درسنامهٔ تهویه مطبوع

۹

چیلر پیچی و گریز از مرکز

محمدرضا سلطاندوست

چیلر پیچی و گریز از مرکز

چیلر پیچی و گریز از مرکز

ترجمه و تألیف: محمدرضا سلطاندوست

سرشناسه	سلطاندوست، محمد رضا، ۱۳۴۱ -
عنوان و نام پدیدآور	چیلر پیچی و گریز از مرکز/ ترجمه و تالیف محمدرضا سلطاندوست؛ ویراستار افسانه پایداردارایان.
وضعیت ویراست	ویراست ۲.
مشخصات نشر	تهران : یزدا ، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری	۹۶ ص.: مصور؛ ۱۹×۵/۹ س‌م.
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۱۶۵-۹۳۲-۴
وضعیت فهرست‌نویسی	فیپا
یادداشت	کتابنامه.
موضوع	سردسازی و دستگاه‌های سردکننده Refrigeration and refrigerating machinery برج‌های خنک‌کننده Cooling towers تهویه مطبوع -- وسایل و تجهیزات -- طراحی و ساخت Air conditioning -- Equipment and supplies -- Design and construction
رده‌بندی کنگره	TP۴۹۲
رده‌بندی دیویی	۶۲۱/۵۶
شماره کتابشناسی ملی	۸۷۰۹۴۶۷
اطلاعات رکورد کتابشناسی	فیپا

چیلر پیچی و گریز از مرکز

ویرایش دوم

ترجمه و تألیف: محمدرضا سلطاندوست

ناشر: یزدا / **چاپ اول:** پاییز ۱۴۰۰ / **قطع:** پالتویی / **تعداد صفحات:** ۹۶ صفحه / **آماده‌سازی قبل از چاپ:** نشریه تهویه و تبرید / **ویراستار:** افسانه پایدار داریان / **مدیر تولید:** محمد پیروزمند / **طراح روی جلد:** سهند سلطاندوست / **چاپ و صحافی:** یزدا / **شمارگان:** ۱۰۰ نسخه /

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۵-۹۳۲-۴ **ISBN:** 978-600-165-932-4

نشر یزدا و گروه نشریات

دفتر نشر و نمایشگاه دائمی: تهران، سیدخندان، خیابان ارسباران، کوچهٔ ستاری، شمارهٔ ۲۲، ساختمان یزدا **دورنگار:** ۲۲۸۸۵۶۵۱ (۰۲۱) **تلفن:** ۵۰-۲۲۸۸۵۶۴۷ (۰۲۱)

توجه: به موجب قانون حمایت حقوق مؤلفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸/۱۰/۱۱ و همچنین قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی مصوب سال ۱۳۵۰ تمام حقوق این اثر به هر نحو برای مؤلف محفوظ است. نشر و پخش تمام یا قسمتی از این کتاب بدون اجازه از مؤلف، باعث پیگرد قانونی خواهد شد.

خرید آنلاین: www. yazdamarket. com

اینستاگرام: https://www. instagram. com/yazdamarket/

فهرست

مقدمه ۷
اجزای چیلر پیچی ۸
روتورهای پیچی ۱۰
مکش و دهش مبرد در کمپرسور پیچی ۱۲
جداکننده روغن در چیلر با کمپرسور پیچی ۱۵
سیستم روغن‌کاری چیلر با کمپرسور پیچی ۱۶
اجزای چیلر با کمپرسور گریز از مرکز ۱۷
کمپرسور گریز از مرکز ۱۸
پروانه گریز از مرکز ۱۹
کمپرسور گریز از مرکز ۲۰
تبدیل انرژی در کمپرسور گریز از مرکز ۲۱
کمپرسور چند مرحله‌ای گریز از مرکز ۲۲
الکتروموتور کمپرسور ۲۳
الکتروموتور باز و بسته ۲۴
کندانسور آبی ۲۶
کندانسور هوایی ۲۸
شیر انبساطی الکترونیکی ۲۹
صفحات روزنه‌دار ۳۰
جداکنندهٔ بخار مبرد از مایع مبرد ۳۲
صرفه‌گر در چیلر گریز از مرکز ۳۴
صرفه‌گر دو مرحله‌ای ۳۶
اواپراتور سیلابی ۳۸
اواپراتور انبساط مستقیم ۴۰
تابلوی برق و کنترل‌کننده‌ها ۴۲

چرخهٔ مبرد در چیلر پیچی ۴۴
نمودار فشار-انتالپی در چیلر با کمپرسور پیچی ۴۶
چرخهٔ کامل در نمودار فشار - انتالپی چیلر پیچی ۴۸
چرخهٔ مبرد در چیلر گریز از مرکز ۵۰
نمودار فشار-انتالپی چیلر گریزازمرکز ۵۱
چرخهٔ کامل در نمودار فشار – انتالپی ۵۲
مبردهای مورد استفاده ۵۴
مشخصات ترمودینامیکی مبردها ۵۶
فشار کار مبرد ۵۸
سیستم تخلیه ۶۰
سیستم جمع‌آوری و تخلیه در چیلر گریزازمرکز ۶۲
کنترل ظرفیت کمپرسور پیچی ۶۴
چگونگی عملکرد سوپاپ لغزنده ۶۶
کنترل ظرفیت کمپرسور گریز از مرکز ۶۸
محرک فرکانس متغیر ۷۱
نقطهٔ کار کمپرسور گریز از مرکز ۷۲
نمودار کمپرسور گریز از مرکز ۷۳
تعیین نقطهٔ کار بر روی نمودار ۷۴
نمودار عملکرد کمپرسور در بارهای مختلف ۷۵
بازیافت گرما در چیلر گریز از مرکز ۷۷
کندانسور آبی یا کندانسور هوایی؟ ۷۸
کنترل دمای تقطیر ۸۱
کنترل دمای آب کندانسور ۸۲
پمپ جریان متغیر برای آب سرد اواپراتور ۸۴
تصاویر عملکرد چیلر پیچی و گریز از مرکز ۸۵
مراجع ۹۱

مقدمه

چیلر پیچی و گریز از مرکز، هر دو از نظر نوع چرخهٔ سرمایش تراکمی یکسان‌اند؛ اما هرکدام شیوهٔ کاملاً متفاوتی در سرمایش تراکمی را نمایندگی می‌کنند. چیلر با کمپرسور پیچی در گروه بزرگ تراکم با جابه‌جایی مثبت قرار می‌گیرد؛ اما چیلر با کمپرسور گریز از مرکز دارای شیوهٔ تراکم دینامیک یا جنبشی است.

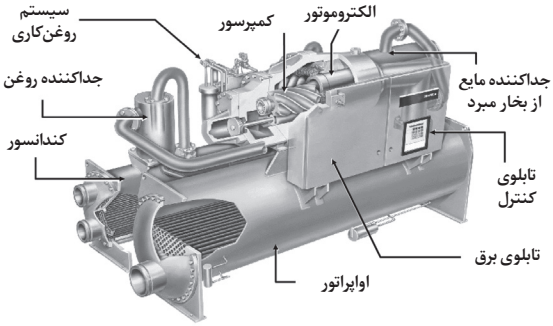
در شیوهٔ تراکم با جابه‌جایی مثبت که شامل اغلب کمپرسورها از جمله کمپرسورهای رفت و آمدی، اسکرول و پیچی می‌شود؛ عامل تراکم با جابه‌جایی از یک نقطه به نقطهٔ دیگر در یک محفظه تولید فشار می‌کند. در حالی که در کمپرسورهای دینامیک، ساختار کمپرسور به‌گونه‌ای است که گاز ورودی به‌طور پیوسته و نه متناوب متراکم می‌شود و تراکم نه به دلیل تغییر حجم، بلکه مبتنی بر سرعت گاز و تبدیل انرژی جنبشی به استاتیک صورت می‌گیرد.

در این کتاب کوچک نکات اصلی مربوط به دو چیلر تراکمی پیچی و گریز از مرکز به همراه هم آمده است. توضیح این که در مجموعهٔ منتشر شده توسط شرکت «ترین» هر یک از چیلرهای پیچی و گریز از مرکز دارای متنی جداگانه بودند؛ اما بخش قابل توجهی از هر دو متن یکسان بود. بنابراین تصمیم گرفتم که دو موضوع را با توجه به اشتراکاتشان در یک کتاب بگنجانم. امیدوارم حاصل کار مورد استفاده علاقه‌مندان قرار گیرد.

محمدرضا سلطاندوست

پائیز یک‌هزار و چهارصد

اجزای چیلر پیچی



تصویر بالا اجزای اصلی یک چیلر پیچی از نوع کندانسور آبی را نمایش می‌دهد. اجزای اصلی قابل مشاهده در تصویر بالا، عبارت است از:

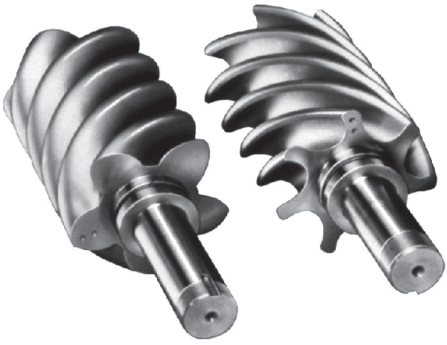
- اواپراتور پوسته – لوله از نوعی که مایع مبرد در پوسته تبخیر می‌شود و آب از میان لوله‌ها عبور می‌کند.
- کمپرسور متشکل از یک روتور دوقلوی پیچی و الکتروموتور
- کندانسور آبی از نوع پوسته – لوله که در آن مبرد در پوسته تقطیر می‌شود و آب در داخل لوله‌ها جریان می‌یابد.
- جداکننده بخار از مایع مبرد که می‌تواند بازده را افزایش دهد.
- سیستم روغن‌کاری در نزدیکی پوسته کمپرسور برای افزایش بازده تبادل حرارت

- تابلوی برق و کنترل

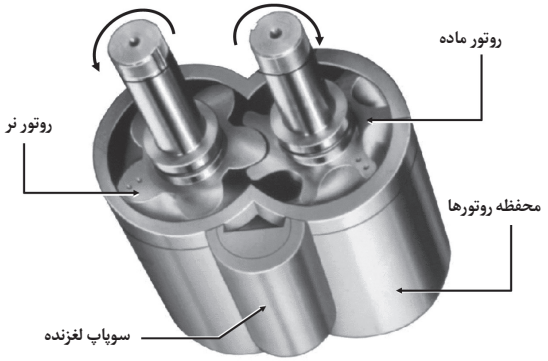
(شیر انبساطی الکترونیکی از دیگر اجزایی اصلی محسوب می‌شود که در تصویر بالا قابل مشاهده نیست.)

چیلرهای تراکمی پیچی در دو نوع کندانسور آبی و هوایی در ظرفیت‌های 70 تا 450 تن تبرید (200-1500kW) مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ اما محور توضیحات این کتاب دربارهٔ چیلرهای پیچی با کندانسور آبی است.

روتورهای پیچی

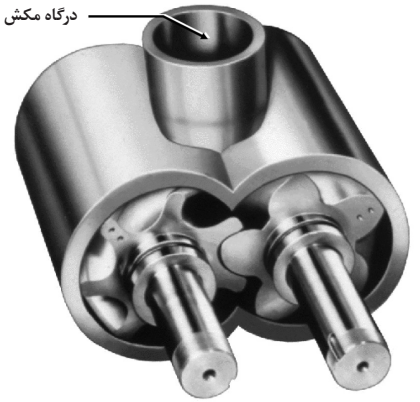


دو روتور مارپیچ نر و ماده که بخش اصلی کمپرسور را تشکیل می‌دهند جدا از هم در تصویر بالا قابل مشاهده است.



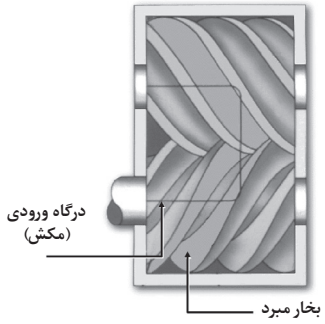
روتورهای درگیر در داخل محفظه قرار می‌گیرند و فاصلهٔ آنها از ســـطح داخلی پوسته بسیار اندک است. در میان این دو مارپیچ، محرک اصلی که توسط الکتروموتور به گردش در

می‌آید، مارپیچ نر است و به تبع آن روتور ماده نیز می‌گردد.

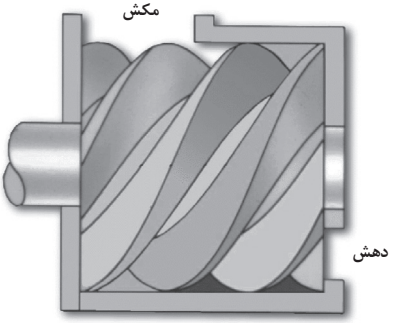


معبر مکش در بالای محفظهٔ روتور قابل مشاهده است. در این مورد، معبر مکش در بالای محفظه قرار گرفته است.

