با وزن زیاد و یا دانسیته بالا
 - حفظ و نگهداری (لوله‌ها، مخازن و خود عایق)
 - آب بندی و درزبندی
 - حفاظت در برابر ریزش آب باران
 - جبران انقباض و انبساط حرارتی لوله‌ها و مخازن
- بکارگیری نامناسب و غیر متعارف لوازم جانبی به غیر از نیاز در موارد اشاره شده، می‌تواند به عنوان یک عامل مهم در عملکرد نادرست سیستم‌های عایق‌کاری تلقی شده و به عبارتی یک نقص و عیب بارز محسوب شود.

۳-۳-۴- ایمنی و حفاظت

عایق دارای یک ساختار محکم و استوار نیست، لذا باید توسط ساختارهای نگهدارنده، تقویت و حفاظت و در محل مورد استفاده محکم شود. لایه محافظ باید با نوع مواد پوشش و عایق کاملاً سازگار باشد. از جمله لوازم محافظ عایق‌ها و پوشش‌ها به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

- پیچ‌ها و پرچ‌های جوش کاری شده
 - مفتول‌های سیمی
 - گیره‌های مخصوص
 - تسمه‌های فلزی و سیمی
 - پوشاندن پوشش‌های خارجی بوسیلهٔ مواد خود چسب یکپارچه
 - چسب‌های مخصوص
- از آنجایی که درجهٔ حرارت و رطوبت محیط تأثیر بسزایی بر میزان چسبندگی مواد محافظ روی عایق دارد، حتماً باید محدودهٔ درجه حرارت و مشخصات نفوذپذیری بخار در مورد مواد عایق، قبل از مرحلهٔ نصب و استفاده از این مواد، مد نظر قرار گیرد.

۳-۳-۵- تقویت ساختار عایق‌ها

- جهت تقویت مقاومت مکانیکی ساختار عایق‌های مورد استفاده برای جنس سیمانی و خمیر ماستیک رعایت موارد زیر قابل ملاحظه می‌باشد:
- استفاده از پارچه‌های جنس کرباس
 - استفاده از الیاف ساخته شده از پشم شیشه
 - استفاده از تخته‌های فلزی گسترده
 - استفاده از شبکه‌های فلزی
 - استفاده از تورهای سیمی (تور مرغی)
- لازم به ذکر است که موارد فوق باید در مقابل خوردگی نیز مقاوم باشند.

۳-۳-۶- پاشی آب

- پوشش‌های محافظ در برابر پاشش یا ریزش مستقیم آب بر روی عایق، غالباً می‌تواند از جنس فلز یا پلاستیک باشد.

۳-۳-۷- استحکام

تخته‌های فلزی و تورهای سیمی قبل از عایق‌کاری بعنوان ساختار مناسب نگهدارنده عایق‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۳-۸- قطعات نگهدارنده عایق

مشخصه اصلی نگهدارنده‌ها، دارا بودن حداقل میزان انتقال حرارت و تلفات در نقاط مورد استفاده است، زیرا این نوع نگهدارنده‌ها نباید به شکل پل حرارتی^۱ عمل نموده و باعث اتلاف حرارت شوند. ذیل به برخی از این نوع نگهدارنده‌ها اشاره شده است:

- بکارگیری عایق‌های با دانسیته بالا به جهت حفاظت از نقاط نگهدارنده
- بکارگیری صفحات سیرفلزی برای حفاظت عایق‌ها
- بکارگیری بلوک‌های کوچک چوبی

۳-۳-۹- آب‌بندی و درزبندی

طیف گسترده‌ای از محصولات قابل استفاده جهت آب‌بندی و درزبندی پوشش‌های عایق در محل اتصالات و برآمدگی‌ها و همچنین در مقابل نفوذ بخار آب و صدمات محیطی موجود می‌باشد.

این نوع محصولات برای محدوده وسیعی از تحمل درجه حرارت و نفوذ پذیری بخار آب تولید می‌شوند. بعضی از این مواد برای موارد استفاده خاص توسط کارخانه سازنده طراحی و ساخته می‌شوند.

۳-۳-۱۰- جبران انقباض و انبساط حرارتی

این نوع لوازم جانبی به جهت جلوگیری و جبران انقباض و انبساط حرارتی با مشخصات زیر طراحی شده‌اند:

- ساخته شده از اتصالات لغزشی و قابل انبساط و همپوشانی

1- Thermal Bridges

- ساخته شده از اجزاء انعطاف پذیر

۳-۴- کاربردهای عمومی و متعارف

در این بخش کاربردهای نمونه و روش‌های تجربه شده متعارف در صنعت عایق مورد بحث قرار می‌گیرد. این تنها شامل بیان روش‌های نصب عایق و عایق‌کاری نیست، بلکه بطور مثال دیدگاه‌های متفاوت نسبت به انواع عایق‌ها و ضخامت‌های مختلف مورد توجه قرار گرفته است، چرا که عامل وزن و دانسیته عایق بسیار تعیین کننده است. از طرفی درجه حرارت هم نقش بسیار اساسی در تصمیم‌گیری، نسبت به انتخاب و کاربرد روش مناسب عایق‌کاری خواهد داشت.

در نظر داشتن نوع پوشش لوله‌ها نیز عموماً بخش مهمی از تعیین سیستم مکانیکی عایق است. در این بخش ضمن بیان انواع روش‌های عایق‌کاری لوله‌ها، عایق‌کاری کانال‌ها، مخازن و منابع نیز نشان داده شده است.

۳-۴-۱- ساختار مرکب و چند لایه

گاهی استفاده از ساختار مرکب و چند لایه در عایق‌ها بسیار مؤثرتر از استفاده از یک لایه عایق با همان ضخامت می‌باشد. بکارگیری این روش امکان مناسبی نیز برای جبران انقباض و انبساط طولی لوله‌ها در نقاط با درجه حرارت و شوک حرارتی بالا را ایجاد می‌نماید.

بکارگیری عایق‌های مرکب و چند لایه روی اتصالات و پل‌های حرارتی باعث کاهش تلفات حرارت و در نتیجه ایجاد وضعیت بهتر و کارآتر و افزایش راندمان عایقی می‌گردد. همچنین یکی از کاربردهای مناسب این روش، در محل‌هایی است که نیاز به کاهش ضخامت عایق‌کاری باشد. در مرحله بازسازی و تعویض عایق‌های موجود نیز، این نوع عایق‌ها جایگزین مناسبی تلقی می‌گردند.

نکته قابل توجه در مورد عایق‌کاری لوله، رعایت اندازه و ابعاد عایق منطبق با استانداردهای صنعت، به جهت بکارگیری دقیق‌تر و مناسب‌تر عایق‌های با ساختار مرکب و چند لایه است.

۳-۴-۲- عایق‌کاری لوله‌ها

به منظور محافظت عایق در برابر نفوذ بخار آب، از الیاف معدنی به عنوان مواد پوشش عایق روی لوله‌ها استفاده می‌گردد. کاربرد این نوع روکش‌ها برای درجه حرارت سرد و گرم بسیار مناسب می‌باشد. بدیهی است استفاده از این نوع پوشش‌ها به شرایط بهره‌برداری بستگی دارد (شکل ۶).

۱- لوله

۲- عایق

۳- برش طولی روکش محافظ (خودچسب یا با استفاده از چسب)

۴- برش طولی روکش محافظ (اتصال بوسیله منگنه پوشیده شده با ماستیک)

۵- نوار کلفت جهت ایجاد استحکام (خودچسب یا با استفاده از چسب)

۶- برش طولی روکش محافظ

۷- اتصال لب به لب بر روی روکش محافظ

۸- قبل از اجرای روکش محافظ، عایق بوسیله سیم و نوار در جای خود محکم می‌شود.

عموماً این پوشش‌ها با ورقه‌های فویل آلومینیومی یا کاغذ کرافت پوشیده و تقویت می‌گردند. در بعضی موارد، استفاده از لوازم جانبی جهت افزایش مقاومت سطح نهایی این پوشش‌ها مورد نیاز می‌باشد. روکش پوشش‌های نهایی در معرض دید غالباً به منظور ایجاد سطح ظاهری بهتر (سطوح صاف، صیقلی و تمیز) با پارچه کرباس پوشانده می‌شوند.

۳-۴-۳- روکش فلزی

روکش‌های فلزی عموماً برای محافظت عایق از صدمات مکانیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند (شکل ۷). این نوع روکش بخصوص برای موارد کاربردهای خارجی مفید می‌باشد. همچنین استفاده از این نوع روکش برای مقاومت در برابر آسیب‌های شیمیایی نیز امکان‌پذیر است. بطور مثال در محیط‌های با امکان ایجاد خوردگی زیاد، از روکش‌های جنس فولاد ضد زنگ بجای آلومینیوم استفاده می‌گردد.

۱- لوله

۲- عایق

۳- محکم کردن عایق بوسیله سیم و نوار در جای خود

۴- اتصال لب به لب جهت جلوگیری از نفوذ آب

۵- استفاده از پیچ و پرچ برای اطمینان بیشتر

۶- استفاده از نوارهای فلزی در اتصال لب به لب

۳-۴-۴- پوشش‌های الاستومری

این نوع پوشش‌ها غالباً برای لوله‌های با دمای سرد، مانند آب سرد سیستم‌های تبرید و تهویه مطبوع مورد استفاده قرار می‌گیرند (شکل ۸). این پوشش‌ها معمولاً به شکل یکپارچه برای قطرها و سائزهای مختلف لوله ساخته شده و براحتی در مراحل نصب روی لوله‌ها کشیده می‌شوند. این روکش‌ها قبل از نصب بریده شده و بوسیله چسب‌های مخصوص کاملاً به لوله متصل و درزبندی‌های لازم انجام می‌گیرد.

۱- لوله

۲- عایق

۳- استفاده از چسب در سطوح آستر

عایق و اتصال لب به لب

شکل ۸ - پوشش‌های عایقی انعطاف‌پذیر الاستومری

۳-۴-۵- عایق کاری اتصالات^۱

عایق کاری اتصالات یکی از اقدامات اساسی و مهم در سیستم‌های لوله‌کشی است (شکل ۹). عایق کاری زانویی‌ها در محل اتصال زانویی به لوله معمولاً به مورد اجرا گذاشته می‌شود. عموماً مواد مشابه با همان ضخامت عایق لوله‌ها برای انجام عایق کاری زانویی‌ها نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در بعضی موارد مانند اتصالات لوله‌ای با چند درجه آزادی^۲، ضخامت عایق مورد استفاده برای این نوع اتصالات بیشتر از ضخامت عایق دور لوله‌ها می‌باشد.

همچنین در این موارد می‌توان از عایق‌های پیش ساخته برای عایق کاری اتصالات استفاده نمود، چرا که نصب آنها به مراتب آسان‌تر می‌باشد. عایق کاری اتصالات نیز مانند لوله‌ها توسط پارچه و کرباس برای محافظت بهتر و ایجاد سطح ظاهری مناسب‌تر، انجام می‌پذیرد.

۱- لوله

۲- عایق

۳- برش زاویه‌ای پوشش لوله

۴- عایق الیاف پشم و شیشه

۵- سیم یا نوار محکم کننده

۶- روکش زانویی پیش ساخته که توسط نوار

فلزی محکم شده

۷ - پرداخت نهایی برای ایجاد سطح ظاهری

صاف

۸ - استفاده از پارچه کنفی بعنوان پوشش

نهایی

1 - Fitting Insulation

2- Victaulic Fitting

۳-۴-۶- عایق کاری با پی وی سی یا الیاف پشم و شیشه

نصب پوشش‌های عایقی از نوع PVC معمولاً برای سیستم‌های سرد و گرم قابل استفاده می‌باشد. در این صورت سطح نهایی کار با کیفیت و ظاهر بهتری ایجاد شده و در واقع نیازی به استفاده از کرباس نیست (شکل ۱۰). نصب این نوع عایق‌ها بسیار آسان بوده و در رنگ‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد (رنگ سفید کاربرد بیشتری دارد). در نتیجه سطح نهایی، ظاهری براق و با کیفیت مناسبی خواهد داشت.

مواد PVC ضمناً بعنوان روکش‌های محافظ لوله نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۱- لوله

۲- عایق

۳- بست حلقه‌ای

۴- الیاف پشم و شیشه که در اطراف زانویی

پیچیده شده

۵- پوشش PVC

۶- درپوش

۷- استفاده از چسب بخار بند در تمامی اتصالات

۸- نوار بخار بند

۳-۴-۷- عایق کاری فلنچ‌ها

عایق کاری فلنچ‌ها و اتصالات بوسیله تولیدات عایقی با سائزهای استاندارد، کار دشواری است. به همین دلیل برای عایق کاری این نوع مقاطع، بهتر است از عایق‌های نوع پتویی با لایه کرباس و یا روکش‌های PVC استفاده نمود (شکل ۱۱).

۱-لوله

۲-عایق

۳-نوار بخار بند

۴-الیاف پشم و شیشه در اطراف اتصالات

۵-استفاده از پوشش PVC بر روی عایق

شکل ۱۱ - سیستم عایق کاری اتصالات با PVC یا پشم و شیشه

۳-۴-۸- عایق‌های قابل تعویض

این نوع عایق بخصوص در مواردی که شیرآلات نیاز به تعمیرات دوره‌ای دارند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. عایق‌های قابل تعویض از مواد عایق مرسوم به اضافه روکش‌های

الیاف پشم شیشه ساخته می‌شوند و به روش نمونه نشان داده شده در شکل شماره (۱۲) قابل نصب و محکم کردن می‌باشند.

- ۱- شیر
- ۲- پوشش قابل تعویض
- ۳- دوخت ماشینی
- ۴- دوخت فلزی روی لبه‌ها
- ۵- پرچ
- ۶- دوخت سیمی بندکشی
- ۷- عایق لوله مجاور

شکل ۱۲ - عایق کاری قابل تعویض و استفاده مجدد برای شیرآلات

۳-۴-۹- عایق کاری کانال‌ها^۱

1 - Duct Insulation

کانال‌ها نیز بوسیلهٔ روکش‌های پتویی انعطاف پذیر، قابل عایق‌کاری می‌باشند و یا این که کانال‌ها را می‌توان بوسیلهٔ صفحات تخت صلب، مانند روش شکل شماره (۱۳) عایق‌کاری نمود.

علیرغم اینکه سیستم صفحات تخت عایقی، مقاومت بالاتری دارند، مشکلات مربوط به برش و نصب این نوع صفحات عایق، بخصوص اطراف اتصالات و در مقاطع تغییر جهت و راستای لوله‌ها، استفاده از این نوع صفحات عایقی را تقریباً غیر ممکن می‌سازد. در جاهایی هم که سیستم تخلیه بخار سطحی کانال‌های سرد و گرم مورد نیاز باشد، توجه به این نکته که باید کلیه اتصالات در مقاطع مختلف کانال‌ها، بوسیلهٔ چسب‌های مخصوص آب‌بندی شده و لایه بخار بند در نظر گرفته شود، حائز اهمیت می‌باشد.

- ۱- کانال مکعب مستطیل
- ۲- عایق پتویی
- ۳- اتصال لب به لب با استفاده از چسب منگنه
- ۴- نوار بخار بند در مقطع پاره شده
- ۵- استفاده از محکم کننده‌های مکانیکی

شکل ۱۳ - عایق‌کاری کانال بوسیلهٔ روکش پتویی از جنس پشم و شیشه

صفحات عایقی صلب با روکش‌های مخصوص تولید شده توسط کارخانجات سازنده، معمولاً به همراه چسب‌های مخصوص درزبندی زوایا و گوشه‌های اتصالات و سیستم بخاربند ارائه می‌گردند. همچنین در مورد عایق‌های پتویی نیز معمولاً چسب‌های مخصوص درزبندی و بخاربندی موجود می‌باشد.