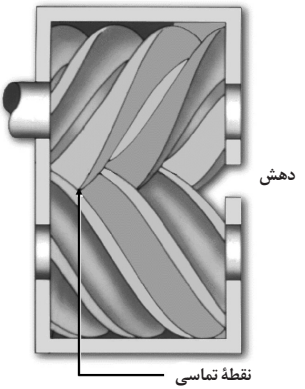
مکش و دهش مبرد در کمپرسور پیچی



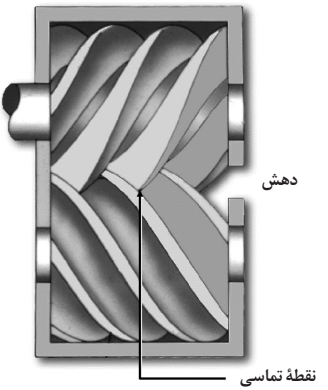
بخار مبرد با فشـــار کم وارد محفظهٔ روتور می‌شـــود و بین دندانه‌های دو روتور شکل می‌گیرد و با گردش آنها متراکم‌تر شـــده و به جلو رانده می‌شود. در این تصویر دو روتور از بالا دیده می‌شوند.



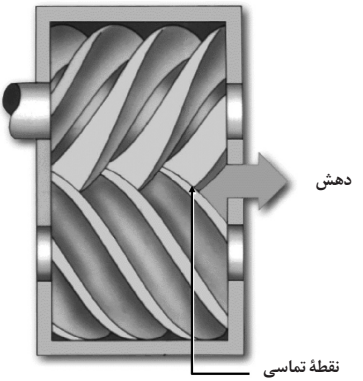
این تصویر روتور را از پهلو نشـــان می‌دهد. محل ورود و خروج مبرد در این تصویر قابل مشاهده است.



در این تصویر دو روتور از بالا نمایش داده شده‌اند. درگیر شـــدن دنده‌های دو مارپیچ، بخار مبرد را به دام انداخته و از نقطهٔ تماســـی که در تصویر نشان داده شده است به جلو می‌راند.

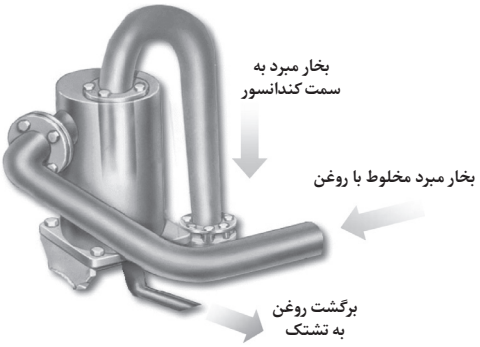


ادامهٔ گردش دو روتور بخار مبرد را در هر مرحله متراکم‌تر کرده تا این که مبرد از معبر دهش خارج می‌شود. در بخش انتهایـــی دو مارپیچ، به اندازهٔ کافی از حجم مبرد کاســـته می‌شود و فشار آن افزایش می‌یابد.



در نهایت بخار مبرد متراکم از معبر دهش خارج می‌شود. در مسیر مکش و دهش این نوع کمپرسورها از هیچ شیری استفاده نمی‌شود.

جداکننده روغن در چیلر با کمپرسور پیچی

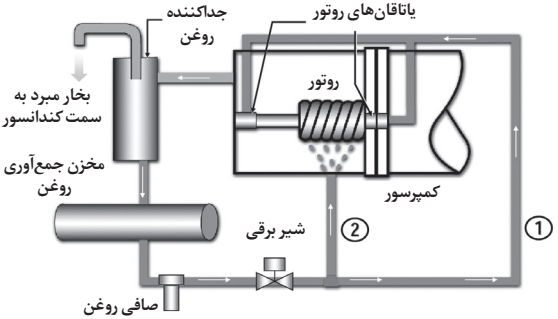


بخار مبرد خروجی از کمپرسور آغشته به روغن است و به منظور جلوگیری از کاهش سطح روغن کمپرسور و هم‌چنین جلوگیری از ورود روغن به کندانسور از جداکنندهٔ روغن[1] در مسیر خروجی کمپرسور و ورودی کندانسور استفاده می‌شود.

جداکنندهٔ روغن از یک استوانه تشکیل شده که مخلوط بخار مبرد و روغن از پهلو به درون آن می‌ریزد. روغن در بخش زیرین استوانه جمع شده و به تشتک روغن باز می‌گردد و بخار مبرد صعود کرده و از طریق لوله‌ای که به بخش فوقانی استوانه متصل و تا حدودی هم در داخل استوانه امتداد یافته است؛ خارج می‌شود و به سمت کندانسور می‌رود.

1- *Oil Separator*

سیستم روغن‌کاری چیلر با کمپرسور پیچی

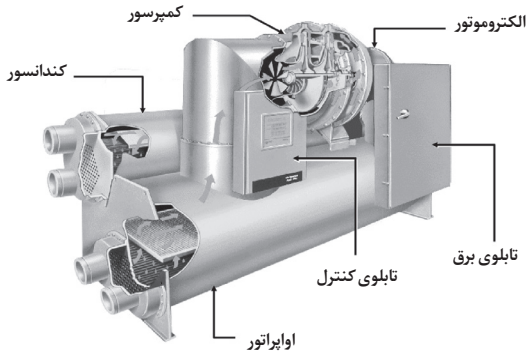


در تصویر بالا، سیستم روغن‌کاری[1] کمپرسور پیچی دیده می‌شود که در آن مسیر 1 برای روغن‌کاری یاتاقان‌های ابتدایی و انتهایی و مسیر 2 برای روغن‌کاری روتورهای کمپرسور پیچی پیش‌بینی شده است.

در مسیر خروجی روغن از مخزن فیلتر و پس از آن یک شیر برقی وجود دارد. شیربرقی مخزن را از سمت فشار ضعیف به هنگام خاموش شدن کمپرسور جدا می‌کند و مانع از خروج روغن به سمت اواپراتور می‌شود.

1- *Oil Supply System*

اجزای چیلر با کمپرسور گریز از مرکز

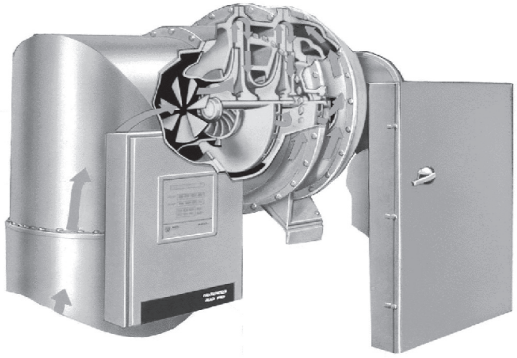


در تصویـــر بالا اجزای اصلی یک چیلر تراکمی با کمپرســـور گریز از مرکز شامل کمپرســـور، الکتروموتور، اواپراتور از نوع ســـیلابی، کندانسور آبی، تابلوی کنترل و تابلوی برق شامل مدار قدرت و راه‌انداز دیده می‌شود.

چیلرهای گریز از مرکز به ویژه در ظرفیت‌های کم، قابلیت استفاده از کندانســـورهای هوایی را دارند؛ اما اغلب دارای کندانسور آبی هستند.

یکی از ویژگی‌هـــای مهم چیلرهای گریز از مرکز ظرفیت بســـیار بیشتر آنها نسبت به ســـایر چیلرهای تراکمی است. دامنهٔ ظرفیت معمول این چیلرها بین 100 تا 3000 تن تبرید یا 350 تا 10500 کیلووات اســـت و تا 8500 تن تبرید یا 30000 کیلووات نیز قابل ساخت هستند.

کمپرسور گریز از مرکز



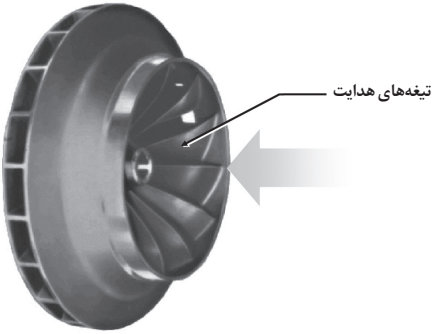
کمپرســـور گریز از مرکز[1] از یک یا چند پروانه متوالی تشکیل شده است که با گردش، بخار مبرد را متراکم می‌کند.

شـــیوهٔ متراکم‌سازی در کمپرســـور گریز از مرکز از نوع دینامیک است. در حالی که کمپرسورهای پیچی بر مبنای جابه‌جایی مثبت عمل می‌کنند. سرعت بخشیدن به سیال و افزایش انرژی جنبشی، اساس متراکم‌سازی در کمپرسورهای گریز از مرکز است.

راســـتای بخار مبرد ورودی به کمپرسور با راستای بخار متراکم خروجی از آن هم‌چون پمپ‌های گریز از مرکز که برای مایعات مورد استفاده قرار می‌گیرند دارای زاویه 90 درجه‌ای است.

1- Centrifugal Compressor

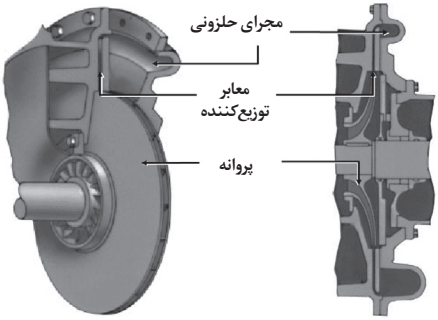
پروانه گریز از مرکز



بخش اصلی کمپرســـور؛ پروانه‌ای[1] مانند تصویر بالاست که با دوران، بخار مبرد را از قسمت میانی مکیده و با زاویه 90 درجه‌ای، آن را از کناره به بیرون می‌راند.

1- *Impeller*

کمپرسور گریز از مرکز



گردش پروانه در داخل محفظه به بخار مبرد شتاب می‌دهد. بخار شتاب گرفته وارد معابر توزیع در محفظه می‌شود. اندازهٔ معابر از نقطهٔ ترک پروانه تا خروجی از کمپرسور به تدریج بزرگتر می‌شود. به همان نسبت نیز از شتاب و انرژی جنبشی بخار مبرد کاسته می‌شود.

براساس اولین قانون ترمودینامیک، انرژی نابود نمی‌شود؛ بلکه از شکلی به شکل دیگر تبدیل می‌شود. بنابراین انرژی جنبشی مبرد نیز تبدیل به انرژی استاتیک و یا به عبارت دیگر فشار استاتیک می‌شود.

بخار مبرد پرفشار به فضای مارپیچی[1] یا حلزونی پیرامون کمپرسور که دارای حجم بیشتری است، رانده می‌شود و بار دیگر به دلیل اندازه بزرگتر این معبر بخش دیگری از انرژی جنبشی به انرژی استاتیک تبدیل می‌شود و در نهایت بخار مبرد با فشار زیاد کمپرسور را ترک می‌کند.

1- *Volute*

تبدیل انرژی در کمپرسور گریز از مرکز

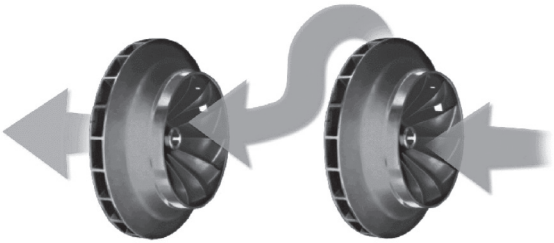


همان‌گونه که اشاره شـــد دوران پروانه در کمپرسور گریز از مرکز موجب شتاب بخشیدن و افزایش انرژی جنبشی بخار مبرد می‌شـــود و وقتی بخار مبرد وارد معابر توزیع می‌شود، دارای بیشترین مقدار انرژی جنبشی است که این وضعیت در بخش فوقانی نمودار بالا نمایش داده شده است.

متناسب با افزایش انرژی جنبشـــی، فشار استاتیک یا انرژی اســـتاتیک، همان‌طوری که در بخـــش پائین نمودار نمایش داده شده است، هیچ تغییری نمی‌کند و در کمترین مقـــدار خود قرار دارد. با خروج بخـــار مبرد از معابر توزیع و ورود آن به حلزونی خروجی به تدریج از انرژی جنبشی بخار مبرد کاسته و به فشار آن افزوده می‌شود. این اوج و فرود در نمودار بالا قابل مشاهده است.

با افزایش فشار اســـتاتیک دمای بخار مبرد نیز افزایش می‌یابد.

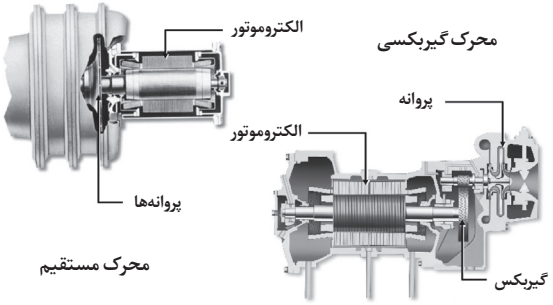
کمپرسور چند مرحله‌ای گریز از مرکز



کمپرسورهای گریز از مرکز متناسب با ظرفیت ممکن است بیش از یک پروانه داشـــته باشـــند. در این صورت فشار به صورت متوالی در پروانه‌ها افزایش می‌یابد.

به‌طور معمول کمپرســـورهایی که در چیلرهای تراکمی گریز از مرکز مورد اســـتفاده قرار می‌گیرند، بین 1 تا 3 پروانه دارند.