۳-۴-۱۰- آستر داخل کانال‌ها

در مواقعی که مسیرهای داخلی کانال‌ها نیاز به عایق‌کاری دارد، آسترهای مخصوص بوسیلهٔ چسب و یا اتصالات مکانیکی تعبیه می‌گردد. مشخصات این نوع آسترها به سائز داخلی کانال‌ها و سرعت حرکت هوا در داخل آنها بستگی دارد (شکل ۱۴). کانال‌ها و اتصالات تبدیل و گوشه و زوایای کار توسط عایق درزبندی و در محل خود محکم می‌گردند.

- ۱- پوسته و بدنه
- ۲- آستر یا عایق تخته‌ای الیافی
- ۳- چسب
- ۴- محکم کنندهٔ مکانیکی
- ۵- اتصالات آببندی

شکل ۱۴ - نمونه آستر داخل کانال‌ها

۳-۴-۱۱ - عایق‌کاری منبع و مخزن

انتخاب و بکارگیری روش مناسب برای عایق‌کاری منابع و مخازن کاملاً به شرایط و مشخصات سیستم بستگی دارد. بطور مثال در شرایطی که انجام جوش‌کاری پیچ و پرچ روی بدنه مخازن و منابع مخاطره آمیز باشد، توصیه می‌شود تا برای رعایت نکات ایمنی از تسمه‌های فلزی جهت محکم کردن عایق روی بدنه مخازن و منابع استفاده نمود (شکل ۱۵). همچنین می‌توان از صفحات تخت صلب نیز برای عایق‌کاری منابع و مخازن استفاده کرد.

۱- دیواره مخزن

۲- عایق تخته‌ای

۳- نوارهای فولاد ضد زنگ

۴- استفاده از عایق سلولزی دربستر

۵- صفحات فلزی صاف یا موج‌دار

۶- کلاهک سر مخزن

۷- درزبندی اطراف اتصالات

شکل ۱۵ - عایق‌کاری بدنه منبع بوسیله صفحات تخت صلب و تسمه‌های فلزی

اگرچه معمولاً سازندگان عایق در مورد نحوه انتخاب نوع محصولات عایق، پیشنهاد مناسب را ارائه می‌نمایند، اما در عین حال رعایت بعضی نکات در مورد عایق‌کاری منابع و مخازن اهمیت دارد.

عایق‌های صلب جامد مانند سیلیکات کلسیم باید مطابق با زوایای انحنای منابع و مخازن نصب گردند.

عایق‌های الیاف معدنی مانند پشم شیشه و پشم سنگ نیز مطابق با شکل بدنه مخازن قابل نصب می‌باشند. در مکانهایی که منابع و مخازن در تماس با زمین قرار دارند، نوع مواد عایق مورد استفاده نباید جاذب رطوبت باشد، لذا بایستی اطراف محل اتصال و تماس مخزن با زمین کاملاً با مواد عایق مناسب پوشیده شود. در این گونه موارد استفاده از عایق‌های پشم شیشه پیشنهاد می‌گردد.

عایق‌کاری بیرونی مخازن و منابع به جهت حفاظت از عوامل طبیعی و محیطی، بهتر است بوسیله صفحات فلزی یا پانل‌های آلومینیومی که با استفاده از تسمه‌های عمودی و افقی به یکدیگر متصل شده‌اند، همراه با لایه محافظ در مقابل آب باران، انجام گیرد.

۳-۴-۱۲ - عایق‌کاری سقف منبع و مخزن

سقف مخازن یکی از منابع عمده اتلاف حرارت محسوب می‌گردند. لذا عایق‌کاری سقف منابع و مخازن یکی از مهمترین عوامل حفظ و پایداری درجه حرارت در فرآیندهای تولید است (شکل ۱۶). حفاظت مناسب و صحیح از عایق سقف منابع و مخازن نیز عامل مهم جلوگیری از تلفات حرارت می‌باشد. در ضمائم کتاب روش معمول عایق‌کاری سقف‌های صاف و افقی منابع نشان داده شده است.

در پایان این بخش ذکر این نکته ضروری است که به لحاظ ماهیت کیفی مهم، خطیر و بحرانی سیستم‌های عایق‌کاری پیشنهاد می‌گردد که این کار حتماً توسط پیمانکاران مجرب و خبره انجام پذیرد.

- ۱- عایق‌کاری درپوش
- ۲- سوپاپ شناور
- ۳- تسمه‌های فلزی محکم کننده عایق درپوش
- ۴- پوسته عایق
- ۵- حلقه‌های نگهدارنده عایق درپوش
- ۶- اتصال ۱" بین پوسته عایق و حلقه نگهدارنده
- ۷- برش عرضی از صفحات صاف فلزی جهت محافظت از عایق درپوش
- ۸- نوار دور درپوش
- ۹- پیچ اتصال نوار دور درپوش
- ۱۰- عایق با چگالی بالا برای تردد افراد روی درپوش مخزن
- ۱۱- ماستیک تقویت شده
- ۱۲- درزبندی و آببندی
- ۱۳- زه‌بندی
- ۱۴- استفاده از تیر آهن I جهت محکم کردن ساختار سقف

۴- اقدامات مدیریت انرژی

واژه "فرصت‌های مدیریت انرژی" نمایانگر روش‌های بهره‌برداری بهینه از انرژی و صرفه‌جویی در هزینه‌ها می‌باشد. در این بخش چند نمونه از فرصت‌های مدیریت انرژی شامل "حفظ و نگهداری تأسیسات"، "انجام اقدامات کم هزینه" و "بهبود و بازسازی سیستم" مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد و در این رابطه مثال‌هایی ارائه خواهد شد تا پتانسیل‌های صرفه‌جویی انرژی بهتر عنوان شوند. شایان ذکر است که موارد فوق تمامی فرصت‌های مدیریت انرژی را در بر نداشته و فقط بخش کوچکی را بیان می‌دارد. هدف اصلی از این چکیده بیان ایده‌هایی است که مدیریت و پرسنل تعمیر و نگهداری تأسیسات قادر باشند تا بنحو احسن از آنها بهره‌برداری نمایند و به صورت خود جوش بتوانند فرصت‌ها را تشخیص دهند. ذیلاً چند مورد از فرصت‌های مدیریت انرژی به همراه مثال‌هایی عملی در اختیار خوانندگان قرار می‌گیرد.

۴-۱- اقدامات حفظ و نگهداری تأسیسات

واژه فرصت‌های حفظ و نگهداری تأسیسات به عملیاتی اطلاق می‌گردد که بصورت مستمر و منظم و حداقل سالی یک بار صورت پذیرد. موارد زیر عمده‌ترین عملیات در رابطه با فرصت‌های حفظ و نگهداری تأسیسات به شمار می‌آیند:

- الف - تعمیر و یا بازسازی عایق‌های آسیب دیده
- ب - تعمیر و یا بازسازی پوشش‌ها و پرداخت‌های نهایی

ج- رعایت الزامات ایمنی

۴-۱-۱- نمونه‌هایی از حفظ و نگهداری تأسیسات

۴-۱-۱-۱- تعمیر و یا بازسازی عایق‌های آسیب دیده

در خلال ممیزی اجمالی فرآیند یک سیستم مشخص گردید که عایق لوله ده متری از نوع NP S4 صدمه دیده و بطور کامل از لوله جدا شده است. حرارت سیال داخل این لوله معادل ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و دمای محیط ۱۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. ضخامت عایق قدیمی بر روی این لوله ۷۶ میلی‌متر و از نوع پشم شیشه بوده است. برای تعیین اتلاف حرارتی از لوله مورد نظر ابتدا هنگامی که لوله دارای عایق بوده و سپس بعد از صدمه دیدن عایق آن، ممیزی دقیق بعمل آمد.

با استفاده از داده‌های جدول شماره (۱) میزان تقریبی اتلاف حرارتی از لوله NPS 4 با دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد، معادل ۵۳۰ وات ساعت بر متر می‌باشد. اطلاعات جدول شماره (۳) نشان می‌دهد که اتلاف حرارتی از لوله مذکور با عایق پشم شیشه به ضخامت ۷۶ میلی‌متر معادل ۲۸ وات ساعت بر متر است. اینک محاسبات زیر برای لوله‌ای به طول ده متر قابل ارائه می‌باشد:

$$(۲۸-۵۳۰) \times ۱۰ = \text{کاهش اتلاف حرارتی در یک ساعت}$$

$$= ۱۰ \times ۵۰۲$$

$$= ۵۰۲۰ \text{ وات ساعت بر ساعت}$$

اگر سیال در لوله مذکور به مدت ۸۷۶۰ ساعت در سال در جریان باشد، بنابراین میزان

کاهش اتلاف حرارتی در طول یک سال به شرح زیر خواهد بود:

تعداد ساعات مورد نظر در سال $\times$ کاهش اتلاف حرارتی در یک ساعت = کاهش اتلاف حرارتی در سال

$$= ۵۰۲۰ \times ۸۷۶۰$$

$$= ۴۳۹۷۵۲۰۰ \text{ وات ساعت در سال}$$

$$= ۴۳۹۷۵/۲ \text{ کیلووات ساعت در سال}$$

اگر سیال مورد نظر توسط انرژی الکتریکی گرمای مورد نظر را کسب کرده باشد و

قیمت هر کیلووات ساعت برق ۰/۲ دلار باشد، در آن صورت محاسبات زیر قابل ارائه می‌باشد:

$$\begin{aligned} \text{قیمت انرژی الکتریکی} \times \text{کاهش اتلاف حرارتی در سال} &= \text{صرفه‌جوئی اقتصادی در طی یک سال} \\ &= (\text{دلار}) \times 0.2 \times (\text{کیلووات ساعت}) = 43975/2 \\ &= \text{دلار در سال} \quad 8795/04 \end{aligned}$$

اگر قیمت تخمینی خرید و نصب ده متر عایق پشم شیشه با ضخامت ۷۶ میلی‌متر ۴۰۰۰ دلار در نظر گرفته شود، بازگشت ساده سرمایه به شرح زیر خواهد بود.

$$\begin{aligned} \text{هزینه خرید و نصب} \\ \text{میزان صرفه‌جوئی} &= \text{زمان ساده بازگشت سرمایه} \\ &= \frac{4000}{8795/04} \quad (\text{دلار}) \\ &= \quad (\text{دلار}) \end{aligned}$$

$$= 0.45 \text{ سال (حدود ۵ ماه)}$$

باید در نظر داشت که عایق‌کاری لوله‌های داغ علاوه بر صرفه‌جوئی در مصرف انرژی موجب ارتقاء ایمنی پرسنل خصوصاً در برابر سوختگی می‌شود. شایان ذکر است که اضافه نمودن عایق با ضخامت ۷۶ میلی‌متر موجب می‌شود تا دمای سطح لوله از ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به ۲۳ درجه سانتی‌گراد کاهش یابد.

جهت راهنمایی بیشتر در کاربرگ شماره (۱-۲) محاسبات مثال فوق‌الذکر ارائه شده است و اطلاعات و ریز محاسبات در آن قابل مشاهده می‌باشد. بطور کلی مثال فوق نمونه‌ای از اقدامات حفظ و نگهداری تأسیسات به شمار می‌آید که طی آن ده متر لوله مجدداً عایق‌کاری و نتایج عملی صرفه‌جوئی نشان داده شد.

۴-۱-۱-۲- تعمیر و بازسازی پوشش‌ها و پرداخت‌های نهایی

تخریب و یا وارد آمدن صدمه به پوشش عایق‌ها و پرداخت‌های نهایی می‌تواند عایق را در معرض آسیب‌های ناشی از آب، نور خورشید و سوء بهره‌برداری مکانیکی قرار دهد. این چنین آسیب‌هایی می‌تواند موجب کاهش اثر بخشی عایق گردیده و نهایتاً باعث اتلاف حرارتی شود.

۴-۱-۱-۳- رعایت الزامات ایمنی

لوله‌هایی که می‌توانند به نوعی با پرسنل در تماس باشند می‌بایست به شکلی عایق‌کاری شوند که حداکثر دمای سطح آنها به بیش از ۷۰ درجه سانتی‌گراد نرسد معمولاً سوختگی‌های اصلی (ماژور) در دماهای بالاتر از ۷۰ درجه سانتی‌گراد حادث می‌شود. مروری بر ارقام جدول شماره (۳) نشان می‌دهد که دمای سطح عایق‌ها هرگز به عدد فوق‌الذکر نزدیک نمی‌شود.

۴-۲- اقدامات کم هزینه

فرصت‌های کم هزینه در برگیرنده آن دسته از اقدامات مدیریت انرژی است که یکبار صورت می‌پذیرند و هزینه انجام آن قابل توجه نیست. مواردی از اقدامات کم هزینه به شرح زیر می‌باشند:

الف - عایق‌کاری لوله‌های فاقد عایق

ب - عایق‌کاری مخازن فاقد عایق

ج - افزایش ضخامت عایق‌های قدیمی برای دستیابی به صرفه‌جویی بیشتر

۴-۲-۱- نمونه‌هایی از اقدامات کم هزینه

۴-۲-۱-۱- عایق‌کاری لوله‌های فاقد عایق

در حین ممیزی اجمالی فرآیند یک سیستم مشخص شد که لوله 2 NPS با طول ۲۰ متر و بعنوان یک شاخه اصلی تغذیه بخار عایق‌کاری نشده است. دمای بخار معادل ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. مقرر شد تا میزان تلفات حرارتی و همچنین صرفه‌جویی اقتصادی بکارگیری عایق نوع سلولزی (پلی اورتان) در سیستم مذکور بررسی شود. شایان ذکر است که شاخه اصلی تغذیه بخار حدود ۲۸۸۰ ساعت در سال فعال می‌باشد. آمار جدول شماره (۳) نشان می‌دهد که ضخامت بهینه عایق سلولزی حدود ۶۴ میلی‌متر است و در صورت بکارگیری این عایق میزان تلفات حرارتی معادل ۳۵ وات ساعت بر متر خواهد بود. اطلاعات جدول شماره (۴) نشان می‌دهد که در صورت عدم بکارگیری عایق میزان تلفات حرارتی برابر با ۲۹۰ وات ساعت بر متر خواهد بود.

با استفاده از کاربرگ شماره (۱-۲) مشخص می‌شود که کاهش تلفات حرارتی در طی یک سال در اثر عایق‌کاری، معادل ۱۴۶۸۸۰۰ (وات ساعت در سال) یا ۱۴۶۸/۸ (کیلووات ساعت در سال) و یا ۵۲۸۷۶/۸ (مگاژول در سال) می‌باشد. با بکارگیری دیگ بخار با بازدهی ۷۵ درصد و سوخت گاز به ارزش ۵۳ دلار به ازای یک گیگاژول، بخار مورد نظر تولید می‌شود. بنابراین میزان صرفه‌جوئی اقتصادی به شرح زیر خواهد بود:

$$\text{میزان صرفه‌جوئی} = \frac{52876/8 * 53}{1000 * 0/75} \\ = 3736/62 \text{ دلار در سال}$$

هزینه‌های تخمینی خرید و نصب عایق مورد نظر معادل ۳۰۰۰ دلار است و بدین ترتیب بازگشت ساده سرمایه‌گذاری اولیه برابر خواهد بود با :

$$\text{بازگشت ساده سرمایه‌گذاری} = \frac{3000}{3736/62} \\ = 0/8 \text{ سال (ده ماه)}$$

۲-۱-۲-۴- عایق‌کاری مخازن فاقد عایق

در حین ممیزی اجمالی فرآیند یک سیستم مشخص شد که مخزنی مکعب مستطیل شکل در ابعاد ۲ متر طول، یک متر عرض و یک متر عمق با در پوشش لولایی، عایق‌کاری نشده است. سیال داخل این مخزن دارای دمای ۱۷۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و ۸۷۶۰ ساعت در سال چنین وضعیتی بر مخزن حاکم است.