الکتروموتور کمپرسور

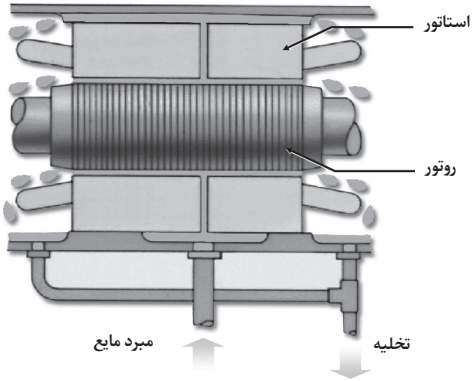


اغلب الکتروموتورهای مورد اســـتفاده در چیلرهای تراکمی از نوع محرک مســـتقیم[1] هستند. در نوع مستقیم، موتور و کمپرســـور هم محور بوده و سرعت گردش کمپرسور مشابه ســـرعت موتور اســـت. اما در برخی مـــوارد مانند بعضی از چیلرهای گریز از مرکز، از محرک غیرمستقیم یا گیربکسی[2] استفاده می‌شود. در این صورت پروانهٔ کمپرسور گریز از مرکز امکان گردش در سرعت‌های بالاتری را خواهد داشت.

موتورهای محرک مســـتقیم ســـروصدای کمتری دارند و با ســـرعت‌های کمتری نیـــز کار می‌کنند و به‌طور طبیعی مشکلات مربوط به گیربکس را ندارند.

1- *Direct-Drive Motor*
2- *Gear-Drive Motor*

الکتروموتور باز و بسته



الکتروموتورهای مورد اســـتفاده در چیلرهای تراکمی در دو نوع باز[1] و بســـته مورد استفاده قرار می‌گیرند که تصویر بالا برشـــی از یک الکتروموتور بســـته[2] در چیلر گریز از مرکز را نمایش می‌دهد.

الکتروموتورهای بسته یا هرمتیک که رواج بیشتری نسبت به الکتروموتورهای باز در چیلرها دارند؛ به همراه کمپرسور در یک پوســـته جوشکاری شده قرار می‌گیرند و جفت شدن محور آنها داخلی است. اما کمپرسورها یا موتورهای باز کاملاً از هم مجزا هستند و به وسیلهٔ کوپلینگ هم محور می‌شوند.

کمپرســـورهای باز مانند هر الکتروموتور دیگری دارای سیســـتم خنک‌کن مخصوص به خود است که شامل وجود

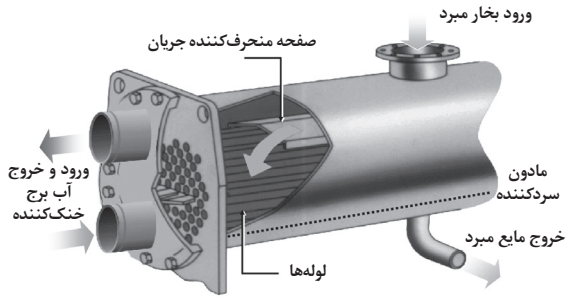
1- Open motor
2- Hermetic motor

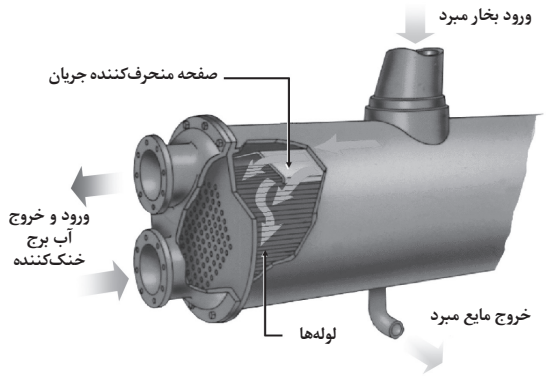
شـــیارهایی روی بدنه برای ایجاد ســـطح تماس بیشتر و به جریان انداختن هوا روی پوســـته خارجی به همراه یک فن پروانه‌ای می‌شود که به دلیل هم محور بودن با روتور با روشن شدن موتور به گردش درآمده و الکتروموتور را خنک می‌کند. اما موتورهایی که با کمپرســـور در یک پوسته قرار می‌گیرند، امکانات خنک شـــدن مانند الکتروموتورهای باز را ندارند. بنابراین سیم‌پیچ این نوع الکتروموتورها باید با جریان مبرد مایع خنک شـــود. بنابراین در اطراف پوسته، معابری برای ورود و خروج مایع مبرد پیش‌بینی می‌شـــود. این معابر در تصویر قابل مشاهده است.

درکمپرسورهای بســـته،گرمای اخذ شده از الکتروموتور توسط کندانســـور دفع می‌شـــود. اما در کمپرسورهای باز گرمای حاصل از کار الکتروموتور در تماس با هوای موتورخانه گرفته می‌شود که آن هم باید به وسیلهٔ فن به خارج از فضای موتورخانه تخلیه شود.

عیب بزرگ ارتباط باز موتور و کمپرسور، احتمال نشت مبرد از یاتاقان‌هاست که این مشکل در کمپرسورهای بسته وجود ندارد.

کندانسور آبی





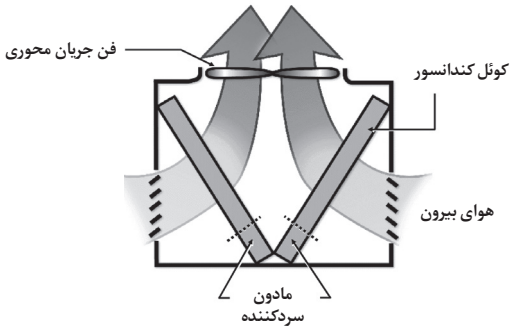
کندانسوری که در تصاویر بالا مشاهده می‌شود، از نوع آبی[1] پوسته– لوله است که بخار مبرد در پوسته آن تقطیر می‌شود و آب برج خنک‌کننده از داخـــل لوله‌ها عبور می‌کند. مایع مبرد در بخش زیرین کندانســـور جمع می‌شود و از آنجا به سمت شیر انبساطی حرکت می‌کند.

1- *Water-Cooled Condenser*

جمع شدن مایع مبرد در بخش زیرین کندانسور موجب کاهش دمای مایع مبرد به مادون سرد شدن آن می‌انجامد. به همین دلیل، این بخش از کندانسور که اولین تماس با آب ورودی برج خنک‌کننده را نیز دارد، مادون سردکننده[1] داخلی خوانده می‌شود.

1- *Sub cooler*

کندانسور هوایی



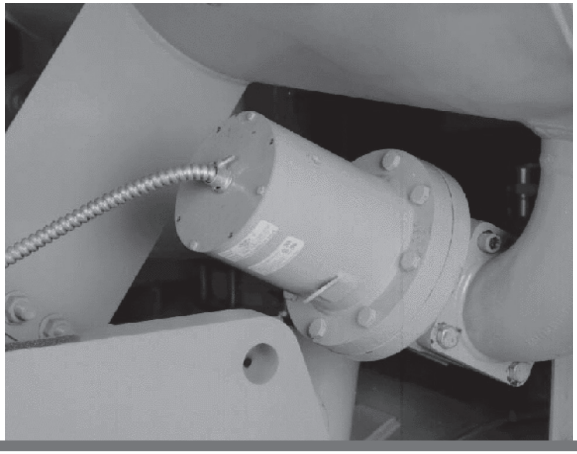
همهٔ چیلرهای تراکمی از جمله چیلرهای تراکمی با کمپرسور پیچی قابلیت کار با کندانسور هوایی[1] را نیز دارند. در تصویر بالا طرح‌واره‌ای از کندانسور هوایی با فن جریان محوری با دو ردیف کوئل دیده می‌شود.

بخش زیرین کوئل‌ها مادون سردکننده مایع مبرد است که به سمت اواپراتور جریان می‌یابد.

انواع چیلرهای تراکمی قابلیت دفع گرما را با کندانسور هوایی دارند؛ اما چیلرهای گریز از مرکز اغلب با کندانسور آبی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

1- *Air-Cooled Condenser*

شیر انبساطی الکترونیکی

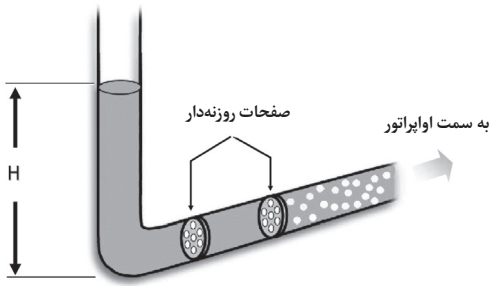


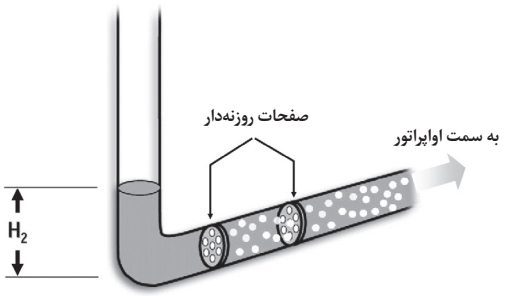
برای حفظ اختلاف فشار بین دو سمت فشار قوی (کندانسور) و فشـــار ضعیف (اواپراتور) ضروری است که از شیر یا وصالهٔ انبساطی استفاده شود. در عین حال شیر انبساطی ضمن ایجاد افت فشار شـــدید در جریان مبرد؛ موجب انبساط و پودری شـــدن آن برای افزایش بازده تبخیـــر در اواپراتور نیز می‌شود.

در تصویر بالا نوعی شیر انبساط الکترونیکی[1] نصب شده بر روی چیلر با کمپرسور پیچی دیده می‌شود که مقدار ورودی مبرد به اواپراتور را کنترل می‌کند. این نوع شیر انبساطی به همراه اواپراتور سیلابی مورد استفاده قرار می‌گیرد و براساس سطح مبرد در داخل اواپراتور عمل می‌کند.

1- Electronic Expansion Valve

صفحات روزنه‌دار





صفحات مدور مشـــبک یـــا روزنه‌داری[1] کـــه در تصاویر بالا مشاهده می‌شـــود؛ در واقع نوعی وصالهٔ انبساطی است که عملکرد آن وابســـته به فشار ستون مایع مبردی است که به آن وارد می‌شود.

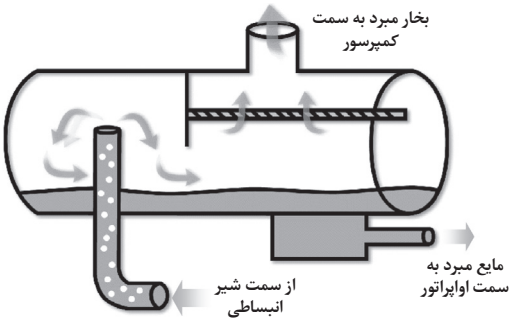
چنان‌چه ارتفاع (H) مایع مبرد در پشت صفحه افزایش یابد، فشار بیشـــتری نیز برای عبور مایع مبرد از روزنه‌ها به وجود می‌آید.

1- *Orifice Plates*

بنابراین روزنه‌ها ضمن انجام کار اصلی، یعنی ایجاد افت فشار در جریان، موجب انبساط مایع مبرد نیز می‌شوند.

هرچه ارتفاع ســـتون مایع کم‌تر شود؛ به همان میزان، ورودی مبرد به اواپراتور هم کاهش می‌یابد. بنابراین به‌طور خودکار دبی خروجی به ســـمت اواپراتور، تابعی از خروجی کندانسور خواهد بود.

جداکنندهٔ بخار مبرد از مایع مبرد

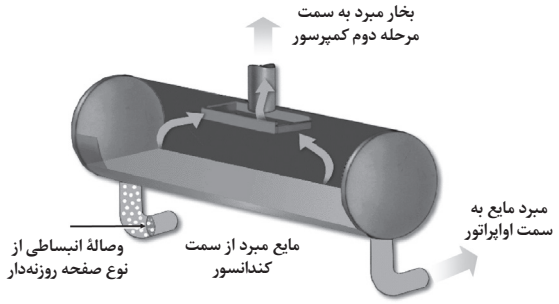


تصویـــر بالا، جداکنندهٔ بخار مبـــرد از مایع مبرد در چیلر با کمپرسو پیچی را نمایش می‌دهد.

احتمال این که خروجی شیر انبساطی مخلوطی از مایع و بخار مبرد باشـــد؛ بسیار زیاد است. بنابراین خروجی شیر انبساطی به محفظه‌ای راه می‌یابد که در آن بخار مبرد به بالا صعود کرده و مایع مبرد در بخش زیرین آن جمع می‌شـــود. در این صورت بخار مبرد بدون گذر از اواپراتور به‌طور مستقیم توسط کمپرسور مکیده می‌شود و مایع مبرد نیز برای انجام عملیـــات گرماگیری و تبخیر از بخش زیریـــن روانهٔ اواپراتور می‌شـــود. جداســـازی بخار مبرد و جلوگیری از ورود آن به اواپراتور تأثیر خوبی بر بازده سیستم دارد.


TRANE

صرفه‌گر در چیلر گریز از مرکز



در چیلرهـــای گریز از مرکز چند مرحله‌ای مخزنی حد فاصل کندانسور و اواپراتور قرار می‌گیرد که عملکرد آن بسیار شبیه به جداکنندهٔ بخار مبرد از مایع در چیلرهای پیچی است.

مایع مبرد پس از عبور از وصالهٔ انبســـاطی و افت فشار وارد مخزن صرفه‌گر[1] می‌شود. به دلیل افت فشار ایجاد شده، مقداری از مایع مبرد به صورت آنی تبدیل به بخار می‌شود.