با انجام ممیزی دقیق بر روی این سیستم پتانسیل صرفه‌جوئی ناشی از عایق‌کاری بدست می‌آید. پس از انجام این تحقیق، تصمیم بر آن شد تا از عایق پشم شیشه استفاده شود.

$$\begin{aligned} \text{مساحت سطح مخزن} &= A (\text{پائین}) + A (\text{کناره‌ها}) + A (\text{بالا}) \\ &= (2 \times 1) + [(2 \times 1) + (2 \times 1) + (1 \times 1) + (1 \times 1)] + (2 \times 1) \\ &= 2 + 6 + 2 \\ &= 10 \text{ متر مربع} \end{aligned}$$

بر اساس اطلاعات جدول شماره (۳) ضخامت مناسب عایق برای سطح صاف و دمای ۱۷۷ درجه سانتی‌گراد معادل ۱۰۲ میلی‌متر است که در صورت بکارگیری چنین عایقی اتلاف حرارتی آن معادل ۶۳ وات ساعت بر متر مربع می‌باشد. از کاربرد شماره (۳-۱) برای محاسبه اتلاف حرارتی سالیانه استفاده شد که رقم ۵۵۱۸۸۰ کیلووات ساعت در سال بدست آمد. با فرض آن که آب داخل مخزن توسط هیتر برقی گرم می‌شود و هزینه یک کیلووات ساعت برق ۰/۲ دلار است، کل سود اقتصادی در طی یک سال به شرح زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned} 0/2 \times 551880 &= \text{صرفه‌جویی سالانه} \\ &= 110376 \text{ دلار در سال} \end{aligned}$$

هزینه‌های خرید و نصب عایق برای قسمت‌های بالایی، جانبی و پائین مخزن معادل ۳۰۰۰۰ دلار فرض شده است. بنابراین زمان ساده بازگشت سرمایه به شرح زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned} \text{زمان بازگشت سرمایه} &= \frac{30000}{110376} \\ &= 0/27 \text{ (ماه ۳) سال} \end{aligned}$$

۴-۲-۱-۳- افزایش ضخامت عایق تا ضخامت پیشنهاد شده

در حین ممیزی اجمالی فرآیند یک سیستم مشخص شد که مخزنی با قطر ۲ متر و مساحت سطحی ۲۵ متر مربع، حاوی سیالی با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد است. این مخزن توسط پشم شیشه به ضخامت ۲۵ میلی‌متر عایق‌کاری شده است. مخزن مورد نظر ۸۴۰۰ ساعت در طی سال مشغول به کار است و توسط انرژی الکتریکی گرم می‌گردد. قیمت انرژی الکتریکی در زمان بررسی معادل ۰/۲ دلار به ازای یک کیلووات ساعت بوده است.

بر اساس جدول شماره (۳) ضخامت پیشنهاد شده برای بکارگیری این نوع عایق ۵۱ mm بوده که میزان تلفات حرارت از آن برابر 32 W/m^2 می‌باشد. لذا در مرحله

ممیزی دقیق نیاز به برآورد میزان صرفه‌جوئی انرژی و ارزش مالی این میزان صرفه‌جوئی در اثر افزایش ضخامت عایق موجود تا میزان ۵۱ mm قابل محاسبه می‌باشد.

بر اساس اطلاعات شرکت سازنده عایق الیاف معدنی با ضخامت ۲۵ mm در شرایط موجود، تلفات حرارتی در واحد سطح منبع برابر 105 W/m^2 می‌باشد. بر اساس کاربرگ (۱-۳) ابتدا باید میزان کاهش تلفات حرارت منبع موجود در دو حالت بدون عایق و با استفاده از عایق با ضخامت ۲۵ mm محاسبه شده و سپس در مرحله بعد اختلاف بین کاهش تلفات حرارت بین عایق با ضخامت ۵۱ mm با عایق ۲۵ mm محاسبه شود، لذا بدیهی است در شرایط موجود میزان کاهش تلفات حرارت در اثر افزایش ضخامت عایق موجود تا حد نهایی ۵۱ mm، بر اساس اختلاف ضخامت عایق جدید با عایق موجود یعنی ۲۶ mm قابل محاسبه خواهد بود.

صرفه‌جوئی انرژی با عایق ضخامت ۲۵ mm - صرفه‌جوئی انرژی با عایق ضخامت ۵۱ mm = میزان صرفه‌جوئی انرژی

$$= 8190000 - 6195000$$

$$= 1995000 \text{ Wh/yr}$$

$$= 19950 \text{ KWh/yr}$$

۱۹۹۵۰ × ۰/۲ = ارزش صرفه‌جوئی حاصل

$$= 3990 \text{ دلار}$$

از طرفی سرمایه‌گذاری لازم برای اضافه کردن عایق جدید ۳۰۰۰۰ دلار برآورد گردیده است. لذا زمان ساده بازگشت سرمایه معادل ۷/۵ سال خواهد بود.

$$\text{سال} = \frac{30000}{3990} = 7/5 = \text{زمان بازگشت سرمایه}$$

۴-۳- اقدامات بازسازی اساسی

به انجام رساندن فرصت‌های اقدامات بازسازی اساسی جزء آن دسته از فعالیت‌های مدیریت انرژی است که عموماً نیازمند سرمایه‌گذاری قابل توجهی است. امکان سنجی

انجام این فرصت‌ها نیازمند تجزیه و تحلیل و محاسبات دقیق توسط متخصصین امر می‌باشد که در این کتاب امکان بررسی هر یک از آنها وجود ندارد. ذیلاً نمونه‌هایی از فرصت‌های اقدامات بازسازی اساسی معرفی شده است:

۱. ارتقاء سطح کیفی عایق‌های موجود
۲. بازنگری ضخامت بهینه اقتصادی عایق کاری
۳. افزایش محدوده بودجه لازم برای اجرای اقدامات اساسی

۴-۳-۱- نمونه‌هایی از اقدامات بازسازی اساسی

۴-۳-۱-۱- ارتقاء سطح کیفی عایق‌های موجود

در خلال انجام ممیزی اجمالی یک سیستم بخار مشخص شد که عایق لوله‌ای به طول ۱۰۰ متر از نوع NPS 6 که تحت شرایط بخار با دمای 288°C به مدت ۸۷۶۰ ساعت در سال کار می‌کند و با عایق نوع سلولزی عایق کاری شده است. مطابق با جدول شماره (۳) میزان تلفات حرارتی از واحد طول لوله برابر 145 Wh/m می‌باشد. این در حالی است که در صورت تعویض این نوع عایق با نوع الیاف معدنی میزان اتلاف حرارتی به 99 Wh/m کاهش خواهد یافت.

باید توجه داشت که این میزان کاهش تلفات حرارت فقط به خاطر تعویض نوع عایق بوده و ضخامت هر دو عایق یکسان در نظر گرفته شده است.

در این صورت میزان صرفه‌جویی انرژی سالیانه با استفاده از این نوع عایق به شرح زیر قابل محاسبه خواهد بود:

زمان بهره‌برداری در سال $\times$ طول $\times$ (تلفات عایق الیاف معدنی جدید - تلفات عایق سلولزی موجود) = صرفه‌جویی انرژی سالیانه

$$= (145 - 99) \times 100 \times 8760$$

$$= 41172000 \text{ Wh/yr}$$

$$= 41172000 \text{ Wh/yr} \times 3/6 \text{ KJ/Wh}$$

$$= 148219200 \text{ KJ/yr}$$

$$= 148219/2 \text{ MJ/yr}$$

بخار موجود توسط یک بویلر با راندمان کاری ۷۶٪ تولید شده که هزینه تولید بخار در این شرایط معادل ۵۸ دلار به ازای یک GJ برآورد گردیده است.

$$\text{ارزش صرفه‌جوئی انرژی سالیانه} = \frac{148219/2 * 5.8}{1000 * 0.76} = 1131150 \text{ سال/دلار}$$

سرمایه‌گذاری لازم برای تعویض عایق موجود با عایق الیاف معدنی برابر ۱۰۰۰۰۰ دلار برآورد گردیده است. در این صورت زمان ساده بازگشت سرمایه حدود ۸/۸ سال خواهد بود.

$$\text{سال} = \frac{100000}{1131150} = 8/8 \text{ سال}$$

همانطور که ملاحظه می‌شود زمان بازگشت سرمایه فوق قابل توجیه نبوده و لذا اجرای اقدام مزبور اقتصادی نمی‌باشد. به هر حال باید توجه داشت در صورتی که ضخامت عایق موجود کمتر از ضخامت استاندارد پیشنهاد شده باشد، منجر به تلفات حرارتی خواهد شد که قطعاً باید توسط شرکت سازنده عایق مورد بررسی و محاسبه قرار گیرد.

۴-۳-۱-۲- بازنگری ضخامت بهینه اقتصادی عایق

همانطور که در بخش مقدمه این کتاب بیان گردید، در بعضی موارد بازنگری و بازبینی مجدد نسبت به ضخامت بهینه اقتصادی عایق‌ها باید مد نظر قرار گرفته و پتانسیل صرفه‌جوئی انرژی مربوط به آن مورد مقایسه قرار گیرد.

۴-۳-۱-۳- افزایش سقف بودجه

در خلال انجام یک ممیزی اجمالی مشخص شد که بدلیل عدم اختصاص بودجه برای خرید و تجهیز کامل عایق‌کاری لوله‌های بخار، شاخه‌های متعددی از انشعاب یک لوله اصلی بخار عایق کاری نشده است. اندازه‌های انشعاب اصلی لوله بخار بین نوع NPS 1 تا NPS 6 متغیر بوده است.

طول معادل این شاخه‌ها را می‌توان ۳۵۰ m و از نوع NPS 4 در نظر گرفت. درجه حرارت بخار عبوری ۱۲۱°C بوده که در مدت زمان ۴۴۰۰ ساعت در سال مورد بهره‌برداری قرار می‌گرفته است. این بخار توسط یک دیگ بخار کم فشار تولید شده است، که با سوخت گاز کار کرده و راندمان کاری آن معادل ۷۷ درصد بوده است. ارزش تولید در دیگ بخار فوق معادل ۵۸ GJ دلار برآورد شده است.

بر اساس جدول شماره (۳) مشخص می‌گردد که برای لوله با مشخصات NPS 4 و سیال ۱۲۱°C عایقی با جنس الیاف معدنی و با ضخامت معادل ۷۶ mm پیشنهاد گردیده است، که در این صورت نرخ اتلاف حرارت در واحد طول لوله معادل ۲۸ Wh/m می‌باشد. همانطور که در جدول شماره (۱) نشان داده شده است، تلفات حرارت از لوله فولادی با دمای ۱۲۱°C برابر ۵۳۰ Wh/m می‌باشد. با استفاده از کاربرگ شماره (۳-۱) در صورت عایق کاری لوله‌های فولادی با عایق پشم و شیشه به ضخامت پیشنهاد شده، صرفه‌جویی سالیانه معادل ۲۷۸۳۰۸۸ MJ/yr قابل دستیابی خواهد بود.

$$\text{ارزش صرفه‌جویی حاصل} = \frac{2783088 * 58}{1000 * 0.77} = 209635 \text{ سال/دلار}$$

سرمایه‌گذاری لازم برای عایق کاری لوله‌های فوق به ضخامت ۷۶ mm معادل ۸۰۰۰۰ دلار برآورد گردیده است که در این صورت زمان ساده بازگشت سرمایه کمتر از ۱ سال می‌باشد.

$$\text{زمان بازگشت سرمایه} = \frac{80000}{209635} = 0.38 \text{ سال (۵ ماه)}$$

اما در حال حاضر با توجه به توجیه اقتصادی قطعی این راهکار، مدیریت، سرمایه لازم را برای اجرای این کار را اختصاص نداده است. علت این موضوع محدودیت بودجه تعیین شده از طرف مدیریت بوده است، که منجر به انجام محاسبات جدید برای بکارگیری عایق نوع الیاف معدنی با ضخامت ۲۵mm برای عایق کاری لوله‌های موجود شده است. شرکت سازنده این نوع عایق، میزان کل تلفات حرارت در صورت استفاده از نوع عایق با ضخامت معین شده را ۲۰۰ Wh/m ارائه نموده است.

مجدداً با استفاده از کاربرگ شماره (۲-۱) میزان کاهش تلفات حرارتی در صورت استفاده از عایق الیاف معدنی با ضخامت ۲۵ mm معادل ۱۸۲۹۵۲۰ MJ/yr بدست می‌آید، لذا ارزش صرفه‌جوئی حاصل برابر است با:

$$\text{ارزش صرفه‌جوئی حاصل} = \frac{1829520 \times 58}{1000 \times 0.77} = 137800 \text{ سال/دلار}$$

سرمایه‌گذاری لازم برای عایق‌کاری لوله‌ها با این نوع عایق ۷۰۰۰۰ دلار برآورد گردیده است که در این صورت زمان بازگشت سرمایه ساده کمتر از ۱ سال می‌باشد.

$$\text{زمان بازگشت سرمایه} = \frac{70000}{137800} = 0.51 \text{ سال (۶ ماه)}$$

همانطور که ملاحظه می‌شود بر خلاف تصور مدیریت، زمان بازگشت سرمایه برای عایق‌کاری با ضخامت ۲۵ mm حتی بیشتر از اجرای عایق‌کاری با ضخامت ۷۶mm می‌باشد، در نتیجه باید اذعان نمود که مدیریت تنها با افزایش ناچیز سقف بودجه (۱۰۰۰۰ دلار) امکان بهره‌مندی از فرصت بالاتر صرفه‌جوئی و همچنین میزان بیشتر ارزش صرفه‌جوئی خواهد بود. این مثال، به منظور مقایسه میان فرصت‌های مختلف اجرای راهکارها و توجیه اینکه در اغلب موارد با افزایش ناچیز و محدود سقف اعتبارات و بودجه می‌توان نتایج بهتری گرفت، ارائه شده است.

ضمائم

کاربرگ‌ها

کاربرگ شماره ۱-۱

ملاحظات در انتخاب خصوصیات مواد عایق		
نام شرکت :		
تاریخ :		
محل :		
فرد مسؤول :		
عایق برای کدام قسمت ؟		
خصوصیات	مهم	غیر مهم
- شکل ظاهری (آیا عایق از بین رفته است ؟)		
- خنثی بودن از نظر شیمیایی (آیا عایق در معرض رطوبت نسبی قرار دارد ؟)		
- توزیع بار (آیا از عایق بعنوان پلی بین بریدگی‌ها استفاده می‌شود؟)		
- موئینگی (آیا عایق در محیط مرطوب قرار دارد ؟)		
- ضربه انبساط و انقباض (آیا عایق لایه لایه است و یا اینکه اتصالات انبساطی مورد نیاز است ؟)		
- احتراق پذیری (آیا امکان وقوع حریق در محل تأسیسات وجود دارد ؟)		
- مقاومت فشاری (آیا عایق باید در معرض بار و یا فشارهای مکانیکی قرار گیرد؟)		
- چگالی		
- انقباض و کوتاه شدن (آیا تأسیسات از نوع تأسیسات دما بالا است؟)		
- مقاومت در برابر تشعشعات ماوراء بنفش (آیا عایق در معرض نور خورشید قرار دارد ؟)		
- مقاومت در برابر باکتری و رشد قارچ (آیا عایق در محیط‌های تهیه غذا و یا مواد آرایشی بکار رفته است ؟)		

کاربرگ شماره ۱-۲

اتلاف حرارت از لوله‌ها	
نام شرکت :	تاریخ :
محل :	مسئول :
قطر لوله (NPS) :	طول لوله : متر
دمای لوله : سانتی گراد	ساعات استفاده در سال ساعت
نوع عایق پیشنهادی :	ضخامت عایق پیشنهادی : میلی متر
بدون عایق	دارای عایق
- اتلاف حرارت به ازای یک متر لوله: Wh/m.h (از جدول ۱) - اتلاف حرارت در ساعت = اتلاف حرارت در یک متر × طول ×	 Wh/m.h (از جدول ۳) - اتلاف حرارت در یک متر لوله به ازای یک ساعت × طول ×
..... Wh/h	 Wh/h
اتلاف سالانه حرارت = اتلاف حرارت در ساعت × ساعت استفاده در سال	اتلاف حرارت در ساعت × ساعت استفاده در سال
..... ×	 ×
..... Wh/yr (۱)	 Wh/yr (۲)
کاهش اتلاف حرارتی در اثر عایق کاری :	
= (۱) - (۲)	
= -	
= Wh/yr	
یا = Wh/yr × 3.6 KJ/Wh	
= KJ/yr	
اینک با اعمال قیمت واحد انرژی می‌توان میزان صرفه‌جویی مالی را به ازای واحد انرژی محاسبه نمود. باید توجه داشت که واحدها با یک دیگر همخوانی داشته باشند.	

کاربرگ شماره ۱-۳

اتلاف حرارت از لوله‌ها، منابع و مخازن	
نام شرکت :	تاریخ :
محل :	مسئول :
نوع تأسیسات :	ساعات استفاده در سال ساعت
مساحت سطح : متر مربع	نوع عایق پیشنهادی :
درجه حرارت سیال : سانتی‌گراد	ضخامت عایق پیشنهادی : میلی‌متر
بدون عایق	دارای عایق
- اتلاف حرارت به ازای سطح لوله $Wh/m^2.h$ (از جدول ۱) - اتلاف حرارت در ساعت = اتلاف حرارت در واحد سطح $\times$ مساحت $\times$	 $Wh/m^2.h$ (از جدول ۳) - اتلاف حرارت در واحد سطح $\times$ مساحت $\times$
..... Wh/h	 Wh/h
اتلاف سالانه حرارت = اتلاف حرارت در ساعت $\times$ ساعت استفاده در سال	اتلاف حرارت در ساعت $\times$ $\times$
..... Wh/yr (۱)	 Wh/yr (۲)
کاهش اتلاف حرارتی در اثر عایق کاری :	
= (۱) - (۲)	
= -	
= Wh/yr	
یا $Wh/yr \times 3.6$ KJ/Wh	
= KJ/yr	
اینک با اعمال قیمت واحد انرژی می‌توان میزان صرفه‌جویی مالی را به ازای واحد انرژی محاسبه نمود. باید توجه داشت که واحدها با یک دیگر همخوانی داشته باشند.	

کاربرگ شماره ۱-۲

اتلاف حرارت از لوله‌ها	
نام شرکت : کارخانه نمونه	تاریخ :
محل : شهرک صنعتی	مسئول: مدیر انرژی
قطر لوله (NPS) : ۲	طول لوله : ۲۰ متر
دمای لوله : ۱۲۱ درجه سانتی گراد	ساعات استفاده در سال ۲۸۸۰ ساعت
نوع عایق پیشنهادی : عایق سلولزی	ضخامت عایق پیشنهادی : ۳۴ میلی متر
بدون عایق	دارای عایق
- اتلاف حرارت به ازای یک متر لوله: 290 Wh/m.h (از جدول ۱) - اتلاف حرارت در ساعت = اتلاف حرارت در یک متر $\times$ طول 290×20	35 Wh/m.h (از جدول ۳) - اتلاف حرارت در یک متر لوله به ازای یک ساعت $\times$ طول 35×20
5800 Wh/h	700 Wh/h
اتلاف سالانه حرارت = اتلاف حرارت در ساعت $\times$ ساعت استفاده در سال	اتلاف حرارت در ساعت $\times$ ساعت استفاده در سال
5800×2880	700×2880
16704000 Wh/yr (۱)	2016000 Wh/yr (۲)
کاهش اتلاف حرارتی در اثر عایق کاری :	
$= (۱) - (۲)$	
$= 16704000 - 2016000$	
$= 14688000 \text{ Wh/yr}$	
$\text{KJ/Wh} \times 3.6 \times 14688000 \text{ Wh/yr} = \text{و یا}$	
$= 52876800 \text{ KJ/yr}$	
اینک با اعمال قیمت واحد انرژی می‌توان میزان صرفه‌جویی مالی را به ازای واحد انرژی محاسبه نمود. باید توجه داشت که واحدها با یک دیگر همخوانی داشته باشند.	

مثالی برای انجام یک اقدام کم هزینه

کاربرگ شماره ۱-۲

اتلاف حرارت از لوله‌ها	
نام شرکت: کارخانه نمونه	تاریخ:
محل: شهرک صنعتی	مسئول: مدیر انرژی
قطر لوله (NPS): ۴	طول لوله: ۱۰ متر
دمای لوله: ۱۲۱ درجه سانتی گراد	ساعات استفاده در سال: ۸۷۶۰ ساعت
نوع عایق پیشنهادی: الیاف معدنی	ضخامت عایق پیشنهادی: ۷۶ میلی متر
بدون عایق	دارای عایق
- اتلاف حرارت به ازای یک متر لوله: ۵۳۰ Wh/m.h (از جدول ۱) - اتلاف حرارت در ساعت = اتلاف حرارت در یک متر × طول ۵۳۰ × ۱۰	۲۸ Wh/m.h (از جدول ۳) - اتلاف حرارت در یک متر لوله به ازای یک ساعت × طول ۲۸ × ۱۰
۵۳۰۰ Wh/h	۲۸۰ Wh/h
اتلاف سالانه حرارت = اتلاف حرارت در ساعت × ساعت استفاده در سال	اتلاف حرارت در ساعت × ساعت استفاده در سال
۵۳۰۰ × ۸۷۶۰	۲۸۰ × ۸۷۶۰
۴۶۴۲۸۰۰۰ Wh/yr (۱)	۲۴۵۲۸۰۰ Wh/yr (۲)
کاهش اتلاف حرارتی در اثر عایق کاری:	
= (۱) - (۲)	
= ۴۶۴۲۸۰۰۰ - ۲۴۵۲۸۰۰	
= ۴۳۹۷۵۲۰۰ Wh/yr	
یا $43975200 \text{ Wh/yr} \times 3.6 = \text{KJ/Wh}$ و یا	
= KJ/yr	
اینک با اعمال قیمت واحد انرژی می‌توان میزان صرفه‌جویی مالی را به ازای واحد انرژی محاسبه نمود. باید توجه داشت که واحدها با یک دیگر همخوانی داشته باشند.	

مثالی برای انجام یک اقدام تعمیر و نگهداری مناسب و به موقع

کاربرگ شماره ۲-۱ (صفحه ۱ از ۲)

اتلاف حرارت از لوله‌ها	
نام شرکت: کارخانه نمونه	تاریخ:
محل: شهرک صنعتی	مسئول: مدیر انرژی
قطر لوله (NPS): ۴	طول لوله: ۳۵۰ متر
دمای لوله: ۱۲۱ درجه سانتی گراد	ساعات استفاده در سال: ۴۴۰۰ ساعت
نوع عایق پیشنهادی: الیاف معدنی	ضخامت عایق پیشنهادی: ۷۶ میلی متر
بدون عایق	دارای عایق
- اتلاف حرارت به ازای یک متر لوله: - ۵۳۰ Wh/m.h (از جدول ۱) - اتلاف حرارت در ساعت = اتلاف حرارت در یک متر × طول - ۵۳۰ × ۳۵۰	- ۲۰۰ Wh/m.h (از جدول ۳) - اتلاف حرارت در یک متر لوله به ازای یک ساعت × طول - ۲۸ × ۳۵۰
۱۸۵۵۰۰ Wh/h	۹۸۰۰ Wh/h
اتلاف سالانه حرارت = اتلاف حرارت در ساعت × ساعت استفاده در سال	اتلاف حرارت در ساعت × ساعت استفاده در سال
۱۸۵۵۰۰ × ۴۴۰۰	۹۸۰۰ × ۴۴۰۰
۸۱۶۲۰۰۰۰ Wh/yr (۱)	۴۳۱۲۰۰۰۰ Wh/yr (۲)
کاهش اتلاف حرارتی در اثر عایق کاری:	
= (۱) - (۲)	
= ۸۱۶۲۰۰۰۰ - ۴۳۱۲۰۰۰۰	
= ۷۷۳۰۸۰۰۰ Wh/yr	
KJ/Wh ۳.۶ × Wh/yr ۷۷۳۰۸۰۰۰ = و یا	
= ۲۷۸۳۰۸۸۰۰۰ KJ/yr	
اینک با اعمال قیمت واحد انرژی می‌توان میزان صرفه‌جویی مالی را به ازای واحد انرژی محاسبه نمود. باید توجه داشت که واحدها با یک دیگر همخوانی داشته باشند.	

مثالی برای انجام یک اقدام بازسازی اساسی

کاربرگ شماره ۲-۱ (صفحه ۲ از ۲)

اتلاف حرارت از لوله‌ها	
نام شرکت : کارخانه نمونه	تاریخ :
محل : شهرک صنعتی	مسئول: مدیر انرژی
قطر لوله (NPS) : ۴	طول لوله : ۳۵۰ متر
دمای لوله : ۱۲۱ درجه سانتی گراد	ساعات استفاده در سال ۴۴۰۰ ساعت
نوع عایق پیشنهادی : الیاف معدنی	ضخامت عایق پیشنهادی : ۲۵ میلی متر
بدون عایق	دارای عایق
- اتلاف حرارت به ازای یک متر لوله: 530 Wh/m.h (از جدول ۱) - اتلاف حرارت در ساعت = اتلاف حرارت در یک متر $\times$ طول 530×350	200 Wh/m.h (از جدول ۳) - اتلاف حرارت در یک متر لوله به ازای یک ساعت $\times$ طول 200×350
185500 Wh/h	70000 Wh/h
اتلاف سالانه حرارت = اتلاف حرارت در ساعت $\times$ ساعات استفاده در سال	اتلاف حرارت در ساعت $\times$ ساعات استفاده در سال
185500×400	70000×4400
81620000 Wh/yr (۱)	30800000 Wh/yr (۲)
کاهش اتلاف حرارتی در اثر عایق کاری :	
$= (۱) - (۲)$	
$= 81620000 - 30800000$	
$= 50820000 \text{ Wh/yr}$	
$\text{KJ/Wh} \times 3.6 \times 50820000 \text{ Wh/yr} = \text{و یا}$	
$= 1829520000 \text{ KJ/yr}$	
اینک با اعمال قیمت واحد انرژی می‌توان میزان صرفه‌جویی مالی را به ازای واحد انرژی محاسبه نمود. باید توجه داشت که واحدها با یک دیگر همخوانی داشته باشند.	

مثالی برای انجام یک اقدام بازسازی اساسی

کاربرگ شماره ۱-۳

اتلاف حرارت از لوله‌ها ، منابع و مخازن	
نام شرکت : کارخانه نمونه	تاریخ :
محل : شهرک صنعتی	مسئول: مدیر انرژی
نوع تأسیسات : دیگ آبگرم شماره ۱	ساعات استفاده در سال ۸۷۶۰ ساعت
مساحت سطح : ۱۰ متر مربع	نوع عایق پیشنهادی : الیاف معدنی
درجه حرارت سیال : ۱۷۷ درجه سانتی‌گراد	ضخامت عایق پیشنهادی : ۱۰۲ میلی‌متر
بدون عایق	دارای عایق
- اتلاف حرارت به ازای سطح لوله $2800 \text{ Wh/m}^2 \cdot \text{h}$ (از جدول ۱) - اتلاف حرارت در ساعت = اتلاف حرارت در واحد سطح $\times$ مساحت 2800×10	$63 \text{ Wh/m}^2 \cdot \text{h}$ (از جدول ۳) - اتلاف حرارت در واحد سطح $\times$ مساحت 63×10
28000 Wh/h	630 Wh/h
اتلاف سالانه حرارت = اتلاف حرارت در ساعت $\times$ ساعت استفاده در سال	اتلاف حرارت در ساعت $\times$ ساعت استفاده در سال
28000×8760	630×8760
245280000 Wh/yr (۱)	5518800 Wh/yr (۲)
کاهش اتلاف حرارتی در اثر عایق کاری :	
$= (۱) - (۲)$	
$= 245280000 - 5518800$	
$= 239761200 \text{ Wh/yr}$	
$\text{یا } 239761200 \text{ Wh/yr} \times 3.6 \text{ KJ/Wh}$	
$= 863140320 \text{ KJ/yr}$	
اینک با اعمال قیمت واحد انرژی می‌توان میزان صرفه‌جویی مالی را به ازای واحد انرژی محاسبه نمود. باید توجه داشت که واحدها با یک دیگر همخوانی داشته باشند.	

کاربرگ شماره ۳-۱

اتلاف حرارت از لوله‌ها، منابع و مخازن	
نام شرکت: کارخانه نمونه	تاریخ:
محل: شهرک صنعتی	مسئول: مدیر انرژی
نوع تأسیسات: دیگ آبگرم شماره ۲	ساعات استفاده در سال ۸۴۰۰ ساعت
مساحت سطح: ۲۵ متر مربع	نوع عایق پیشنهادی: الیاف معدنی
درجه حرارت سیال: ۶۵ درجه سانتی‌گراد	ضخامت عایق پیشنهادی: ۵۱ میلی‌متر
بدون عایق	دارای عایق
- اتلاف حرارت به ازای سطح لوله $50.4/7 \text{ Wh/m}^2.\text{h}$ (از جدول ۱) - اتلاف حرارت در ساعت = اتلاف حرارت در واحد سطح × مساحت $50.4/7 \times 25$	$32 \text{ Wh/m}^2.\text{h}$ (از جدول ۳) - اتلاف حرارت در واحد سطح × مساحت 32×25
$12617/5 \text{ Wh/h}$	800 Wh/h
اتلاف سالانه حرارت = اتلاف حرارت در ساعت × ساعت استفاده در سال	اتلاف حرارت در ساعت × ساعت استفاده در سال
$12617/5 \times 8400$	800×8400
105987000 Wh/yr (۱)	6720000 Wh/yr (۲)
کاهش اتلاف حرارتی در اثر عایق کاری:	
$= (1) - (2)$	
$= 105987000 - 6720000$	
$= 99300000 \text{ Wh/yr}$	
$\text{KJ/Wh} \times 3.6 \text{ Wh/yr} = 99300000 \text{ یا}$	
$= 357480000 \text{ KJ/yr}$	
اینک با اعمال قیمت واحد انرژی می‌توان میزان صرفه‌جویی مالی را به ازای واحد انرژی محاسبه نمود. باید توجه داشت که واحدها با یک دیگر همخوانی داشته باشند.	