معبری در قسمت فوقانی مخزن وجود دارد که بخار مبرد را به‌طور مستقیم راهی کمپرسور می‌کند. در کمپرسورهای دو مرحلـــه‌ای گریـــز از مرکز، بخار مبرد توســـط پروانهٔ دوم متراکم می‌شود.

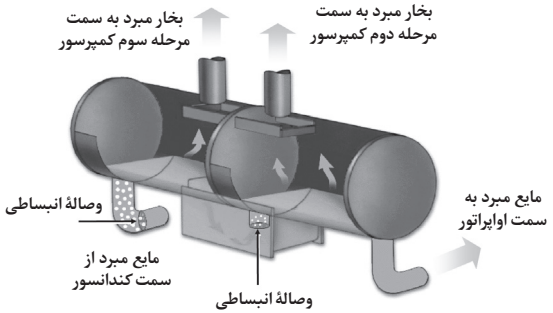
مایع جمع شده در بخش زیرین مخزن نیز پس از عبور از

1- *Economizer*

وصالهٔ انبساطی دوم وارد اواپراتور می‌شود.

جمع‌آوری بخار آنی و ارسال مستقیم آن به پروانهٔ دوم کمپرسور نیاز به توان بیشتر را کاهش می‌دهد و از همین رو این مخزن در چیلرهای گریز از مرکز، صرفه‌گر خوانده می‌شود.

صرفه‌گر دو مرحله‌ای



برای چیلرهایی که کمپرسورهای آنها از نوع گریز از مرکز سه مرحله‌ای است از صرفه‌گر دو مرحله‌ای استفاده می‌شود که در دو مرحله بخار جدا شده از مایع مبرد را به ترتیب در اختیار پروانهٔ سوم و دوم کمپرسور قرار می‌دهد. تصویر بالا نمونه‌ای از این مخزن را نمایش می‌دهد.

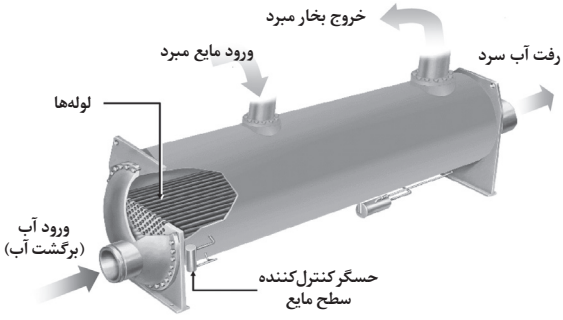
مایع مبرد پس از گذر از وصالهٔ انبساطی اول وارد محفظهٔ اول مخزن صرفه‌گر می‌شود و بخار آنی ایجاد شده در اثر انبساط از معبر فوقانی به سمت ورودی پروانهٔ سوم کمپرسور می‌رود.

مایع مبرد جمع شده در پائین محفظه از طریق یک مخزن واسط به محفظهٔ بعدی وارد می‌شود. اما در اینجا نیز از وصالهٔ انبساطی می‌گذرد.

وصالهٔ انبساطی دوم نیز بار دیگر موجب افت فشار شده و پی آمد آن تولید مقداری بخار مبرد است که از طریق معبر فوقانی به سمت پروانهٔ دوم کمپرسور می‌رود.

مایع باقی‌مانده در محفظه پس از گذر از وصالهٔ انبساطی سوم وارد اواپراتور می‌شود.

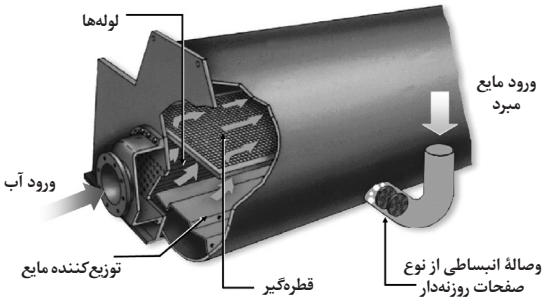
اواپراتور سیلابی



(اواپراتور سیلابی چیلر با کمپرسور پیچی)

در اواپراتور ســـیلابی[1]، مایع مبرد در پوسته تبخیر می‌شود و آب در داخل لوله‌ها جریان دارد. بنابراین بخار مبرد در بخش فوقانی اواپراتور جمع شده و از آنجا توسط کمپرسور مکیده می‌شود. در عین حال لوله‌های حاوی آب که قرار است گرما از آن گرفته شود مســـتغرق در مایع مبرد می‌شوند. در این نوع اواپراتور یک حسگر می‌تواند سطح مایع مبرد را بسنجد و متناسب با سطح مبرد، دبی شیر انبساطی الکترونیکی را کنترل کند.

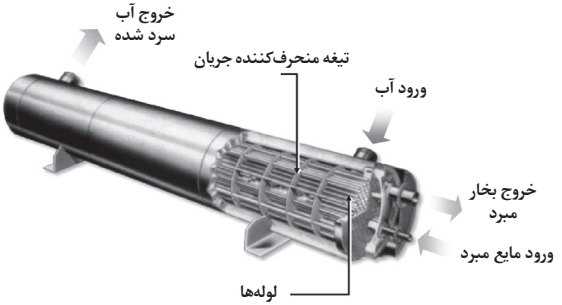
1- Flooded Evaporator



(اواپراتور سیلابی چیلر با کمپرسور گریز از مرکز)

در تصویر بالا نوعی اواپراتور سیلابی با وصالهٔ انبساطی روزنه‌دار مربوط به چیلر گریز از مرکز نمایش داده شده است که در آن مخلوطی از مایع و بخار مبرد پس از ورود به پوسته توسط صفحهٔ مشبکی در طول پوسته و در بخش زیرین به صورت متوازن توزیع می‌شود. در عین حال در این اواپراتور صفحهٔ قطره‌گیری تعبیه شده است که اجازه عبور به قطرات مایع مبرد به بخش فوقانی را نمی‌دهد.

اواپراتور انبساط مستقیم

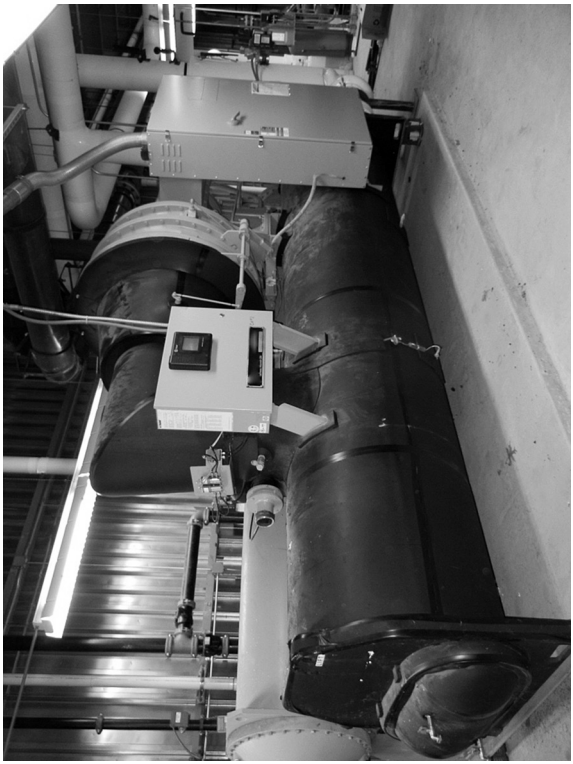


نوع دیگری از اواپراتورها که در چیلرهایی با کمپرسور پیچی و گریز از مرکز مورد اســـتفاده قرار می‌گیرد؛ اواپراتور انبساط مستقیم[1] اســـت که در آن آب در پوسته جریان دارد و مایع مبرد از داخل لوله‌ها می‌گذرد.

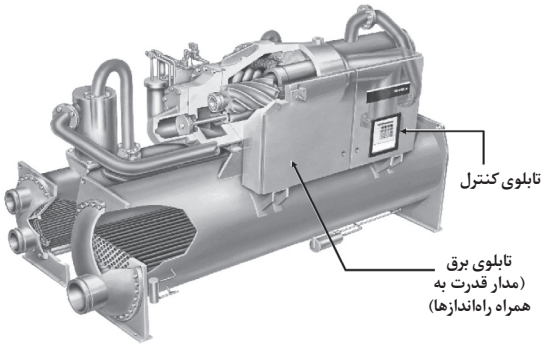
در ایـــن نوع اواپراتور، تیغه‌های منحرف‌کننده‌ای به کار گرفته می‌شـــود تا ضمن ثابت نگه داشـــتن لوله‌ها، موجب انحراف جریان آب به منظور ایجاد یکنواختی در انتقال گرما شود که موقعیت آنها در تصویر بالا نمایان است.

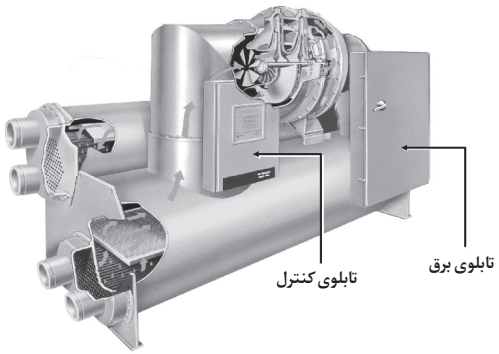
اواپراتور انبساط مستقیم در مقایسه با اواپراتور سیلابی بهره کمتری دارد؛ اما ارزان‌تر است.

1- Direct Expansion (DX)Evaporator



تابلوی برق و کنترل‌کننده‌ها





تابلـــوی برق شـــامل راه‌اندازه‌ها، مدار فرمـــان و هم‌چنین کنترل‌کننده‌ها مانند کنترل‌کنندهٔ فشار، دما و روغن بخش مهمی از چیلرهای تراکمی را تشکیل می‌دهند.

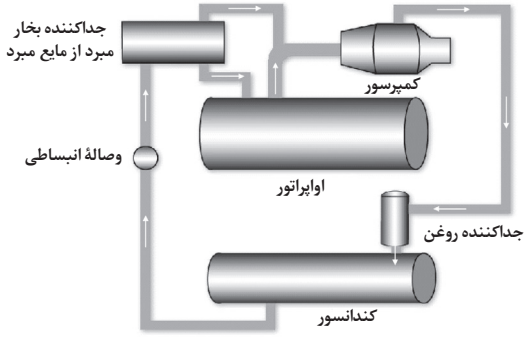
امروزه کنترل‌کننده‌های مورد استفاده در چیلرها بر پایهٔ ریزپردازنده بنا شـــده‌اند و ضمـــن پایش عملکرد بخش‌های مختلـــف چیلر قابلیت اتصال به شـــبکهٔ مدیریـــت انرژی و

ساختمان را دارند.

کمپرسورها به‌طور معمول برق زیادی مصرف می‌کنند و به هنگام راه‌اندازی جریان زیادی از شبکه می‌کشند. بنابراین راه‌اندازی الکتروموتور آنها نیازمند تمهیدات ویژه‌ای است تا از اثرات شوک‌گونه به شبکه جلوگیری کند.

هم‌چنین کلیهٔ مدارهای حفاظتی و ایمنی برای مقابله با اتصال کوتاه و جریان زیاد در تابلوی برق چیلر مورد توجه قرار می‌گیرد.

چرخهٔ مبرد در چیلر پیچی



مبرد با گرفتن گرمای آب سیستم تبخیر شده و اواپراتور را با کمک مکش کمپرسور ترک می‌کند.

کمپرسور بخار مبرد را متراکم کرده و پس از افزایش دما و فشـــار و ایجاد اســـتعداد برای مایع شدن، آن را به سمت کندانســـور می‌راند. اما مبرد پیش از ورود به کندانســـور از محفظهٔ جداکنندهٔ روغن می‌گذرد و ســـپس وارد کندانسور می‌شود. از ســـوی دیگر روغن جدا شده از مبرد بار دیگر به کمپرسور باز می‌گردد.

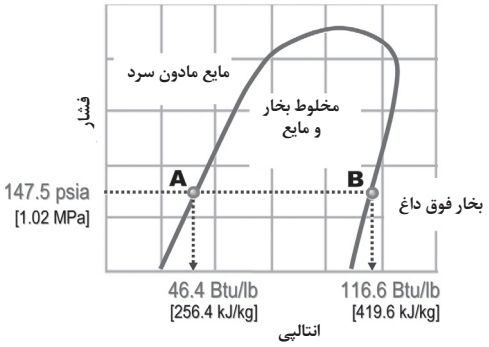
در کندانسور گرمای بخار پرفشار مبرد توسط آب ارسالی از ســـوی برج خنک‌کننده دفع شده و بخار مبرد با از دست دادن گرمای نهان خود تبدیل به مایع می‌شود.

مایع مبرد از کندانسور خارج شده و پس از عبور از شیر انبساطی دچار افت فشار و انبساط می‌شود.

از آنجاکه مایع مبرد خارج شده از شیر انبساطی مقداری بخار مبرد ناشی از انبساط را نیز به همراه دارد؛ پیش از ورود به اواپراتور از محفظهٔ جداکنندهٔ مایع – بخار عبور می‌کند.

مایع مبرد از زیر محفظهٔ جداکنندهٔ به سمت اواپراتور می‌رود تا بار دیگر با اخذ گرما از آب در حال گردش تبخیر شده و چرخه را ادامه دهد و بخار مبرد نیز از بالای محفظه راهی سمت مکش کمپرسور می‌شود.