کاربرگ شماره ۳-۱

اتلاف حرارت از لوله‌ها ، منابع و مخازن	
نام شرکت : کارخانه نمونه	تاریخ :
محل : شهرک صنعتی	مسئول: مدیر انرژی
نوع تأسیسات : تانک نگهدارنده شماره ۲	ساعات استفاده در سال ۸۴۰۰ ساعت
مساحت سطح : ۲۵ متر مربع	نوع عایق پیشنهادی: الیاف معدنی
درجه حرارت سیال : ۶۵ درجه سانتی‌گراد	ضخامت عایق پیشنهادی: ۲۵ میلی‌متر
بدون عایق	دارای عایق
- اتلاف حرارت به ازای سطح لوله $504/7 \text{ Wh/m}^2 \cdot \text{h}$ (از جدول ۱) - اتلاف حرارت در ساعت = اتلاف حرارت در واحد سطح $\times$ مساحت $504/7 \times 25$	$115 \text{ Wh/m}^2 \cdot \text{h}$ (از جدول ۳) - اتلاف حرارت در واحد سطح $\times$ مساحت 115×25
$12617/5 \text{ Wh/h}$	2875 Wh/h
اتلاف سالانه حرارت = اتلاف حرارت در ساعت $\times$ ساعت استفاده در سال	اتلاف حرارت در ساعت $\times$ ساعت استفاده در سال
$12617/5 \times 8400$	2875×8400
105987000 Wh/yr (۱)	24150000 Wh/yr (۲)
کاهش اتلاف حرارتی در اثر عایق کاری :	
$= (1) - (2)$	
$= 105987000 - 24150000$	
$= 81837000 \text{ Wh/yr}$	
$81837000 \text{ Wh/yr} \times 3.6 \text{ KJ/Wh}$ یا	
$= 294613200 \text{ KJ/yr}$	
اینک با اعمال قیمت واحد انرژی می‌توان میزان صرفه‌جویی مالی را به ازای واحد انرژی محاسبه نمود. باید توجه داشت که واحدها با یک دیگر همخوانی داشته باشند.	

جدول شماره ۱ - اتلاف حرارت از لوله‌های فولادی بدون عایق (*Btu/ft.°F.hr)

بخار فوق داغ ۲۷۵lb ۲۵۰°F	بخار فوق داغ ۲۰۰lb ۱۰۰°F	بخار ۲۰۰lb	بخار ۱۶۰lb	بخار ۱۲۰lb	بخار ۸۰ lb	بخار ۱۰ lb	آب داغ	فشار
۶۶۴/۳°F	۴۸۷/۹°F	۳۸۷/۹°F	۳۷۰/۷°F	۳۵۰°F	۳۲۴°F	۲۳۹/۴°F	۱۸۰°F	دما
۱/۳۳۰	۰/۹۹۶	۰/۸۳۴	۰/۸۰۹	۰/۷۸۰	۰/۷۴۳	۰/۶۲۸	۰/۵۴۶	۱/۳"
۲/۰۲۹	۱/۵۱۱	۱/۲۶۰	۱/۲۲۲	۱/۱۷۷	۱/۱۲۱	۰/۹۴۴	۰/۸۲۰	۱"
۲/۸۷۷	۲/۱۳۳	۱/۷۷۳	۱/۷۱۹	۱/۶۵۵	۱/۵۷۴	۱/۳۲۳	۱/۱۴۹	۱ ۱/۳"
۳/۵۶۱	۲/۶۳۳	۲/۱۸۵	۲/۱۱۸	۲/۰۳۸	۱/۹۳۸	۱/۶۲۷	۱/۴۱۱	۳"
۴/۲۷۲	۳/۱۵۱	۲/۶۱۱	۲/۵۳۰	۲/۴۳۳	۲/۳۱۳	۱/۹۴۰	۱/۶۸۲	۲ ۱/۳"
۵/۱۵۰	۳/۷۹۰	۳/۱۴۶	۳/۰۳۸	۲/۹۲۱	۲/۷۷۶	۲/۳۲۵	۲/۰۱۵	۳"
۵/۸۵۲	۴/۲۹۹	۳/۵۵۳	۳/۴۴۲	۳/۳۰۹	۳/۱۴۴	۲/۶۳۱	۲/۲۸۰	۳ ۱/۳"
۶/۵۵۰	۴/۸۰۶	۳/۹۶۹	۳/۸۴۳	۳/۶۹۴	۳/۵۰۹	۲/۹۳۶	۲/۵۴۶	۴"
۷/۲۴۵	۵/۳۱۰	۴/۳۸۱	۴/۲۴۲	۴/۰۷۷	۳/۸۷۲	۳/۲۳۷	۲/۸۰۴	۴ ۱/۳"
۸/۰۲۲	۵/۸۷۲	۴/۸۴۲	۴/۶۸۸	۴/۵۰۴	۴/۲۷۶	۳/۵۷۴	۳/۰۹۴	۵"
۹/۴۸۵	۶/۹۲۹	۵/۷۰۶	۵/۵۲۲	۵/۳۰۶	۵/۰۳۶	۴/۲۰۵	۳/۶۴۰	۶"
۱۰/۸۵۵	۷/۹۱۸	۶/۵۱۴	۶/۳۰۳	۶/۰۵۵	۵/۷۴۵	۴/۷۹۴	۴/۱۴۸	۷"
۱۲/۲۲۱	۸/۹۰۳	۷/۳۱۶	۷/۰۷۹	۶/۷۹۹	۶/۴۵۰	۵/۳۷۷	۴/۶۵۱	۸"
۱۳/۵۸۲	۹/۸۸۰	۸/۱۱۵	۷/۸۵۱	۷/۵۳۹	۷/۱۵۱	۵/۹۵۸	۵/۱۵۳	۹"
۱۵/۱۰۱	۱۰/۹۱۴	۹/۰۰۴	۸/۷۱۱	۸/۳۶۴	۷/۹۳۲	۶/۶۰۵	۵/۷۱۲	۱۰"
۱۷/۷۹۸	۱۲/۹۱۳	۱۰/۵۸۴	۱۰/۳۳۶	۹/۸۲۶	۹/۳۱۶	۷/۷۵۰	۶/۶۹۹	۱۲"
۱۹/۴۷۵	۱۴/۱۱۵	۱۱/۵۶۲	۱۱/۱۸۲	۱۰/۷۳۳	۱۰/۱۷۴	۸/۴۶۰	۷/۳۱۲	۱۴"
۲۲/۱۵۲	۱۶/۰۳۳	۱۳/۱۲۲	۱۲/۶۸۸	۱۲/۱۷۵	۱۱/۵۳۷	۹/۵۸۹	۸/۲۰۶	۱۶"
۲۴/۸۱۵	۱۷/۹۴۰	۱۴/۶۷۰	۱۴/۱۸۴	۱۳/۶۰۸	۱۲/۸۹۳	۱۰/۷۰۷	۹/۲۵۰	۱۸"

۱ Btu/ft.°F.hr = ۱/۷۳ Wh/m.°c.hr

* ضریب تبدیل واحد به سیستم SI:

جدول شماره ۲ - اتلاف حرارت از سطح لوله‌های فولادی و صفحات تخت مسطح بدون عایق (*Btu/ft².°F.hr)

قطر لوله	ضریب تبدیل طول لوله (ft)	اختلاف درجه حرارت سطح لوله با محیط اطراف (°F)										
		۵۰	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰	۳۵۰	۴۰۰	۴۵۰	۵۰۰	۵۵۰
۱/۳"	۰/۲۲۰	۲/۱۲	۲/۴۸	۲/۸۰	۳/۱۰	۳/۴۷	۳/۷۴	۴/۰۷	۴/۴۷	۴/۸۶	۵/۲۸	۵/۷۲
۳/۴"	۰/۲۷۵	۲/۰۸	۲/۴۳	۲/۱۴	۳/۰۴	۳/۳۵	۳/۶۷	۴/۰۰	۴/۴۰	۴/۷۹	۵/۲۱	۵/۶۵
۱"	۰/۳۴۴	۲/۰۴	۲/۳۸	۲/۶۹	۲/۹۹	۳/۳۰	۳/۶۱	۳/۹۴	۴/۳۳	۴/۷۲	۵/۱۴	۵/۵۸
۱ ۱/۴"	۰/۴۳۵	۲/۰۰	۲/۳۴	۲/۶۴	۲/۹۳	۳/۲۴	۳/۵۵	۳/۸۸	۴/۲۷	۴/۶۶	۵/۰۷	۵/۵۱
۱ ۱/۲"	۰/۴۹۷	۱/۹۸	۲/۳۱	۲/۶۱	۲/۹۰	۳/۲۰	۳/۵۲	۳/۸۴	۴/۲۳	۴/۶۲	۵/۰۳	۵/۴۷
۲"	۰/۶۲۲	۱/۹۵	۲/۲۷	۲/۵۶	۲/۸۵	۳/۱۵	۳/۴۶	۳/۷۸	۴/۱۷	۴/۵۶	۴/۹۷	۵/۴۱
۲ ۱/۳"	۰/۷۵۳	۱/۹۲	۲/۲۳	۲/۵۲	۲/۸۱	۳/۱۱	۳/۴۲	۳/۷۴	۴/۱۳	۴/۵۱	۴/۹۲	۵/۳۶
۳"	۰/۹۱۶	۱/۸۹	۲/۲۰	۲/۴۹	۲/۷۷	۳/۰۷	۳/۳۷	۳/۶۹	۴/۰۸	۴/۴۶	۴/۸۷	۵/۳۱
۳ ۱/۲"	۱/۰۴۷	۱/۸۷	۲/۱۸	۲/۴۶	۲/۷۴	۳/۰۴	۳/۳۴	۳/۶۶	۴/۰۵	۴/۴۳	۴/۸۴	۵/۲۷
۴"	۱/۱۷۸	۱/۸۵	۲/۱۶	۲/۴۴	۲/۷۲	۳/۰۱	۳/۳۲	۳/۶۴	۴/۰۲	۴/۴۰	۴/۸۱	۵/۲۵
۴ ۱/۲"	۱/۳۰۹	۱/۸۴	۲/۱۴	۲/۴۲	۲/۷۰	۲/۹۹	۳/۳۰	۳/۶۱	۴/۰۰	۴/۳۸	۴/۷۹	۵/۲۲
۵"	۱/۴۵۶	۱/۸۳	۲/۱۳	۲/۴۰	۲/۶۸	۲/۹۷	۳/۲۸	۳/۵۹	۳/۹۷	۴/۳۵	۴/۷۶	۵/۲۰
۶"	۱/۷۳۴	۱/۸۰	۲/۱۰	۲/۳۷	۲/۶۵	۲/۹۴	۳/۲۴	۳/۵۵	۳/۹۴	۴/۳۲	۴/۷۲	۵/۱۶
۷"	۱/۹۹۶	۱/۷۹	۲/۰۸	۲/۳۵	۲/۶۳	۲/۹۱	۳/۲۱	۳/۵۳	۳/۹۱	۴/۲۹	۴/۶۹	۵/۱۳
۸"	۲/۲۵۸	۱/۷۷	۲/۰۶	۲/۳۳	۲/۶۰	۲/۸۹	۳/۱۹	۳/۵۰	۳/۸۸	۴/۲۶	۴/۶۷	۵/۱۰
۹"	۲/۵۲۰	۱/۷۶	۲/۰۵	۲/۳۱	۲/۵۹	۲/۸۷	۳/۱۷	۳/۴۸	۳/۸۶	۴/۲۴	۴/۶۵	۵/۰۸
۱۰"	۲/۸۱۴	۱/۷۵	۲/۰۳	۲/۳۰	۲/۵۷	۲/۸۵	۳/۱۵	۳/۴۶	۳/۸۴	۴/۲۲	۴/۶۲	۵/۰۵
۱۲"	۳/۳۳۸	۱/۷۳	۲/۰۱	۲/۲۷	۲/۵۴	۲/۸۳	۳/۱۲	۳/۴۳	۳/۸۱	۴/۱۹	۴/۵۹	۵/۰۲
۱۴"	۳/۶۶۵	۱/۷۲	۲/۰۰	۲/۲۶	۲/۵۳	۲/۸۱	۳/۱۱	۳/۴۱	۳/۷۹	۴/۱۷	۴/۵۷	۵/۰۰
۱۶"	۴/۱۸۹	۱/۷۰	۱/۹۸	۲/۲۴	۲/۵۱	۲/۷۹	۳/۰۸	۳/۳۹	۳/۷۷	۴/۱۴	۴/۵۵	۴/۹۸
۱۸"	۴/۷۱۷	۱/۶۹	۱/۹۶	۲/۲۲	۲/۴۹	۲/۷۷	۳/۰۷	۳/۳۷	۳/۷۵	۴/۱۳	۴/۵۳	۴/۹۶
۲۰"	۵/۲۳۶	۱/۶۸	۱/۹۵	۲/۲۱	۲/۴۷	۲/۷۵	۳/۰۵	۳/۳۶	۳/۷۳	۴/۱۱	۴/۵۱	۴/۹۴
۲۴"	۶/۲۸۳	۱/۶۶	۱/۹۳	۲/۱۹	۲/۴۵	۲/۷۳	۳/۰۲	۳/۳۳	۳/۷۰	۴/۰۷	۴/۴۸	۴/۹۰
Vertical	Surface	۱/۸۴	۲/۱۴	۲/۴۲	۲/۷۰	۳/۰۰	۳/۳۰	۳/۶۲	۴/۰۰	۴/۳۸	۴/۷۹	۵/۲۲
Horizontal Surface Facing Upward		۲/۰۳	۲/۳۷	۲/۶۷	۲/۹۷	۳/۲۸	۳/۵۹	۳/۹۲	۴/۳۱	۴/۷۰	۵/۱۲	۵/۵۶
Horizontal Surface Facing Downward		۱/۶۱	۱/۸۶	۲/۱۱	۲/۳۶	۲/۶۴	۲/۹۳	۳/۲۳	۳/۶۰	۳/۹۷	۴/۳۷	۴/۸۰

۱ Btu/ft².°F.hr = ۵/۶۷۸ Wh/m².°C.hr

* ضریب تبدیل واحد به سیستم SI :

** برای تبدیل اتلاف حرارت سطح لوله‌ها به اتلاف حرارت در طول لوله کفایست ارقام جدول در این ضرایب ضرب شود.

ادامه جدول شماره ۲

قطر لوله	ضریب تبدیل** طول لوله (ft)	اختلاف درجه حرارت سطح لوله با محیط اطراف (°F)										
		۶۰۰	۶۵۰	۷۰۰	۷۵۰	۸۰۰	۸۵۰	۹۰۰	۹۵۰	۱۰۰۰	۱۰۵۰	۱۱۰۰
۱/۳"	۰/۲۲۰	۶/۱۹	۶/۶۹	۷/۲۲	۷/۷۹	۸/۳۹	۹/۰۳	۹/۷۰	۱۰/۴۲	۱۱/۱۸	۱۱/۹۸	۱۲/۸۲
۳/۴"	۰/۲۷۵	۶/۱۲	۶/۶۱	۷/۱۵	۷/۷۱	۸/۳۱	۸/۹۵	۹/۶۲	۱۰/۳۴	۱۱/۰۹	۱۱/۸۹	۱۲/۷۴
۱"	۰/۳۴۴	۶/۰۵	۶/۵۴	۷/۰۷	۷/۶۴	۸/۲۳	۸/۸۷	۹/۵۵	۱۰/۲۶	۱۱/۰۲	۱۱/۸۱	۱۲/۶۶
۱ ۱/۴"	۰/۴۳۵	۵/۹۷	۶/۴۷	۷/۰۰	۷/۵۶	۸/۱۶	۸/۷۹	۹/۴۷	۱۰/۱۸	۱۰/۹۴	۱۱/۷۳	۱۲/۵۸
۱ ۱/۲"	۰/۴۹۷	۵/۹۳	۶/۴۳	۶/۹۶	۷/۵۲	۸/۱۲	۸/۷۵	۹/۴۳	۱۰/۱۴	۱۰/۸۹	۱۱/۶۹	۱۲/۵۳
۲"	۰/۶۲۲	۵/۸۷	۶/۳۷	۷/۸۹	۷/۴۵	۸/۰۵	۸/۶۸	۹/۳۶	۱۰/۰۷	۱۰/۸۲	۱۱/۶۲	۱۲/۴۶
۲ ۱/۲"	۰/۷۵۳	۵/۸۲	۶/۳۱	۶/۸۴	۷/۴۰	۷/۹۹	۸/۶۳	۹/۳۰	۱۰/۰۱	۱۰/۷۱	۱۱/۵۶	۱۲/۴۰
۳"	۰/۹۱۶	۵/۷۷	۶/۲۶	۶/۷۹	۷/۳۵	۷/۹۴	۸/۵۷	۹/۲۵	۹/۹۶	۱۰/۷۱	۱۱/۵۱	۱۲/۳۴
۳ ۱/۲"	۱/۰۴۷	۵/۷۳	۶/۲۳	۶/۷۵	۷/۳۱	۷/۹۱	۸/۵۴	۹/۲۱	۹/۹۲	۱۰/۶۷	۱۱/۴۷	۱۲/۳۱
۴"	۱/۱۷۸	۵/۷۱	۶/۲۰	۶/۷۲	۷/۲۸	۷/۸۷	۸/۵۱	۹/۱۸	۹/۸۹	۱۰/۶۴	۱۱/۴۴	۱۲/۲۱
۴ ۱/۲"	۱/۳۰۹	۵/۶۸	۶/۱۷	۶/۶۹	۷/۲۵	۷/۸۴	۸/۴۸	۹/۱۵	۹/۸۶	۱۰/۶۱	۱۱/۴۱	۱۲/۲۵
۵"	۱/۴۵۶	۵/۶۵	۶/۱۵	۶/۶۸	۷/۲۲	۷/۸۱	۸/۴۵	۹/۱۲	۹/۸۳	۱۰/۵۸	۱۱/۳۸	۱۲/۲۲
۶"	۱/۷۳۴	۵/۶۱	۶/۱۰	۶/۶۳	۷/۱۹	۷/۷۸	۸/۴۱	۹/۰۸	۹/۷۹	۱۰/۵۴	۱۱/۳۴	۱۲/۱۷
۷"	۱/۹۹۶	۵/۵۸	۶/۰۷	۶/۶۰	۷/۱۵	۷/۷۵	۸/۳۸	۹/۰۵	۹/۷۶	۱۰/۵۱	۱۱/۳۰	۱۲/۱۴
۸"	۲/۲۵۸	۵/۵۶	۶/۰۵	۶/۵۷	۷/۱۲	۷/۷۲	۸/۳۵	۹/۰۲	۹/۷۳	۱۰/۴۸	۱۱/۲۷	۱۲/۱۱
۹"	۲/۵۲۰	۵/۵۳	۶/۰۲	۶/۵۴	۷/۱۰	۷/۶۹	۸/۳۲	۸/۹۹	۹/۷۰	۱۰/۴۵	۱۱/۲۴	۱۲/۰۸
۱۰"	۲/۸۱۴	۵/۵۱	۶/۰۰	۶/۵۲	۷/۰۸	۷/۶۷	۸/۳۰	۸/۹۷	۹/۶۸	۱۰/۴۳	۱۱/۲۲	۱۲/۰۶
۱۲"	۳/۳۳۸	۵/۴۸	۵/۹۶	۶/۴۸	۷/۰۴	۷/۶۳	۸/۲۶	۸/۹۳	۹/۶۴	۱۰/۳۹	۱۱/۱۸	۱۲/۰۲
۱۴"	۳/۶۶۵	۵/۴۶	۵/۹۴	۶/۴۷	۷/۰۲	۷/۶۱	۸/۲۴	۸/۹۱	۹/۶۲	۱۰/۳۷	۱۱/۱۶	۱۲/۰۰
۱۶"	۴/۱۸۹	۵/۴۳	۵/۹۲	۶/۴۴	۶/۹۹	۷/۵۹	۸/۲۱	۸/۸۸	۹/۵۹	۱۰/۳۴	۱۱/۱۳	۱۱/۹۷
۱۸"	۴/۷۱۷	۵/۴۱	۵/۹۰	۶/۴۲	۶/۹۷	۷/۵۶	۸/۱۹	۸/۸۶	۹/۵۷	۱۰/۳۲	۱۱/۱۱	۱۱/۹۴
۲۰"	۴/۲۳۶	۵/۳۹	۵/۸۸	۶/۴۰	۶/۹۵	۷/۵۴	۸/۱۷	۸/۸۴	۹/۵۵	۱۰/۲۹	۱۱/۰۹	۱۱/۹۲
۲۴"	۶/۲۸۳	۵/۳۶	۵/۸۴	۶/۳۶	۶/۹۲	۷/۵۱	۸/۱۴	۸/۸۰	۹/۵۱	۱۰/۲۶	۱۱/۰۵	۱۱/۸۹
Vertical	Surface	۵/۶۸	۶/۱۷	۶/۷۰	۷/۲۶	۷/۸۵	۸/۴۸	۹/۱۵	۹/۸۶	۱۰/۶۲	۱۱/۴۱	۱۲/۲۵
Horizontal Surface Facing Upward		۶/۰۲	۶/۵۲	۷/۰۵	۷/۶۱	۸/۲۱	۸/۸۵	۹/۵۲	۱۰/۲۴	۱۰/۹۹	۱۱/۷۹	۱۲/۶۳
Horizontal Surface Facing Downward		۵/۲۵	۵/۱۳	۶/۲۵	۶/۸۰	۷/۳۹	۸/۰۲	۹/۶۹	۹/۳۹	۱۰/۱۴	۱۰/۹۳	۱۱/۷۶

* ضریب تبدیل واحد به سیستم SI: $1 \text{ Btu/ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \cdot \text{hr} = 5/678 \text{ Wh/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{hr}$

** برای تبدیل اتلاف حرارت سطح لوله‌ها به اتلاف حرارت در طول لوله کافیتس ارقام جدول در این ضرایب ضرب شود.

ادامه جدول شماره ۲

قطر لوله	ضریب تبدیل طول لوله (ft)	اختلاف درجه حرارت سطح لوله با محیط اطراف (°F)									
		۱۱۵۰	۱۲۰۰	۱۲۵۰	۱۳۰۰	۱۳۵۰	۱۴۰۰	۱۴۵۰	۱۵۰۰	۱۵۵۰	۱۶۰۰
۱/۲"	۰/۲۲۰	۱۳/۷۱	۱۴/۶۴	۱۵/۶۲	۱۶/۶۶	۱۷/۷۳	۱۸/۸۷	۲۰/۰۶	۲۱/۳۰	۲۲/۵۹	۲۳/۹۵
۳/۴"	۰/۲۷۵	۱۳/۶۲	۱۴/۵۶	۱۵/۵۴	۱۶/۵۷	۱۷/۶۵	۱۸/۷۸	۱۹/۹۷	۲۱/۲۱	۲۲/۵۱	۲۳/۸۶
۱"	۰/۳۴۴	۱۳/۵۴	۱۴/۴۸	۱۵/۴۶	۱۶/۴۹	۱۷/۵۷	۱۸/۷۰	۱۹/۸۹	۲۱/۱۳	۲۲/۴۱	۲۳/۷۷
۱ ۱/۴"	۰/۴۳۵	۱۳/۴۶	۱۴/۳۹	۱۵/۳۸	۱۶/۴۱	۱۷/۴۹	۱۸/۶۲	۱۹/۸۰	۲۱/۰۴	۲۲/۳۴	۲۳/۶۹
۱ ۱/۲"	۰/۴۹۷	۱۳/۴۷	۱۴/۳۵	۱۵/۳۳	۱۶/۳۶	۱۷/۴۴	۱۸/۵۷	۱۹/۷۶	۲۰/۹۹	۲۲/۲۹	۲۳/۶۴
۲"	۰/۶۲۲	۱۳/۳۵	۱۴/۲۸	۱۵/۲۶	۱۶/۲۹	۱۷/۳۷	۱۸/۵۰	۱۹/۶۸	۲۰/۹۲	۲۲/۲۱	۲۳/۵۶
۲ ۱/۲"	۰/۷۵۳	۱۳/۲۹	۱۴/۲۲	۱۵/۲۰	۱۶/۲۳	۱۷/۳۰	۱۸/۴۴	۱۹/۶۲	۲۰/۸۶	۲۲/۱۵	۲۳/۵۰
۳"	۰/۹۱۶	۱۳/۲۳	۱۴/۱۶	۱۵/۱۴	۱۶/۱۷	۱۷/۲۵	۱۸/۳۸	۱۹/۵۶	۲۰/۸۰	۲۲/۰۹	۲۳/۴۴
۳ ۱/۲"	۱/۰۴۷	۱۳/۱۹	۱۴/۱۲	۱۵/۱۰	۱۶/۱۳	۱۷/۲۱	۱۸/۳۴	۱۹/۵۲	۲۰/۷۶	۲۲/۰۵	۲۳/۴۰
۴"	۱/۱۷۸	۱۳/۱۶	۱۴/۰۹	۱۵/۰۷	۱۶/۰۹	۱۷/۱۷	۱۸/۳۰	۱۹/۴۹	۲۰/۷۷	۲۲/۰۲	۲۳/۳۷
۴ ۱/۲"	۱/۳۰۹	۱۳/۱۳	۱۴/۰۶	۱۵/۰۴	۱۶/۰۷	۱۷/۱۴	۱۸/۲۷	۱۹/۴۶	۲۰/۶۹	۲۱/۹۹	۲۳/۳۴
۵"	۱/۴۵۶	۱۳/۱۰	۱۴/۰۳	۱۵/۰۱	۱۶/۰۴	۱۷/۱۱	۱۸/۲۴	۱۹/۴۳	۲۰/۶۶	۲۱/۹۶	۲۳/۳۱
۶"	۱/۷۳۴	۱۳/۰۶	۱۳/۹۹	۱۴/۹۶	۱۵/۹۹	۱۷/۰۷	۱۶/۲۰	۱۹/۳۸	۲۰/۶۲	۲۱/۹۱	۲۳/۲۶
۷"	۱/۹۹۶	۱۳/۰۲	۱۳/۹۵	۱۴/۹۳	۱۵/۹۵	۱۷/۰۳	۱۸/۱۶	۱۹/۳۴	۲۰/۵۹	۲۱/۸۷	۲۳/۲۲
۸"	۲/۲۵۸	۱۲/۹۹	۱۳/۹۲	۱۴/۹۰	۱۵/۹۲	۱۷/۰۰	۱۸/۱۳	۱۹/۳۱	۲۰/۵۵	۲۱/۸۴	۲۳/۱۹
۹"	۲/۵۲۰	۱۲/۹۶	۱۳/۸۹	۱۴/۸۷	۱۵/۹۰	۱۶/۹۷	۱۸/۱۰	۱۹/۲۸	۲۰/۵۲	۲۱/۸۱	۲۳/۱۶
۱۰"	۲/۸۱۴	۱۲/۹۴	۱۳/۸۷	۱۴/۸۴	۱۵/۸۷	۱۶/۹۵	۱۸/۰۸	۱۹/۲۶	۲۰/۴۹	۲۱/۷۹	۲۳/۱۳
۱۲"	۳/۳۳۸	۱۲/۹۰	۱۳/۸۳	۱۳/۸۰	۱۵/۸۳	۱۶/۹۱	۱۸/۰۴	۱۹/۲۲	۲۰/۴۶	۲۱/۷۴	۲۳/۰۹
۱۴"	۳/۶۶۵	۱۲/۸۸	۱۳/۸۱	۱۴/۷۸	۱۵/۸۱	۱۶/۸۹	۱۸/۰۱	۱۹/۲۰	۲۰/۴۳	۲۱/۷۲	۲۳/۰۷
۱۶"	۴/۱۸۹	۱۲/۸۵	۱۳/۷۸	۱۴/۷۵	۱۵/۷۸	۱۶/۸۶	۱۷/۹۸	۱۹/۱۷	۲۰/۴۰	۲۱/۶۹	۲۳/۰۴
۱۸"	۴/۷۱۷	۱۲/۸۳	۱۳/۷۵	۱۴/۷۳	۱۵/۷۵	۱۶/۸۳	۱۷/۹۶	۱۹/۱۴	۲۰/۳۸	۲۱/۶۷	۲۳/۰۱
۲۰"	۴/۲۳۶	۱۲/۸۰	۱۳/۷۳	۱۴/۷۱	۱۵/۷۳	۱۶/۸۱	۱۷/۹۴	۱۹/۱۲	۲۰/۳۵	۲۱/۶۴	۲۲/۹۹
۲۴"	۶/۲۸۳	۱۲/۷۷	۱۳/۶۹	۱۴/۶۷	۱۵/۷۰	۱۶/۷۷	۱۷/۹۰	۱۹/۰۸	۲۰/۳۱	۲۱/۶۱	۲۲/۹۵
Vertical	Surface	۱۳/۱۳	۱۴/۰۶	۱۵/۰۴	۱۶/۰۷	۱۷/۱۵	۱۸/۲۸	۱۹/۴۶	۲۰/۷۰	۲۱/۹۹	۲۳/۳۴
Horizontal Surface Facing Upward		۱۳/۵۲	۱۴/۴۵	۱۵/۴۳	۱۶/۴۶	۱۷/۵۴	۱۸/۶۷	۱۹/۸۶	۲۱/۱۰	۲۲/۳۹	۲۳/۷۴
Horizontal Surface Facing Downward		۱۲/۶۴	۱۳/۵۷	۱۴/۵۵	۱۵/۵۷	۱۶/۶۷	۱۷/۷۷	۱۸/۹۵	۲۰/۱۹	۲۱/۴۸	۲۲/۸۲

$$1 \text{ Btu/ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \cdot \text{hr} = 5/678 \text{ Wh/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{hr}$$

* ضریب تبدیل واحد به سیستم SI:

** برای تبدیل اتلاف حرارت سطح لوله‌ها به اتلاف حرارت در طول لوله کافیت ارقام جدول در این ضرایب ضرب شود.

مراجع

استانداردهای آمریکا (ASTM) برای آزمون مواد (عایق‌ها)

C1014	Standard Specification for Spray-Applied Mineral Fiber Thermal and Sound Absorbing Insulation
C1015	Standard Practice for Installation of Cellulosic and Mineral Fiber Loose-Fill Thermal Insulation
C727	Standard Practice for Installation and Use of Reflective Insulation in Building Constructions
C728	Standard Specification for Perlite Thermal Insulation Board
C1101	Standard Test Methods for Classifying the Flexibility or Rigidity of Mineral Fiber Blanket and Board Insulation
C1104	Standard Test Method for Determining the Water Vapor Sorption of un-faced Mineral Fiber Insulation
C1114	Standard Test Method for Steady-State Thermal