نمودار فشار-انتالپی در چیلر با کمپرسور پیچی



نمودار فشار- انتالپی در تصویر بالا مربوط به مبرد HFC-134a است که براساس آن می‌توان ضمن تحلیل چرخهٔ سرمایش بـــر روی محور افقی انتالپی مبرد را در حالت مایع اشـــباع و بخار اشـــباع مبتنی بر فشـــاری که بر روی محور عمودی مشخص شده است، تعیین کرد.

مطابق این تصویر انتالپی (مجموع گرمای محســـوس و نهان) مبرد HFC-134a در فشار 147.5psia(1.02MPa) برابر با 46.4Btu/lb(256.4kJ/kg) است که بر روی نمودار با A نمایش داده شـــده است. این نقطهٔ شروع در اواپراتور است. دما در این نقطه $104^{\circ}F(40^{\circ}C)$ است.

مبـــرد در اواپراتور گرمـــای آب در گـــردش را گرفته و متناسب با آن تبخیر می‌شود.

در ابتدا نسبت مایع به بخار بیشتر و به تدریج با اخذ گرمای بیشتر، نسبت بخار به مایع افزایش می‌یابد تا در فشار ثابت به نقطهٔ B می‌رسد. به لحاظ نظری در این نقطه کل مایع مبرد با اخذ گرما تبدیل به بخار مبرد می‌شود. بنابراین حد فاصل این دو نقطه در میانهٔ منحنی، مخلوطی از مایع و بخار مبرد با درصدهای مختلف وجود دارد.

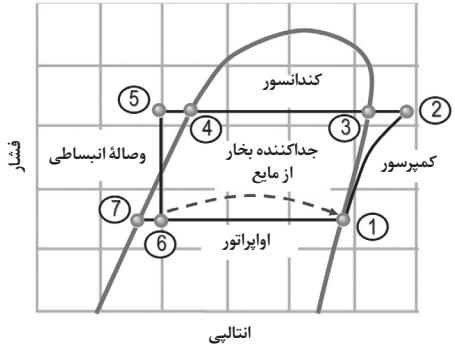
بخار مبرد در نقطهٔ B دارای انتالپی 116.6Btu/lb (419.6kJ/kg) است.

بنابراین در حد فاصل دو نقطهٔ A و B، مبرد مایع باید به ازای هر پوند(کیلوگرم) (76.9Btu(179.4kJ گرما از آب در حال گردش بگیرد تا در فشار و دمای ثابت از حالت مایع به حالت بخار درآید.

مطابق این نمودار هر نقطه‌ای که خارج منحنی و سمت راست آن قرار گیرد به معنای فوق داغ[1] بودن مبرد است و چنان‌چه هر نقطه‌ای خارج از منحنی و سمت چپ آن قرار گیرد به معنای مادون سرد[2] بودن مبرد است.

1- Superheat
2- subcool

چرخهٔ کامل در نمودار فشار- انتالپی چیلر پیچی



بخار اشباع مبرد با شرایط نقطهٔ 1 به صورت کم فشار توسط کمپرسور مکش می‌شود. حدفاصل نقاط 1 و 2 نشانگر مکش و دهش کمپرسور است. بنابراین فرایند با افزایش فشار همراه است. خط 1 و 2 دارای انحرافی به سمت افزایش انتالپی است که بخار مبرد را از حالت اشباع به حالت فوق داغ می‌رساند. این افزایش انتالپی ناشی از تراکم بخار مبرد و انرژی مکانیکی کمپرسور است. بخار مبرد پس از ترک کمپرسور به سمت کندانسور روانه می‌شود. حد فاصل نقطهٔ 2 تا 5 نشانگر عملکرد کندانسور در فشار ثابت است. اما بین دو نقطهٔ 2 و 5 مبرد در دو شرایط 3 و 4 هم قرار می‌گیرد. نقطهٔ 3 گویایی رسیدن بخار فوق داغ به حالت بخار اشباع است که با از دست دادن گرمای محسوس همراه است.

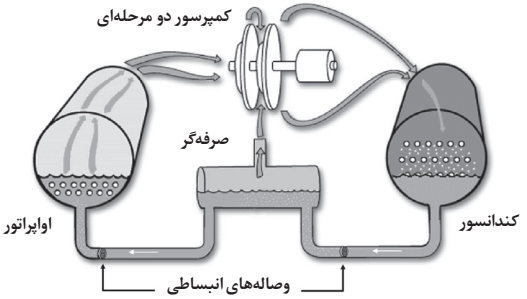
از نقطهٔ 3 فرایند مایع شدن بخار و از دست دادن گرمای نهان مبرد آغاز می‌شود. از این نقطه به بعد، مبرد مخلوطی از بخار و مایع اســـت که به تدریج با از دســـت دادن گرمای بیشتر و دفع آن توسط هوا یا آب خنک، درصد مایع به بخار در آن بیشتر می‌شود تا به نقطهٔ 4 یعنی وضعیت مایع اشباع می‌رســـد. در این نقطه، مبرد به مایع تبدیل شده است؛ اما اخذ گرمای محســـوس از آن هم‌چنان ادامه دارد تا به نقطهٔ 5 می‌رســـد. در این نقطه مایع مبرد در حالت مادون ســـرد قرار می‌گیرد. پس از این نقطه، مایع وارد وصالهٔ انبســـاطی می‌شـــود و حد فاصل نقاط 5 تا 6 نمایش‌گر عملکرد وصالهٔ انبساطی است که طی آن فشـــار کاهش می‌یابد و مبرد به صورت انبساط یافته وارد اواپراتور می‌شود. در واقع نقطهٔ 6 نشانگر شرایط مبرد ورودی به اواپراتور است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود. نقطهٔ 6 در داخل منحنی قرار گرفته است که نشانهٔ مخلوط بودن اندکی بخار با مایع است.

انتالپـــی در نقاط 5 و 6 ثابت اســـت. به همین دلیل از جداکنندهٔ مایع – بخار استفاده می‌شود تا بخار مبرد بدون ورود به اواپراتور به‌طور مستقیم توسط کمپرسور مکیده شود.

نقطهٔ 7 شـــرایط مبرد را در حالت مایع اشـــباع نشـــان می‌دهد که در عمل به دلیل انبســـاط و افت فشار، تمامی خروجی شیر به حالت مایع یعنی در شرایط نقطهٔ 7 نخواهد بود.

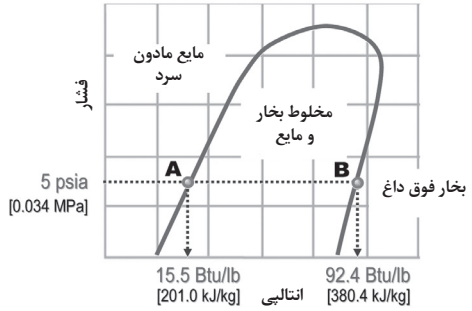
چرخهٔ مبرد در چیلر گریز از مرکز



مایع مبرد با جذب گرما از آب، بخار شده و این بخار توسط کمپرسور مکیده می‌شود و پس از افزایش فشار و دما وارد کندانسور شده و با از دست دادن گرمای خود، به صورت مایع کندانسور را ترک می‌کند. اما قبل از ورود به اواپراتور به مخزن صرفه‌گر وارد می‌شود.

در ورودی مخزن صرفه‌گر نیز از وصالهٔ انبساطی استفاده می‌شود تا دما و فشار مایع مبرد کاهش یابد. بخار جداشده از مایع مبرد از معبر فوقانی مخزن صرفه‌گر به‌طور مستقیم در اختیار پروانهٔ دوم کمپرسور قرار می‌گیرد و مایع باقی‌مانده از طریق معبر زیرین از مخزن خارج شده و پس از گذر از وصالهٔ انبساطی دوم وارد اواپراتور می‌شود تا بار دیگر با گرفتن گرما و بخار شدن، چرخه تکرار شود.

نمودار فشار-انتالپی چیلر گریزازمرکز

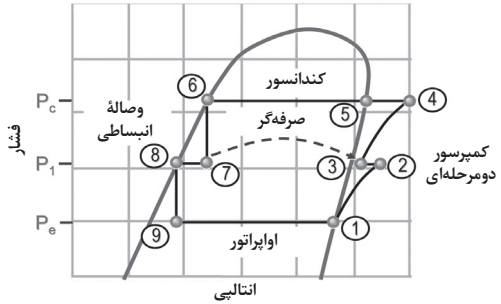


نمودار بالا مقدار گرماگیـــری HCFC-123 به ازای هر پوند یا هر کیلوگرم در اواپراتور یک چیلر تراکمی با کمپرسور گریز از مرکز را نمایش می‌دهد.

مطابق این نمـــودار، مایع مبرد HCFC-123 در فشـــار 5psia(0.034MPa) و دمـــای 34°F(1.1°C) دارای انتالپـــی یا محتوای گرمایی کل 15.5Btu/lb(201kJ/kg) اســـت که این شرایط با نقطهٔ A بر روی نمودار نمایش داده شده است.

مایـــع مبـــرد HCFC-123 پس از گرماگیری در فشـــار و دمای ثابت و تبدیل شـــدن به بخار مبـــرد دارای انتالپی 92.4Btu/lb(380.4kJ/kg) خواهـــد شـــد. بنابرایـــن انتالپی افزایش یافته حد فاصل نقاط A و B یعنی از مایع اشـــباع تا بخار اشـــباع 76.9Btu به ازای هر پوند یا 179.4kJ به ازای هر کیلوگرم است.

چرخهٔ کامل در نمودار فشار – انتالپی



بخار اشـــباع از نقطهٔ 1 اواپراتور را ترک می‌کند. بخار اشباع ابتدا وارد پروانهٔ مرحلهٔ اول می‌شود. بنابراین حد فاصل نقاط 1 و 2 نمایش‌گر تراکم مرحلهٔ اول است.

در نقطهٔ 2 بخار مبرد به فشار P_1 می‌رسد. از سوی دیگر بخار مبردی که به صورت آنی در مخزن صرفه‌گر تولید شده با بخار مبرد مرحلهٔ دوم مخلوط می‌شـــود و دمای آن را در فشار ثابت کاهش می‌دهد.

شرایط بخار مخلوط با نقطهٔ 3 نمایش داده شده است. مسیر نقطهٔ 3 تا 4 نمایش‌گر مرحلهٔ بعدی تراکم توسط پروانهٔ دوم است. در هر دو مرحلهٔ تراکم، دمای بخار مبرد افزایش یافته اســـت. اما در میانـــهٔ دو مرحله به دلیل اختلاط بخار آنی با بخار مبرد متراکم شده مرحلهٔ اول، دما قدری کاهش

یافته است.

در نقطهٔ 4 بخار مبرد کاملاً متراکم شـــده و به فشار P_C می‌رسد. در هر سه نقطهٔ 2 ، 3 و 4 بخار مبرد به صورت فوق داغ است. بخار مبرد از نقطهٔ 4 وارد کندانسور می‌شود و با از دست دادن گرمای محسوس، بخار فوق داغ به بخار اشباع تبدیل می‌شود که این شـــرایط با نقطهٔ 5 نمایش داده شده اســـت. از این پس با عملکرد کندانســـور به تدریج از گرمای نهان بخار مبرد نیز کاسته شده و مایع مبرد شکل می‌گیرد تا به نقطهٔ 6 می‌رسد.

در نقطهٔ 6 مایع مبرد کندانسور را ترک کرده و وارد وصالهٔ انبساطی می‌شود و با انتالپی ثابت منبسط و دچار افت فشار می‌شود.

نقطهٔ 7 نشانگر شرایط مبرد در ورودی به مخزن صرفه‌گر اســـت. در مخزن صرفه‌گر بخار آنی از مایع جدا می‌شود که این موضوع باعث کاهش انتالپی مایع مبرد باقی‌مانده خواهد شـــد. این تغییر انتالپی بین نقـــاط 7 و 8 به نمایش درآمده است.

از نقطهٔ 8 تا 9 مرحلهٔ عبور مایع مبرد از وصالهٔ انبساطی بعدی است که این فرایند نیز با انتالپی ثابت طی شده و مایع مبرد با شرایط نقطهٔ 9 وارد اواپراتور می‌شود تا با جذب گرما بار دیگر تبخیر شـــده و به صورت بخار اشباع اواپراتور را در نقطهٔ 1 ترک کند.

مبردهای مورد استفاده



مبردهای مورد استفاده در چیلرهای پیچی که نوعی چیلر با کمپرسور جابه‌جایی مثبت[1] محسوب می‌شوند؛ عبارتند از:

HCFC-22

HFC-134a

HFC-404a

HFC-470c

HFC-410a

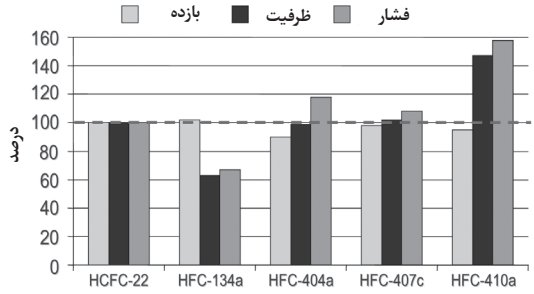
مبرد مورد اســـتفاده در چیلرهای گریز از مرکز که نوعی چیلر با کمپرسور دینامیک[2] محسوب می‌شود، HCFC-123 است.