Transmission Properties by Means of the Thin-Heater
Apparatus

C1338	Standard Test Method for Determining Fungi Resistance of Insulation Materials and Facings
C163	Standard Practice for Mixing Thermal Insulating Cement Samples
C165	Standard Test Method for Measuring Compressive Properties of Thermal Insulations
C166	Standard Test Method for Covering Capacity and Volume Change Upon Drying of Thermal Insulating Cement
C167	Standard Test Methods for Thickness and Density of Blanket or Batt Thermal Insulations
C177	Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus
C195	Standard Specification for Mineral Fiber Thermal Insulating Cement
C196	Standard Specification for Expanded or Exfoliated Vermiculite Thermal Insulating Cement
C203	Standard Test Methods for Breaking Load and Flexural Properties of Block-Type Thermal Insulation
C204	Standard Specification for Cellulosic Fiber Insulating
C208	Board
C209	Standard Test Methods for Cellulosic Fiber Insulating Board

C240	Standard Test Methods of Testing Cellular Glass Insulation Block
C302	Standard Test Method for Density and Dimensions of Preformed Pipe-Covering- Type Thermal Insulation
C303	Standard Test Method for Dimensions and Density of Preformed Block and Broad-Type Thermal Insulation
C335	Standard Test Method for Steady-State Heat Transfer Properties of Horizontal Pipe Insulation
C351	Standard Test Method for Mean Specific Heat of Thermal Insulation
C356	Standard Test Method for Linear Shrinkage of Preformed High-Temperature Thermal Insulation Subjected to Soaking Heat
C447	Standard Practice for Estimating the Maximum Use Temperature of Thermal Insulations
C449/C449M	Standard Specification for Mineral Fiber Hydraulic Setting Thermal Insulating and Finishing Cement
C461	Standard Test Methods for Mastics and Coatings Used with Thermal Insulation
C405	Standard Practice for Estimating Consistency of Wet Mixed Thermal Insulating Cement
C411	Standard Test Method for Hot-Surface Performance of High-Temperature Thermal Insulation
C419	Standard Practice for Making and Curing Test Specimens of Mastic Thermal Insulation Coatings

-
- | | |
|------|---|
| C421 | Standard Test Method for Tumbling Friability of Preformed Block-Type Thermal Insulation |
| C488 | Standard Test Method for Conducting Exterior Exposure Tests of Finishes for Thermal Insulation |
| C533 | Standard Specification for Calcium Silicate Block and Pipe Thermal Insulation |
| C547 | Standard Specification for Mineral Fiber Pipe Insulation |
| C550 | Standard Test Method for Measuring Trueness and Squareness of Rigid Block and Board Thermal Insulation |
| C553 | Standard Specification for Mineral Fiber Blanket Thermal Insulation for Commercial and Industrial Applications |
| C578 | Standard Specification for Rigid, Cellular Polystyrene Thermal Insulation |
| C585 | Rigid Thermal Insulation for Nominal Sizes of Pipe and Tubing (NPS System) |
| C591 | Standard Specification for Unfaced Preformed Rigid Cellular Polyiso cyanurate Thermal Insulation |
| C592 | Standard Specification for Mineral Fiber Blanket Insulation and Blanket-Type Pipe Insulation (Metal Mesh Covered) (Industrial Type) |
| C610 | Standard Specification for Molded Expanded Perlite Block and Pipe Thermal Insulation |
| C612 | Standard Specification for Mineral Fiber Block and Board Thermal Insulation |

C647	Standard Guide to Properties and Tests of Mastics and Coating Finishes for Thermal Insulation
C656	Standard Specification for Structural Insulating Board, Calcium Silicate
C686	Standard Test Method for Parting Strength of Mineral Fiber Batt- and Blanket-Type Insulation
C687	Standard Practice for Determination of Thermal Resistance of Loose-Fill Building Insulation
C692	Standard Test Method for Evaluating the Influence of Thermal Insulations on External Stress Corrosion Cracking Tendency of Austenitic Stainless Steel
C726	Standard Specification for Mineral Fiber Roof Insulation Board
C739	Standard Specification for Cellulosic Fiber (Wood-Base) Loose-Fill Thermal Insulation
C740	Standard Practice for Evacuated Reflective Insulation in Cryogenic Service
C745	Standard Test Method for Heat Flux through Evacuated Insulations Using a Guarded Flat Plate Boil off Calorimeter
C755	Standard Practice for Selection of Vapor Retarders for Thermal Insulation
C795	Standard Specification for Thermal Insulation for Use in Contact with Austenitic Stainless Steel
C835	Standard Test Method for Total Hemispherical Emittance of Surfaces up to 1400°C

-
- | | |
|------|--|
| C846 | Standard Practice for Application of Cellulosic Fiber Insulating Board for Wall Sheathing |
| C870 | Standard Practice for Conditioning of Thermal Insulating Materials |
| C871 | Standard Test Methods for Chemical Analysis of Thermal Insulation Materials for Leachable Chloride, Fluoride, Silicate, and Sodium Ions |
| C892 | Standard Specification for High-Temperature Fiber Blanket Thermal Insulation |
| C916 | Standard Specification for Adhesives for Duct Thermal Insulation |
| C921 | Standard Practice for Determining the Properties of Jacketing Materials for Thermal Insulation |
| C929 | Standard Practice for Handling, Transporting, Shipping, Storage, Receiving, and Application of Thermal Insulation Materials for Use in Contact with Austenitic Stainless Steel |
| C930 | Standard Classification of Potential Health and Safety Concerns Associated with Thermal Insulation Materials and Accessories |
| C945 | Standard Practice for Design Considerations and Spray Application of a Rigid Cellular Polyurethane Insulation System on Outdoor Service Vessels |
| C950 | Standard Practice for Repair of a Rigid Cellular Polyurethane Insulation System on Outdoor Service Vessels |

- | | |
|-------|---|
| C991 | Standard Specification for Flexible Glass Fiber Insulation for Metal Buildings |
| C1029 | Standard Specification for Spray-Applied Rigid Cellular Polyurethane Thermal Insulation |
| C1033 | Standard Test Method for Steady-State Heat Transfer Properties of Pipe Insulation Installed Vertically |
| C1041 | Standard Practice for In-Situ Measurements of Heat Flux in Industrial Thermal Insulation Using Heat Flux Transducers |
| C1043 | Standard Practice for Guarded-Hot-Plate Design Using Circular Line-Heat Sources |
| C1044 | Standard Practice for Using the Guarded-Hot-Plate Apparatus in the One-Sided Mode to Measure Steady State Heat Flux and Thermal Transmission Properties |
| C1045 | Standard Practice for Calculating Thermal Transmission Properties under Steady-State Conditions |
| C1046 | Standard Practice for In-Situ Measurement of Heat Flux and Temperature on Building Envelope Components |
| C1055 | Standard Guide for Heated System Surface Conditions That Produce Contact Burn Injuries |
| C1057 | Standard Practice for Determination of Skin Contact Temperature from Heated Surfaces Using A Mathematical Model and Thermesthesio meter |
| C1058 | Standard Practice for Selecting Temperatures for Evaluating and Reporting Thermal Properties of Thermal Insulation |

-
- | | |
|-------|---|
| C1060 | Standard Practice for Thermographic Inspection of Insulation Installations in Envelope Cavities of Frame Buildings |
| C1071 | Standard Specification for Fibrous Glass Duct Lining Insulation (thermal and Sound Absorbing Material) |
| C1086 | Standard Specification for Glass Fiber Felt Thermal Insulation |
| C1094 | Standard Guide for Flexible Removable Insulation Covers |
| C1126 | Standard Specification for Faced or Unfaced Rigid Cellular Phonemic Thermal Insulation |
| C1129 | Standard Practice for Estimation of Heat Savings by Adding Thermal Insulation to Bare Valves and Flanges |
| C1130 | Standard Practice for Calibrating Thin Heat Flux Transducers |
| C1134 | Standard Test Method for Water Retention of Rigid Thermal Insulations Following Partial Immersion |
| C1146 | Standard Guide for Prefabricated Panel Insulation Systems for Ducts and Equipment Operating at Temperatures above Ambient Air |
| C1149 | Standard Specification for Self-Supported Spray Applied Cellulosic Thermal Insulation |
| C1153 | Standard Practice for Location of Wet Insulation in Roofing Systems Using Infrared Imaging |

C1155	Standard Practice for Determining Thermal Resistance of Building Envelope Components from the In-Situ Data
C1158	Standard Practice for Use and Installation of Radiant Barrier Systems (RBS) in Building Construction
C1199	Standard Test Method for Measuring the Steady-State Thermal Transmittance of Fenestration Systems Using Hot Box Methods
C1224	Standard Specification for Reflective Insulation for Building Applications
C1258	Standard Test Method for Elevated Temperature and Humidity Resistance of Vapor Retarders for Insulation
C1263	Standard Test Method for Thermal Integrity of Flexible Water Vapor Retarders
C1290	Standard Specification for Flexible Fibrous Glass Blanket Insulation Used to Externally Insulate HV AC Ducts
C1303	Standard Test Method for Estimating the Long-Term Change in the Thermal Resistance of Unfaced Rigid Closed Cell Plastic Foams by Slicing and Scaling Under Controlled Laboratory Conditions
C 1304	Standard Test Method for Assessing the Odor Emission of Thermal Insulation Materials
C1313	Standard Specification for Sheet Radiant Barriers for Building Construction Applications
C1320	Standard Practice for Installation of Mineral Fiber Batt and Blanket Thermal Insulation for Light Frame Construction

-
- | | |
|-------|--|
| C1321 | Standard Practice for Installation and Use of Interior Radiation Control Coating Systems (IRCCS) in Building Construction |
| C549 | Standard Specification for Pertite Loose Fill Insulation |
| E96 | Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials |
| C168 | Standard Terminology Relating to Thermal Insulation |
| C680 | Standard Practice for Determination of Heat Gain or Loss and the Surface Temperatures of Insulated Pipe and Equipment Systems by the Use of a Computer Program |
| COO7 | Standard Specification for Prefabricated Reflective Insulation Systems for Equipment and Pipe Operating at Temperatures above Ambient Air |
| COO5 | Standard Specification for Mineral-Fiber Blanket Thermal Insulation for Light Frame Construction and Manufactured Housing |
| C1363 | Standard Test Method for the Thermal Performance of Building Assemblies by Means of a Hot Box Apparatus |
| C1374 | Standard Test Method for Determination of Installed Thickness of Pneumatically Applied Loose-Fill Building Insulation |
| C1371 | Standard Test Method for Determination of Emittance of Materials Near Room Temperature Using Portable Emissometers |
| C1410 | Standard Specification for Cellular Melamine Thermal and Sound-Absorbing Insulation |

C1409	Standard Guide for Measuring and Estimating Quantities of Insulated Piping and Components
C1423	Standard Guide for Selecting Jacketing Materials for Thermal Insulation
C1373	Standard Practice for Determination of Thermal Resistance of Attic Insulation Systems under Simulated Winter Conditions
C1497	Standard Specification for Cellulosic Fiber Stabilized Thermal Insulation
C1427	Specification for Preformed Flexible Cellular Polyolefin Thermal Insulation in Sheet and Tubular Form
C520	Standard Test Methods for Density of Granular Loose Fill Insulations
C1393	Standard Specification for Perpendicularly Oriented Mineral Fiber Roll and Sheet Thermal Insulation for Pipes and Tanks
C1482	Standard Specification for Polyamide Flexible Cellular Thermal and Sound Absorbing Insulation
C1483	Standard Specification for Exterior Solar Radiation Control Coatings on Buildings
C1485	Standard Test Method for Critical Radiant Flux of Exposed Attic Floor Insulation Using an Electric Radiant Heat Energy Source
C1488	Standard Practice for Simulated Aging of Loose-Fill Insulation

C1484	Standard Specification for Vacuum Insulation Panels
C1498	Standard Test Method for Hygroscopes Sorption Isotherms of Building Materials
C1340	Standard Practice for Estimation of Heat Gain or Loss Through Ceilings Under Attics Containing Radiant Barriers by Use of a Computer Program
C1512	Standard Test Method for Characterizing the Effect of Exposure to Environmental Cycling on Thermal Performance of Insulation Products
C1511	Standard Test Method for Determining the Water Retention (Repellency) Characteristics of Glass Fiber Insulation (Aircraft Type)
C1549	Standard Test Method for Determination of Solar Reflectance near Ambient Temperature Using a Portable Solar Reflectometer
C653	Standard Guide for Determination of the Thermal Resistance of Low-Density Blanket-Type Mineral Fiber Insulation
C450	Standard Practice for Fabrication of Thermal Insulating Fitting Covers for NPS Piping, and Vessel Lagging
C800	Standard Specification for Glass Fiber Blanket Insulation (Aircraft Type)
C1289	Standard Specification for Faced Rigid Cellular Polyisocyanurate Thermal Insulation Board
C534	Standard Specification for Preformed Flexible Elastomeric Cellular Thermal Insulation in Sheet and Tubular Form

C1302	Standard Guide for Selection and Use of Keywords for Thermal Insulation Test Methods and Standards
C1139	Standard Specification for Fibrous Glass Thermal Insulation and Sound Absorbing Blanket and Board for Military Applications
C1534	Standard Specification for Flexible Polymeric Foam Sheet Insulation Used as a Thermal and Sound Absorbing Liner for Duct Systems
C1335	Standard Test Method for Measuring Non-Fibrous Content of Man-Made Rock and Slag Mineral Fiber Insulation
C552	Standard Specification for Cellular Glass Thermal Insulation
C390	Standard Practice for Sampling and Acceptance of Thermal Insulation Lots
C764	Standard Specification for Mineral Fiber Loose-Fill Thermal Insulation
C518	Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus
C1136	Standard Specification for Flexible, Low Permeance Vapor Retarders for Thermal Insulation
C516	Standard Specification for Vermiculite Loose Fill Thermal Insulation

ضرایب هم ارزی و تبدیل واحدهای انرژی

Energy Conversions and Equivalencies

* = exact conversion.

Length units:

- ꣳ 1 foot (ft) = 0.3048* meter (m) = 30.48* centimeters (cm)
- ꣳ 1 inch (in.) = 0.0254* m = 2.54* cm
- ꣳ 1 mile (mi.) = 1609.344* m = 1.609344* kilometers (km)
- ꣳ 1 km = 1000* m
- ꣳ 1 fathom (fath) = 6 (ft)
- ꣳ 1 micron = 10^{-4} cm
- ꣳ 1 furlong = 220 yd
- ꣳ 1 inch(in.) = 0.0833 foot
- ꣳ 1 foot (ft) = 12* inch
- ꣳ 1 yard(yd) = 3* foot
- ꣳ 1 mile(mi) = 5280*foot=1760* yard

Area units:

- ☞ 1 square inches(in²) = 6.452 square centimeters(cm²)
- ☞ 1 square foot (ft²)= 144* square inches (in²)
- ☞ 1 square meters(m²) = 10.76 square foot (ft²)
- ☞ 1 square miles (mi²) = 3097600* square yards
- ☞ 1 square yards = 9* square foot (ft²)
- ☞ 1 darcy = 9.8697*10⁻¹³ m²
- ☞ 1 hectare= 10 m² = 2.47105 acre

Volume (capacity) units:

- ☞ 1 barrel (bbl) = 42* U.S. gallons = 0.1589873 m³
- ☞ 1 U.S. gallon = 3.785412 liters = 3.785412 x 10⁻³ m³
- ☞ 1 cubic foot (cu ft, ft³) = 2.831685 x 10⁻² m³
- ☞ 1 liter (L) = 0.001* m³
- ☞ 1 milliliter (mL) = 0.001* L = 1* cubic centimeter (cm³) = 1.0* x 10⁻⁶ m³
- ☞ 1 litter(L) = 1.057 quarts (u.s.liquid)
- ☞ 1 pint = 0.125 gallon
- ☞ 1 u.s.gallon = 0.8327 imperial gallons
- ☞ 1 kilo liter = 6.2898 barrels
- ☞ 1 cubic inches(in³) = 16.39 chbic centimeters
- ☞ 1 cubic foot (ft³) = 1728* cubicinches (in³)
- ☞ 1 u.s.gallon= 0.1337 cubic foot (ft³)

Mass or weight units:

- ☞ 1 pound-mass (lbm) = 0.4535924 kilogram (kg) = 453.5924 grams (g)
- ☞ 1 short ton (ts) = 1* U.S. ton = 2000* lbm = 907.1847 kg
- ☞ 1 long ton (tl) = 1* U.K. ton = 2240* lbm = 1016.047 kg
- ☞ 1 metric ton (tm) = 1* tonne = 1000* kg = 1,000,000* grams(g) = 1* Megagram (Mg) = 2205* 1bm
- ☞ 1 ounce = 0.0625 (lbm)

Pressure units:

- 1 N = 10^5 dyne = 0.224809 lbf
- 1 (lbf) = 4.4475 newton(N)
- 1 lbm/in² (absolute) (psia) = 6.895 KN/m²
- 1 lbm/in² (psia) = 0.0680 atmospheres
- 1 lbm/in² (psia) = 27.67 (in-water)
- 1 lbm/in² (psia) = 51.72 (mm-mercury Hg)(torr)
- 1 lbm/in² (gauge)(psia) = 1 psia + 14.70
- 1 Kg/cm² = 735.6 (mm-mercury) (torr)
- 1 mm Hg = 1333.22 dyne/cm²
- 1 Kg/cm² = 0.9678 atomospheres
- 1 atmosphere = 101.3 KN/m²
- 1 Kg/cm² = 14.22 psia
- 1 atmosphere= 14.70 psia = 29.92 (in-mercury Hg)
- 1 bar = 100* KN/m² = 0.9869 atmospheres
- 1 bar = 1.020 Kg/cm² = 0.1 mpa
- 1 KN/m² = 0.1450 psia = 0.009869 atmospheres
- 1 (in-water) = 0.03614 psia

Density:

- 1 lbm/ft³ = 1.601846×10^{-2} g/cm³ = 16.01846 kg/m³
- 1 lbm/bbl = 2.853010×10^{-3} g/cm³ = 2.853010 kg/m³
- 1 lbm/U.S. gallon = 0.1198264 g/cm³ = 119.8264 kg/m³
- 1 g/cm³ = 1000* kg/m³ = 62.42 lbm/ft³

Viscosity:

- 1 centipoises = 0.0006720 lbm/ft.s = 0.001 * N.S/m²
- 1 lbm/ft.s = 1488 centipoises
- 1 poises = 100*centipoises = 1 * gr/cm.s
- 1 N.s/m² = 1000 centipoises

Energy units:

- ☞ 1 British thermal unit (Btu) = 1055.056 joules (J) = 252.1644 cal = 778.1693 ft-lbf
- ☞ 1 foot-pound (ft-lbf) = 1.355818 joules (J) = 0.3240483 cal
- ☞ 1 calorie (cal) = 4.184* joules (J)
- ☞ 1 dietary (food) Calorie (Cal) = 1000* calories = 1* kilocalorie (kcal)
- ☞ 1 hp-hr = 2.684520×10^6 J = 0.7456999 kilowatt-hour (kW-hr)
- ☞ 1 kilowatt-hour (kW-hr) = 3.6×10^6 J = 3412.141 Btu = 2.655224×10^6 ft-lbf
- ☞ 1 Quad = 1* quadrillion Btu = 1.0×10^{15} Btu = 1.055056 exajoule (EJ)
- ☞ 1 megajoule (MJ) = 1.0×10^6 J
- ☞ 1 gigajoule (GJ) = 1.0×10^9 J = 9.478170×10^5 Btu
- ☞ 1 terajoule (TJ) = 1.0×10^{12} J
- ☞ 1 petajoule (PJ) = 1.0×10^{15} J
- ☞ 1 exajoule (EJ) = 1.0×10^{18} J = 9.478170×10^{14} Btu = 0.9478170 Quad
- ☞ 1 Therm = 100,000* Btu = 1.055056×10^8 J
- ☞ 1 erg = 2.39×10^{-8} cal = 1 dyne.cm = 10^{-7} J

Power units:

- ☞ 1 watt (W) = 1* joule/second (J/s) = 3.412141 Btu/hr
- ☞ 1 horsepower (hp) = 550* ft-lbf/s = 2544.433 Btu/hr = 745.6999 W
- ☞ 1 quadrillion Btu per year (Quad/yr) = 1.055056×10^{12} MJ/yr = 1.055056×10^6 TJ/yr = 1.055056 EJ/yr
- ☞ 1 newton – meter (torque) = 0.737562 (lbf-ft)

Thermal Conductivity:

- ✎ $1 \text{ Btu/ft.hr.}^{\circ}\text{F} = 1.731 \text{ W/m.}^{\circ}\text{K} = 1.488 \text{ Kcal/m.}^{\circ}\text{C.hr}$
- ✎ $1 \text{ W/ m.}^{\circ}\text{K} = 0.5778 \text{ Btu/ft.hr.}^{\circ}\text{F}$
- ✎ $1 \text{ Kcal/m.}^{\circ}\text{C.hr} = 1.163 \text{ W/m.}^{\circ}\text{K} = 0.6720 \text{ Btu/ft.hr.}^{\circ}\text{F}$
- ✎ $1 \text{ Btu/ft}^2\text{.hr.}^{\circ}\text{F} = 5.678 \text{ W/m}^2\text{.}^{\circ}\text{K}$

Heat capacity:

- ✎ $1 \text{ Btu/lbm.}^{\circ}\text{F} = 1 * \text{ cal/gr.}^{\circ}\text{C} = 4187 \text{ J/Kg.}^{\circ}\text{K}$
- ✎ $1 \text{ J/Kg.}^{\circ}\text{K} = 0.0002388 \text{ Btu/lbm.}^{\circ}\text{F}$
- ✎ $1 \text{ cal/gr.}^{\circ}\text{C} = 1 * \text{ Btu/lbm.}^{\circ}\text{F}$

Calorific value = Heating value:**✎ Mass basis:**

- ✎ $1 \text{ Btu/lbm} = 2.326 \times 10^3 \text{ J/kg}$
- ✎ $1 \text{ cal/g} = 4184 * \text{ J/kg}$
- ✎ $1 \text{ cal/lbm} = 9.224141 \text{ J/kg}$

✎ Volume basis:

- ✎ $1 \text{ Btu/U.S. gallon} = 7.742119 \times 10^{-2} \text{ (kW-hr)/m}^3 = 2.787163 \times 10^5 \text{ J/m}^3$
- ✎ $1 \text{ Btu/ft}^3 = 1.034971 \times 10^{-2} \text{ (kW-hr)/m}^3 = 3.725895 \times 10^4 \text{ J/m}^3$
- ✎ $1 \text{ ft-lbf/U.S. gallon} = 3.581692 \times 10^2 \text{ J/m}^3$
- ✎ $1 \text{ cal/cm}^3 = 4.184 * \times 10^6 \text{ J/m}^3$

Temperature Units:

- ✎ $1 (^{\circ}\text{K}) \text{ kelvin} = 1.8 (^{\circ}\text{R}) \text{ Rankin}$
- ✎ $1 (^{\circ}\text{R}) = 0.5556 (^{\circ}\text{K})$
- ✎ $1 (^{\circ}\text{F}) \text{ Fahrenheit} = 1.8 (^{\circ}\text{C}) + 32$
- ✎ $1 (^{\circ}\text{K}) = (^{\circ}\text{C}) + 273$
- ✎ $1 (^{\circ}\text{R}) = (^{\circ}\text{F}) + 459.7$

Geothermal gradient:

- ☞ $1\text{ }^{\circ}\text{F/ft} = 1.822689\text{ }^{\circ}\text{C/m}$
- ☞ $1\text{ }^{\circ}\text{C/m} = 0.54864\text{ }^{\circ}\text{F/ft}$
- ☞ $1\text{ }^{\circ}\text{F/1000 ft} = 1.822689\text{ }^{\circ}\text{C/km}$
- ☞ $1\text{ }^{\circ}\text{C/km} = 0.54864\text{ }^{\circ}\text{F/1000 ft}$

Concentration (in water solution):

- ☞ $1\text{ parts per million (ppm)} = 1\text{ }^{\circ} (\text{mg/lit}) (\text{milligram per liter})$
- ☞ $1\text{ parts per billion (ppb)} = 1\text{ }^{\circ} (\text{mg/lit}) (\text{microgram per liter})$
- ☞ $1\text{ milligram per cubic meter (mg/m}^3\text{)} = 10^{-9}\text{ (gr/cm}^3\text{)}$
- ☞ $1\text{ lbm/ft}^3 = 0.01602\text{ gr/cm}^3$
- ☞ $1\text{ gr/cm}^3 = 10^9\text{ (mg/m}^3\text{)} = 62.42\text{ lbm/ft}^3$

Flow :

- ☞ $1\text{ ft}^3/\text{s} = 448.9\text{ u.s.gallons/min}$
- ☞ $1\text{ ft}^3/\text{min (cfm)} = 1.699\text{ m}^3/\text{hr}$

Approximate fuel relationships:

- ☞ $1\text{ barrel (bbl) crude oil} = 42\text{ }^{\circ} \text{ gallons} = 5.8 \times 10^6\text{ Btu} = 6.12 \times 10^9\text{ J}$
- ☞ $1\text{ standard cubic foot (std ft}^3\text{) of natural gas (SCF)} = 1000\text{ Btu}$
- ☞ $1\text{ gallon gasoline} = 1.24 \times 10^5\text{ Btu}$
- ☞ $10^6\text{ cubic feet of natural gas} = 172\text{ barrels of crude oil}$
- ☞ $1\text{ ton coal} = 20\text{-}40 \times 10^6\text{ Btu}$
- ☞ $1\text{ lbm bituminous coal} = 1.3 \times 10^4\text{ Btu}$
- ☞ $1\text{ ton uranium-235 (}^{235}\text{U)} = 70 \times 10^{12}\text{ Btu}$
- ☞ $1000\text{ bbl/day of oil} = 2.117 \times 10^{12}\text{ Btu/yr}$
- ☞ $1\text{ million barrels of oil per day (1 MBOPD)}$
 $= 5.8 \times 10^{12}\text{ Btu/day}$
 $= 80\text{ million tons per year of coal}$
 $= 5.8 \times 10^9\text{ ft}^3\text{ per day of natural gas}$
- ☞ $1\text{ million tonnes of coal equivalent} = 29.0\text{ PJ}$
- ☞ $1\text{ million tonnes of oil equivalent} = 41.868\text{ PJ}$

☞ 1 barrel condensate = 0.935 barrels of equivalent

☞ 1 PJ of Natural gas = 172000 barrels of oil equivalent

☞ 1 tonne LPG = 8.46 barrels of oil equivalent

Approximate calorific values:

☞ **Petroleum:**

= 5.8×10^6 Btu/bbl

= 1.4×10^5 Btu/U.S. gallon

= 19,000 Btu/lbm (using a density of 7.4 lbm/gallon)

= 42,000 Btu/kg

☞ Coal:

= 6,000 to 15,000 Btu/lbm, depending on the [rank](#) of coal

= 13,200-33,000 Btu/kg

☞ Natural gas:

= 1000 Btu/ft³

= 25,000 Btu/lbm (using a density of 0.04 lbm/ft³)

= 55,000 Btu/kg

☞ Uranium-235:

= 3.3×10^{10} Btu/lbm

= 7.3×10^{10} Btu/kg

Emission indices (Kg CO₂/GJ)

- LPG 60
- Natural Gas 58
- Crude Oil 76
- Coal (electricity) 290

Multiples of Ten:

- pico (p) = 10^{-12}
- nano (n) = 10^{-9}
- micro (μ) = 10^{-6}
- milli (m) = 10^{-3}
- kilo (k) = 10^3
- mega (M) = 10^6
- giga (G) = 10^9
- tera (T) = 10^{12}

Fuel Heating Values:

• Solid Fuel			GJ/tonne		
	Black Coal	Export coking coal			29.0
		Export steaming coal			27.0
		Local coal (electricity)			24.0
	Brown Coal				9.5
	Coke				27.0
	Wood	Dry			16.2
	Bagasse				9.6
	Plant Biomass	Cotton trash			18.0
• Gaseous Fuel			MJ/m ³		
	Natural Gas				39.0
	Ethane				66.0
	LPG	Propane			93.3
	LPG	butane			124.0
	Town Gas	reformed gas			20.0
	Gas	coke oven			18.1
	Gas	blast furnace			4.0
• Liquid Fuel			MJ/litre	Litre/Tonne	GJ/tonne
	LPG	propane	25.3	1960	49.6
	LPG	butane	27.7	1750	49.1
	LPG	mixture	25.7	1928	49.6
	Gasoline	aviation	33.0	1412	49.6
	Gasoline	automotive	34.2	1360	46.4
	Kerosene	power	37.5	1230	46.1
	Kerosene	turbine fuel	36.8	1261	46.4
	Kerosene	lighting	36.6	1270	46.5
	Heating Oil		37.3	1238	46.2
	Diesel Oil	automotive	38.6	1182	45.6
	Diesel Oil	industrial	39.6	1135	44.9
	Fuel Oil	low sulphur	39.7	1110	44.1
	Fuel Oil	high sulphur	40.8	1050	42.9
	Refinery Fuel		40.9	1050	42.9
	Naphtha		31.4	1534	481
	Lubricants		38.8	1120	43.4
	Bitumen		44.0	981	42.7
	Solvents		34.4	1229	44.0
	Waxes		38.8	1180	45.8
	Crude Oil		38.7	1160	44.9
	Ethanol		23.4	1266	29.6
	LNG	-160C & 300kPa	25.0	2174	54.4
• Uranium			GJ/tonne		
	Uranium	metal (U)			560,000
	Uranium	oxide (U ₃ O ₈)			470,000

آدرس سایت‌های مرتبط

WWW.energy_efficiency.gou.uk

WWW.aceee.org/consumerguide

WWW.caddet_ee.org

WWW.eren.doe.gov

WWW.ase.org/consumer/index.htm

WWW.ensi.no/

WWW.miltonhydro.com/Enefficiency.html

WWW.energystar.gov

WWW.actionenergy.org.uk

WWW.insulation.kingspan.com/kll/products/kooltherm/pipe/index3.html

WWW.foam_insulation.co.uk

WWW.engineeringtoolbox.com/4.htm

WWW.diydata.com/project/pipe_insulation/pipe_insulation.htm

WWW.lica.acad.co.uk

WWW.Knaufinsulation.co.uk/products/gmwpipes.asp

WWW.giscocorp.homestead.com

WWW.Thermal_insulation_material.manufturers.alibaba.com

WWW.pege.org/gemini/wro_iso.htm

WWW.Thermalfoams.com/contruction/insulation/pipe_insulation.htm

WWW.dow.com/styrofoam/na/dowpipe/app/insulat.htm

کل هزینه

دلار در سال

قیمت عایق

یک لایه

دو لایه

سه لایه

هزینه اتلاف انرژی

ضخامت عایق

اتلاف حرارت (Wh/m^2)

ضخامت عایق (m)

اتلاف انرژی سالانه

ضخامت عایق

هزینه عایق‌کاری

ضخامت عایق

95°C

25°C

r_2

r_1

عایق

$R = 0.37 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$

جدول شماره ۷

ضخامت عایق