1- Positive-Displacement
2- Dynamic Compressor

مشخصات برخی مبردها

مبرد	دمای جوش °C (°F)	ویژگی
R-22	-41(-41.8)	غیر قابل اشتعال، غیر سمی، غیر خورنده، پایدار، مخرب لایهٔ ازن
R-134a	-26(-14.8)	بدون اثر مخرب بر لایهٔ ازن، جایگزین R-12
R-404a	-46(-50.8)	غیرقابل اشتعال، با درجه سمی کم، بدون اثر مخرب بر لایهٔ ازن
R-407a	-42(-43.6)	غیرقابل اشتعال، با درجه سمی کم، بدون اثر مخرب بر لایهٔ ازن
R-407C	-43(-45.4)	غیرقابل اشتعال، با درجه سمی کم، بدون اثر مخرب بر لایهٔ ازن، جایگزینی R-22
R-410A	-52(-61.6)	غیرقابل اشتعال، با درجه سمی کم، بدون اثر مخرب بر لایهٔ ازن

مشخصات ترمودینامیکی مبردها



امـــروزه رایج‌ترین مبرد مورد اســـتفاده در چیلرهای پیچی HCFC-22 است.

چیلرهای پیچـــی برای کار با مبردهـــای HFC نیازمند طراحی مجدد هستند. زیرا بازده، ظرفیت و فشار عملیاتی مبردها با یکدیگر متفاوت است.

تغییر در هر یک از پارامترهای نمایش داده شده در نمودار بالا منجر به تغییر ابعاد و اندازهٔ کمپرسور، مبدل‌ها(اواپراتور و کندانسور) و لوله‌کشی بین قطعات چیلر خواهد شد.

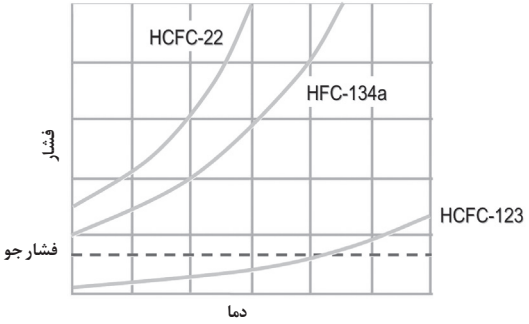
الف)- بـــازده: بازده دو مبـــرد HFC-404a و HFC-410a کمتر از HCFC-22 است. به همین دلیل در صورت استفاده از این دو مبرد بازده کمپرســـور باید بیشتر و اندازهٔ مبدل‌ها هم باید بزرگتر باشـــد که این تغییرات موجب گران‌تر شدن چیلر خواهد شد.

ب)- ظرفیـــت: منظور از ظرفیت مبرد، حجم و دبی آن در چرخهٔ ســـرمایش برای جذب گرماست. مبرد HFC-134a

نسبت به ســـایر مبردها از ظرفیت کمتری برخوردار است. بنابرایـــن در صورت به کارگیری این مبرد باید از کمپرســـور بزرگتر با ســـرعت بیشتر اســـتفاده کرد. از سوی دیگر مبرد HFC-410a در مقایســـه با HCFC-22 ظرفیت بیشتری دارد. بنابراین کمپرسور مورد اســـتفاده برای سیستمی که با این مبرد کار می‌کند به حجم کمتری نیاز خواهد داشت.

ج)- فشـــار کار: در صورت فشار کار بالاتر، مبدل‌ها باید متناســـب با آن مقاوم باشند. از سوی دیگر فشار کار بالای مبرد منجر به افزایش چگالی آن می‌شـــود که نیاز به مقدار مبرد را کـــم می‌کند. در این صورت می‌توان از کمپرســـور کوچکتر با دور کمتر استفاده کرد. فشار پائین مبردی مانند HFC-134a نیاز به کمپرسوری بزرگتر با دور بیشتر را نسبت به HCFC-22 به وجود می‌آورد.

فشار کار مبرد



یکی از پارامترهای مهم مبردها، فشار کار آنهاست. بنابراین در انتخاب مبرد برای چیلرها فارغ از توجه به سایر پارامترهای مؤثـــر و مهم مانند، بازده، خواص انتقال گرما، غیرســـمی بودن، غیر قابل اشـــتعال بودن، قیمت، فراوانی، عدم زیان برای محیط زیست باید به فشار کار نیز توجه داشت.

مبردهایی هم‌چون HCFC-22 برای کار در فشارهای بالا مناسب هستند.

مبردهای مانند HFC-134a برای کار در فشـــار متوسط توصیه می‌شـــوند و مبرد HCFC-123 برای کار در فشارهای پائین در حد کمتر از فشار جو مناسب است. بنابراین مبرد HCFC-123 برای چیلرهای گریز از مرکز که تحت فشار کم کار می‌کنند، مناسب است.

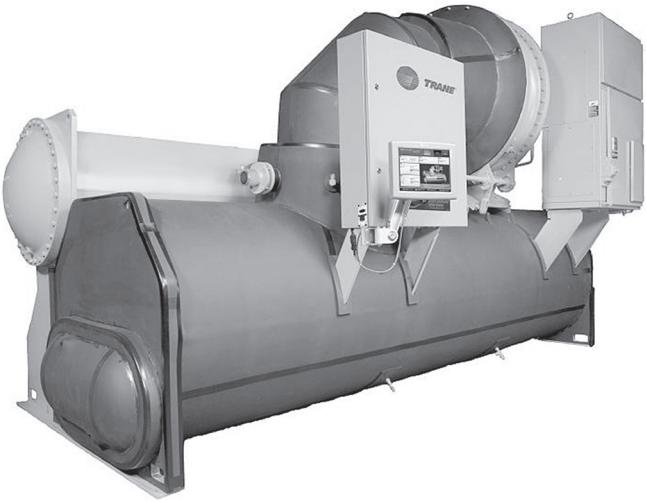
فشار کار چیلرهای گریز از مرکز کمتر از فشار جو است. بنابراین هر گونه نشتی هوا به داخل سیستم می‌تواند چرخه را از کار باز دارد.

وجود هوا در چیلر گریز از مرکز ضمن کاهش انتقال گرما موجب افزایش فشار مبرد در کندانسور شده و از سوی دیگر خوردگی را افزایش می‌دهد.

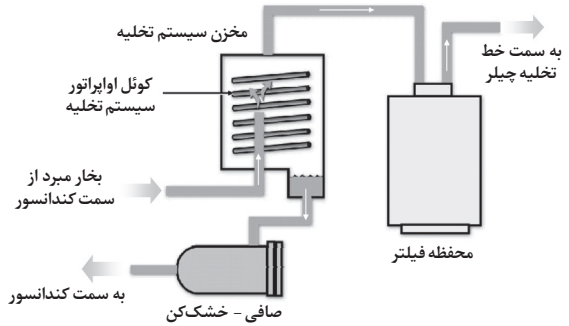
سیستم تخلیه



برای تخلیهٔ هوا و رطوبت در چیلرهایی که در فشـــار کم کار می‌کنند، (مانند چیلرهای گریز از مرکز) سیســـتمی مرکب از پمپ خلاء و فیلتر خشـــک‌کن پیش‌بینی می‌شود تا هر از گاهی بتوان داخل چیلر را از هوا، گازهای غیر قابل تقطیر و رطوبت تخلیه کرد.


TRANE

سیستم جمع‌آوری و تخلیه در چیلر گریزازمرکز



سسیستم جمع‌آوری و تخلیهٔ هوا و گازهای غیر قابل تقطیر متشکل از یک کمپرسور کوچک، کوئل از لوله پره‌دار هوا خنک برای تقطیر، شیر انبساطی و یک کوئل اواپراتور در داخل یک مخزن است. در واقع این سیستم خود نوعی چیلر کوچک محسوب می‌شود.

نقش اواپراتور در این سیستم کوچک جداسازی هوا و گازهای غیر قابل تقطیر از مبرد است. این اواپراتور در دما و فشاری پائین‌تر از کندانسور چیلر کار می‌کند.

بنابراین مخلوطی از بخار مبرد و هوا از کندانسور به داخل محفظهٔ اواپراتور سیستم تخلیه مکیده می‌شود.

اواپراتور، گازهای غیر قابل تقطیر را از مبرد جدا کرده و این گازها از قسمت فوقانی محفظه به مخزن جمع‌آوری

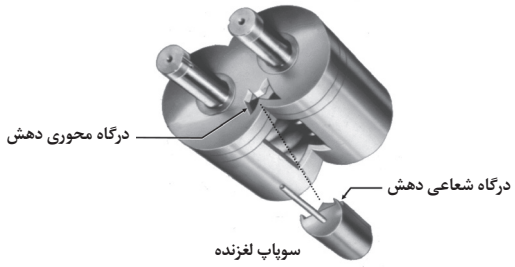
می‌روند. مبرد نیز به صورت مایع از قسمت زیرین محفظه تخلیه خارج شده و پس از گذر از صافی- خشک‌کن[1] به کندانسور باز می‌گردد.

وقتی دمای مکش سیستم تخلیه کمتر از نقطهٔ تنظیم می‌شود، کنترل‌کنندهٔ پمپ یا کمپرسور را روشن می‌کند و همزمان شیر جداکننده هم باز می‌شود. بنابراین هوا و گازهای غیر قابل تقطیر که ممکن است آغشته به مقدار کمی مبرد باشد به مخزن صافی می‌رود.

این مخزن دارای فیلتری است که مبرد را جذب می‌کند و هوا به‌طور جداگانه تخلیه می‌شود. وقتی دمای مکش به نقطهٔ تنظیم رسیده و یا بالاتر از آن شود؛ شیر بسته و کمپرسور سیستم تخلیه خاموش می‌شود.

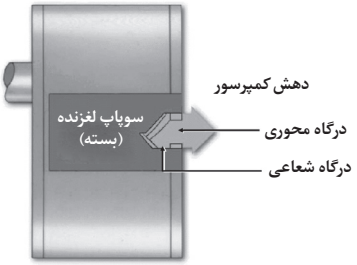
1- Filter-Drier

کنترل ظرفیت کمپرسور پیچی



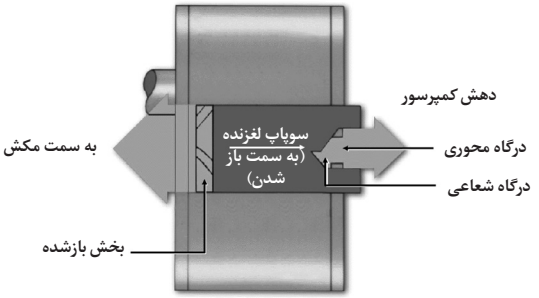
کنترل ظرفیت در کمپرسورهای پیچی به کمک قطعه‌ای به نام سوپاپ لغزنده[1] و منفذ یا درگاهی[2] در بخش انتهایی محفظه روتورها صورت می‌گیرد. نکته این که دهش کمپرسور دارای دو جزء است. اولی درگاهی در سوپاپ لغزنده با نام درگاه شعاعی است و دومی، درگاهی در بخش انتهایی محفظهٔ کمپرسور با نام درگاه محوری است.

وقتی چیلر با ظرفیت کامل کار می‌کند، سوپاپ کاملاً بسته است و مانند آن‌چه در تصویر زیر مشاهده می‌شود؛ حداکثر حجم مبرد از هر دو درگاه محوری و شعاعی عبور می‌کند.

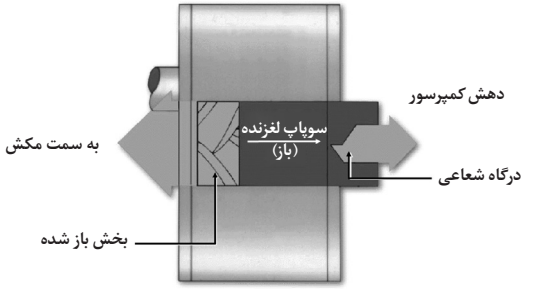


1- Slide Valve
2- Port

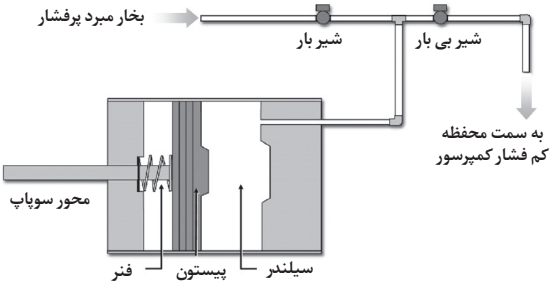
در بار جزیی که نیاز نیســـت کمپرســـور با تمام ظرفیت کار کند؛ ســـوپاپ متناسب با کاهش بار باز می‌شود و اجازه می‌دهد که بخشـــی از بخار مبرد بدون وارد شدن به میانهٔ روتورها به سمت مکش بازگردد. در عین حال لغزش سوپاپ مقدار طول مسیری که بخار مبرد باید در میان روتورها طی کرده و متراکم شـــود را کاهش می‌دهد. بنابراین حجم بخار متراکم خروجی از کمپرسور کم می‌شود.



با کنار رفتن کامل سوپاپ لغزنده کمپرسور کاملاً بی‌بار شده و بخار مبرد از درگاه محوری خارج می‌شود.



چگونگی عملکرد سوپاپ لغزنده



عامل محرک سوپاپ لغزنده مانند یک مجموعه سیلندر و پیستون عمل می‌کند. تو و بیرون رفتن یک محور موجب حرکت سوپاپ می‌شود و محور نیز خود توسط یک پیستون که در داخل سیلندری قرار دارد، جابه‌جا می‌شود.

در مسیر بخار مبرد پر فشار دو شیر برقی قرار دارد. که هر یک به نحوی در حرکت پیستون مؤثر هستند.

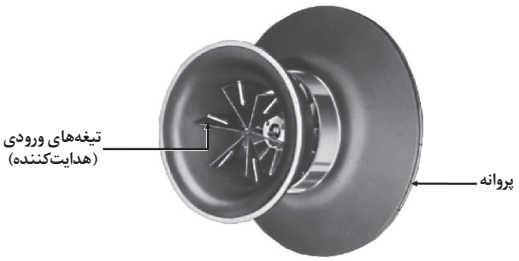
یکی از شیر برقی‌ها مربوط به بار کامل و دیگری مربوط به حالت بی‌باری است. وقتی کمپرسور تحت بار کار می‌کند، شیر برقی بار کامل باز و شیر بی‌بارکننده بسته است و در این حالت سوپاپ نیز در حالت بسته قرار می‌گیرد. زیرا در این حالت بخار پر فشار مبرد وارد محفظهٔ سیلندر شده و بر پیستون در خلاف جهت فنر فشار وارد می‌آورد. در نتیجه محور نیز سوپاپ لغزنده را در محل خود ثابت نگه داشته و کمپرسور با بار کامل کار می‌کند.

چنان‌چه شیر برقی مربوط به بار، بسته و شیر بی‌بارکننده

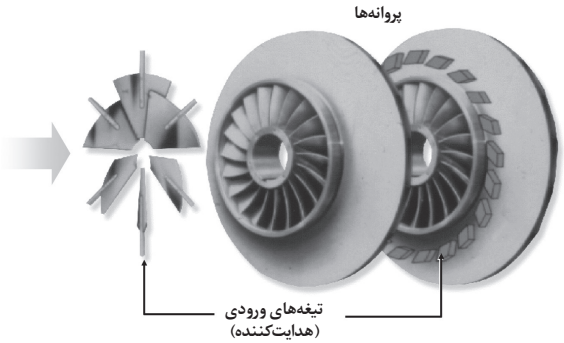
باز شـــود، بخار مبرد موجود در سیلندر، راهی برای خروج پیدا می‌کند. در نتیجه متناسب با خروج مبرد از سیلندر و کاهش فشار، فنر انتهایی سیلندر پیستون را به عقب رانده و محور نیز به همراه آن جابه‌جا می‌شود و در پی آن سوپاپ لغزنده نیز به کنار رفته و کمپرسور به سمت بی‌بار شدن میل می‌کند.

وقتی چیلر خاموش است، شیر برقی بی‌بارکننده فعال است و فنر، پیستون را کاملاً به عقب می‌راند. در این صورت همواره چیلر به صورت بدون بار روشن خواهد شد.

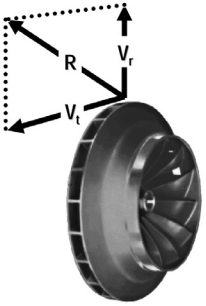
کنترل ظرفیت کمپرسور گریز از مرکز



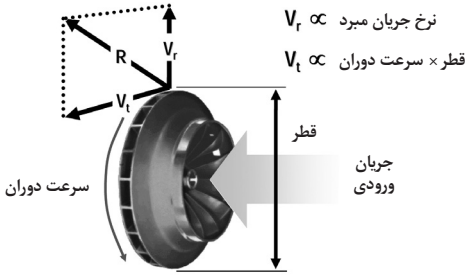
در کمپرسورهای گریز از مرکز کنترل ظرفیت با تغییر سرعت و یا به کمک تیغه‌هایی صورت می‌گیرد که در مدخل مکش پروانه قرار دارند. تغییر زاویهٔ تیغه‌ها موجب تغییر زاویهٔ بخار مبرد هم می‌شود و در این صورت بدون تغییر سرعت پروانه یا قطر آن ظرفیت متراکم‌سازی کمپرسور تغییر می‌کند.



در کمپرســورهای چند مرحله‌ای هم هریک از پروانه‌ها دارای تیغه‌های ورودی خاص خود هستند.



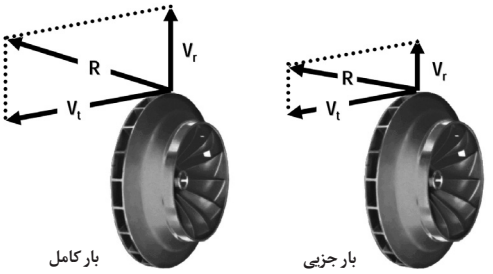
نیروهای پروانه گریز از مرکز دارای دو مؤلفه اســت. یک مؤلفه شــامل حرکت مبرد در راستای شــعاع آن است که سرعت شعاعی[1] (V_r) خوانده می‌شــود و مؤلفه دوم حرکت مبــرد در جهت دوران پروانه اســت که ســرعت دوران یا تانژانت[2] (V_t) نامیده می‌شــود. برایند این دو مؤلفه سرعت برداری[3] (R) مبرد است که طول آن متناسب با مقدار انرژی جنبشی مبرد است.



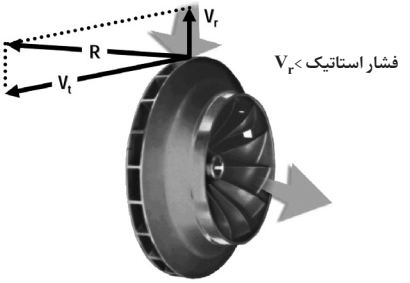
ســرعت شعاعی متناســب با دبی مبرد است و سرعت دورانی متناسب با سرعت گردش و قطر پروانه است. بنابراین فشار ایجاد شده توسط کمپرسور با سه پارامتر دبی، سرعت

1- Radial Velocity
2- Tangential Velocity
3- Velocity Vector

پروانه و قطر پروانه تغییر می‌کند.

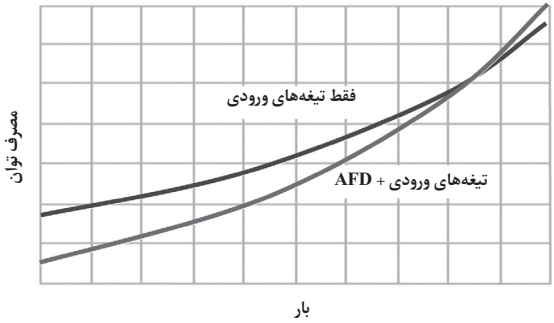


وقتی قطر و سرعت پروانه ثابت باشد؛ تنها راه تغییر ظرفیت کمپرسور، کاهش یا افزایش دبی مبرد است. به این منظور با تغییر زاویهٔ تیغه‌های ورودی، دبی ورودی به کمپرسور تغییر کرده و متناسب با آن ظرفیت کاهش یا افزایش می‌یابد. زیرا سرعت شعاعی (V_r) متناسب با دبی است. بنابراین با کاهش دبی، سرعت شعاعی نیز کاهش یافته و در مجموع بردار سرعت (R) کوتاه می‌شود.



در صورت کاهش بیش از اندازهٔ دبی و سرعت شعاعی امکان پس فشار در پروانه به وجود خواهد آمد. بی‌ثباتی بار و کاهش بیش از اندازهٔ سرعت شعاعی و ایجاد پس فشار موجب ارتعاش و سروصدای پروانه می‌شود.

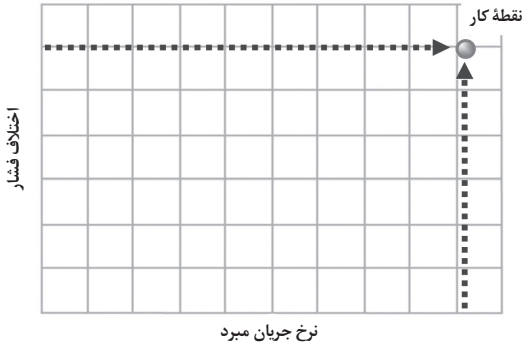
محرک فرکانس متغیر



یکی از راه‌های کنترل ظرفیت چیلرهای گریز از مرکز استفاده از محـــرک قابل تنظیم فرکانس[1] یا محرک ســـرعت متغیر[2] اســـت که بر پایهٔ یک ریزپردازنده ســـرعت را متناسب با بار کاهش یا افزایش می‌دهد.

1- Adjustable-Frequency Drive(AFD)
2- Variable - Speed Drive(VSD)

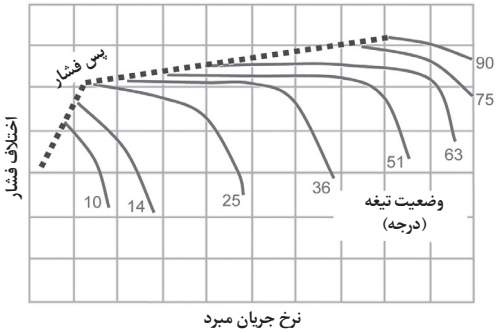
نقطهٔ کار کمپرسور گریز از مرکز



نمودار بالا براساس دبی مبرد و اختلاف فشار بین ورودی و خروجی کمپرسور ترسیم شده است.

نقطهٔ عملکرد (کار) کمپرسور نیز بر مبنای تلاقی این دو پارامتر بر روی نمودار تعیین می‌شود.

نمودار کمپرسور گریز از مرکز

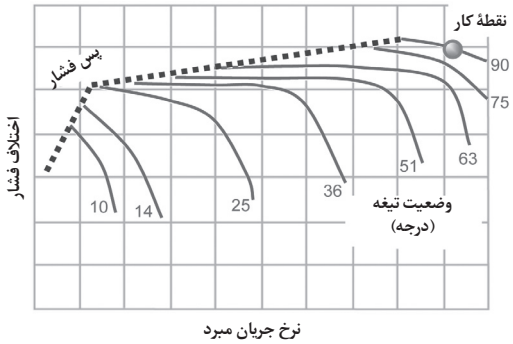


نمودار بالا وضعیت تیغه‌های ورودی کمپرسور گریز از مرکز را نمایـــش می‌دهد که نقطهٔ کار نیز بـــر روی همین نمودار متناسب با وضعیت تیغه‌های ورودی تعیین می‌شود.

نقطه‌چین‌ها نشانگر محدوده‌ای است که در آن پس فشار روی داده و کمپرسور دچار بی‌ثباتی خواهد شد.

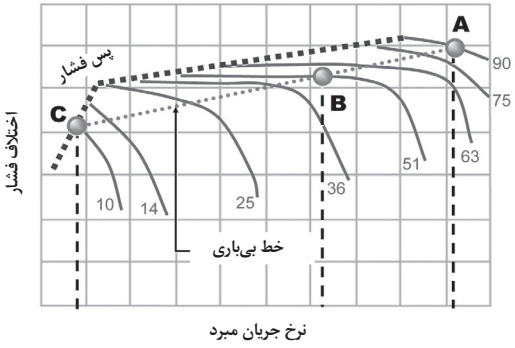
هر چه نقطهٔ کار به سمت راست نمودار نزدیک‌تر باشد؛ کمپرسور متعادل‌تر عمل خواهد کرد.

تعیین نقطهٔ کار بر روی نمودار



تصویـــر بالا، نمودار عملکرد کمپرســـور دو مرحله‌ای گریز از مرکز اســـت که نقطهٔ کار کمپرســـور در محلی که تیغه‌های ورودی به اندازه 90 درجه باز هســـتند؛ نمایش داده شـــده است. در این نقطه، بار کمپرسور متعادل است.

نمودار عملکرد کمپرسور در بارهای مختلف



نقطهٔ A بر روی نمودار نشـــان‌گر کار کمپرسور در بار کامل و حالت متعادل است.

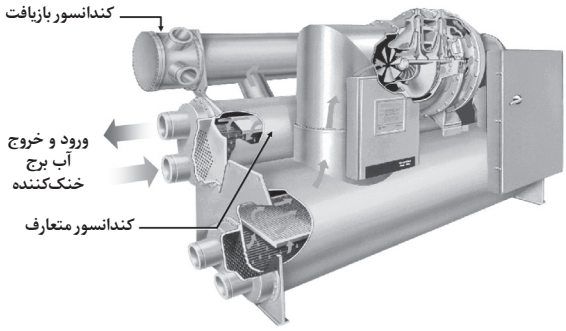
چنان‌چه بار چیلر کاهش یابد، تیغه‌های ورودی مقداری بسته خواهد شـــد. در این صورت با کاهش دبی بخار مبرد ورودی به پروانهٔ کمپرسور، نقطهٔ کار جدیدی به وجود خواهد آمد تا ضمن کاستن از بار، کمپرسور هم‌چنان در ثبات نسبی به کار خود ادامه دهد.

نقطهٔ جدید بر روی نمودار با B نمایش داده شـــده است که خط 51 درجه را قطع کرده اســـت و در عین حال نشان می‌دهـــد که در این نقطه دبی مبرد ورودی نیز کاهش یافته اســـت. این نقطه از محدودهٔ نقطهٔ‌چین پس فشار به اندازهٔ کافی فاصلـــه دارد. نکتهٔ مهم دیگر که باید به آن در نمودار

توجه داشـــت موضوع کاهش متـــوازن و متعادل دبی مبرد نسبت به اختلاف فشار است. این نمودار نشان می‌دهد که چنان‌چه اختلاف فشـــار متناسب با کاهش دبی کم نشود، کمپرســـور در محدودهٔ نقطه‌چین کار خواهد کرد که معنای آن ایجاد پس‌فشار و بی‌ثباتی در عملکرد است.

در صورت کاهش بار ممکن است نقطهٔ کار کمپرسور به C نیز برسد که این نقطه، مرز ورود به حالت بی‌ثباتی و بروز پس‌فشار است. اما مادامی که اختلاف فشار متناسب با دبی باشد، می‌توان انتظار داشت که کمپرسور در کمترین بار نیز با ثبات به کار خود ادامه دهد.

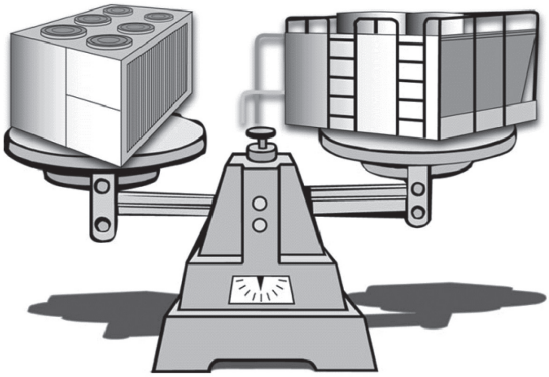
بازیافت گرما در چیلر گریز از مرکز



به‌طور معمول کندانسور گرمای مبرد را از طریق آب یا هوا روانهٔ جو می‌کند.

با استفاده از یک مبدل حرارتی که به عنوان کندانسور ثانویه یا بازیافت مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ می‌توان گرمای دفع شده را به صورت انرژی مفید بازیابی کرد. در کندانسور بازیافت، بخشی از بخار داغ مبرد گرمای خود را به آبی می‌دهد که از آن می‌توان برای تأمین آب گرم مصرفی و یا گرمایش برخی فضاها استفاده کرد. البته به‌طور معمول چیلرها در تابستان مورد استفاده قرار می‌گیرند و استفاده از آب گرم کندانسور بازیافت، زمینه‌های محدودی برای گرمایش دارد. از این جمله فارغ از تهیهٔ آب گرم مصرفی می‌توان به گرمایش کوئل‌های دوباره گرمکن در سیستم‌های یک منطقه‌ای یا کوئل‌های گرمایی هواسازهای چند منطقه‌ای اشاره کرد.

کندانسور آبی یا کندانسور هوایی؟



چیلرهـــای تراکمی و از جمله چیلرهای پیچی و گریز از مرکز قابلیـــت بهره‌گیری از هر دو نوع کندانســـور آبی و هوایی را دارند.

هر یک از این دو دارای مزایایی هســـتند که با توجه به ظرفیت سرمایشـــی چیلر، شرایط اقلیمی و صرفهٔ اقتصادی می‌توانند گزینه‌های قابل قبول باشند و البته در موارد خاص نسبت به دیگری دارای برتری نسبی شوند.

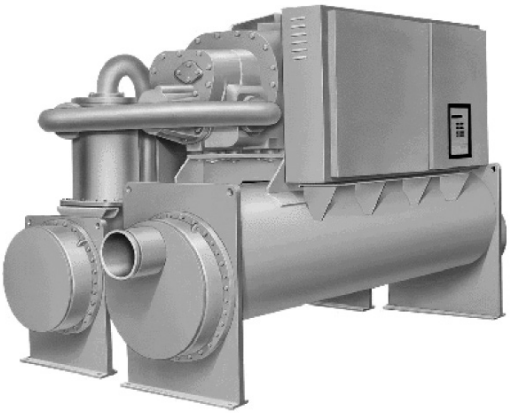
مهم‌ترین امتیاز کندانســـور هوایی عـــدم نیاز آن به برج خنک‌کننده است. در پی این امتیاز بزرگ نیاز به تأمین آب و سختی‌گیری آن از بین می‌رود. هم‌چنین تعمیر و نگه‌داری برج، اختصاص فضا به آن، احتمال یخزدگی آب(در مواردی که چیلر باید در تمام ســـال کار کند.)پاکســـازی لوله‌های کندانسور نیز به تبع حذف برج خنک‌کننده از میان برداشته می‌شود.

دیگر امتیاز کنداسور هوایی، ایجاد امکان ساخت واحدی یکپارچه با قابلیت نصب در فضای باز اســت که این امتیاز منجر به نصب آســان‌تر آن می‌شود و در عین حال با حذف لوله‌کشــی‌ها و پمپ‌های برج خنک‌کننده هزینه‌ها کاهش یافته و سطح اشغال تجهیزات نیز کاهش می‌یابد. البته باید توجه داشــت که اگرچه نصب در فضای باز ممکن است در برخی موارد به ســهولت نصب و سطح اشغال بیانجامد؛ اما معایبی هم‌چون عمر کوتاه‌تر به دلیل قرار گرفتن در معرض شرایط جوی ناخوشایند و محدودیت در انتخاب محل نصب متناسب با فاصلهٔ آن با فضاهای داخلی ساختمان را نیز به همراه دارد.

کندانســور هوایی در مناطقی که بــه دلیل رطوبت بالا امکان استفاده از برج خنک‌کننده وجود ندارد؛ گزینهٔ بسیار مناسبی است.

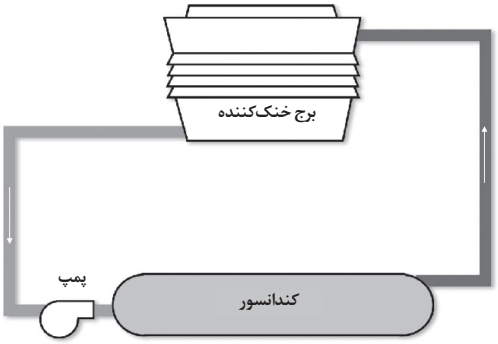
کندانســورهای آبی بــا وجود ایــن کــه نیازمند برج خنک‌کننده هســتند و هزینهٔ نصب، راهبــری و نگه‌داری آنها بیشتر از کندانســورهای هوایی است، گزینهٔ پرکاربردی محســوب می‌شوند. زیرا بازده انرژی و عمر آنها بیشتر است و هم‌چنین قابلیت کار با چیلرهای بسیار پرظرفیت را دارند.

از مزایایی دیگر کندانسور آبی نسبت به کندانسور هوایی که به استهلاک کمتر و عمر بیشتر آن می‌انجامد، کار کردن در فشار کمتر است. به همین دلیل چیلرهایی با کندانسور آبی در شرایط نگه داری مناسب عمری حدود 20 تا 25 سال دارند. در صورتی که عمر کندانســورهای هوایی در شرایط نگه‌داری مشابه حدود 15 تا 20 سال است.





کنترل دمای تقطیر



تمام چیلرها نیازمند حداقل فشار بین اواپراتور و کندانسور به منظور مدیریت هرچه بهتر مبرد و روغن هستند. این حداقل فشـــار وابسته به طراحی چیلر و کنترل‌های آن است. اغلب برای حفظ این اختلاف فشـــار در بارهای مختلف بر دمای تقطیر اعمال کنترل می‌شـــود. این کنترل در کندانسورهای آبی با کنترل دبی آب و در کندانســـورهای هوایی با کنترل جریان هوا صورت می‌گیرد.

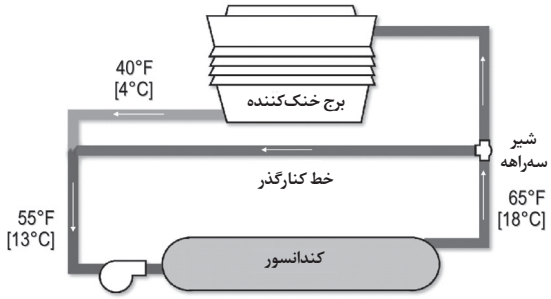
کنترل دمای تقطیر اهداف زیر را دنبال می‌کند:

الف)- حفظ بازده چیلر در بارهای مختلف

ب)- حفظ اختلاف فشار بین اواپراتور و کندانسور

ج)- جلوگیری از عدم تعادل فشار به منظور جلوگیری از ماندن روغن در کندانسور

کنترل دمای آب کندانسور



یکـــی از راه‌های کنترل اختلاف فشـــار مبـــرد در اواپراتور و کندانســـور در چیلرهایی کـــه دارای کندانســـور آبی و برج خنک‌کننده هســـتند، اعمال کنترل بر دبـــی و دمای آب خنک‌کنندهٔ کندانســـور اســـت و از طریق یک یا تعدادی از روش‌های زیر این کنترل اعمال می‌شود:

الف)- کنتـــرل دمای آبی که بـــرج خنک‌کننده را ترک می‌کند به کمک تغییر دور فن و یا خاموش و روشن کردن آن

ب)- اختلاط آب گرم خروجی از کندانســـور و آب خنک برج برای تعدیل دمای آب ورودی به کندانسور به کمک شیر ســـه راهه به منظور کاســـتن از ظرفیت در حالت بار جزیی مشابه آن‌چه در تصویر بالا مشاهده می‌شود.

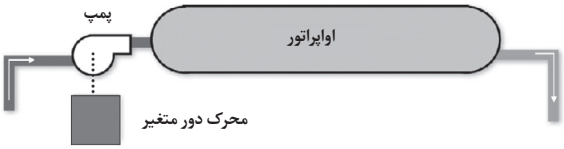
ج)- اســـتفاده از شیر تناسبی تدریجی برای کاهش دبی آب ورودی به کندانسور

د)- به کار بردن لوله کنارگذر به موازات کندانسور برای منحرف کردن بخشی از جریان آب و کاهش دبی کندانسور

ه)- استفاده از پمپ دور متغیر برای تغییر دبی آب کندانسور

هر یک از موارد فوق دارای مزایا و معایبی است که متناسب با شرایط ویژه قابل بررسی و استفاده است.

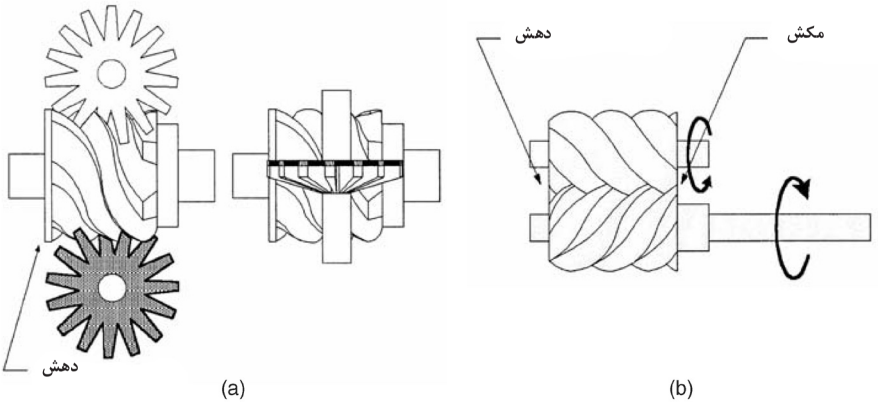
پمپ جریان متغیر برای آب سرد اواپراتور



یکـــی از راه‌های کنترل ظرفیت چیلر اســـتفاده از پمپ دور متغیـــر در مدار اواپراتور اســـت؛ اما اســـتفاده از این روش مستلزم رعایت شرایط ویژه‌ای است:

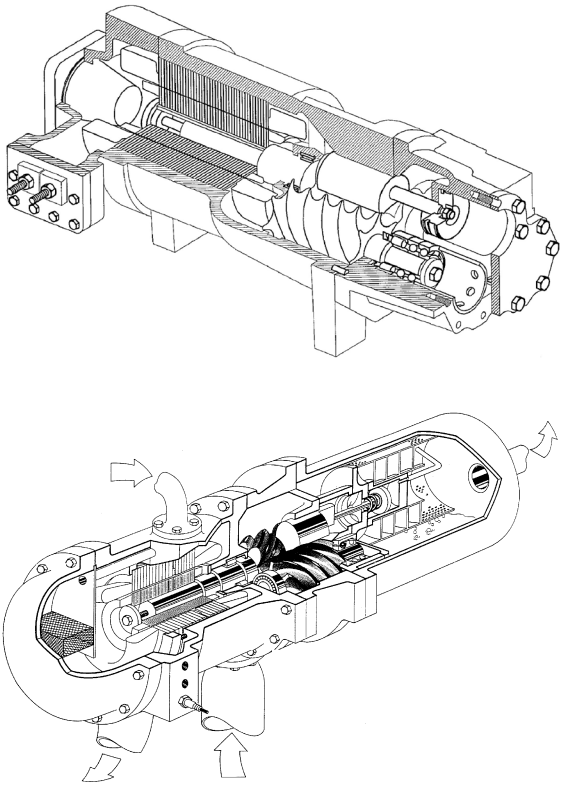
الـــف)- حتماً باید حداقل و حداکثـــر دبی ضروری برای کار اواپراتور توســـط سازندگان تعیین شده باشد و پمپ دور متغیـــر در دامنهٔ مجاز دبی را کاهش یـــا افزایش دهد. این محدودیت وابســـته به جزئیات اواپراتور مانند تعداد لوله‌ها، آرایش هندســـی و تعداد گذر اواپراتور اســـت و باید مطابق توصیهٔ سازندگان باشد.

ب)- دبـــی اواپراتور باید در محـــدوده‌ای تغییر کند که دمای آب سرد در حد نقطهٔ تنظیم حفظ شود و علاوه بر این هیچ‌گونه آسیبی متوجه چیلر نشود.

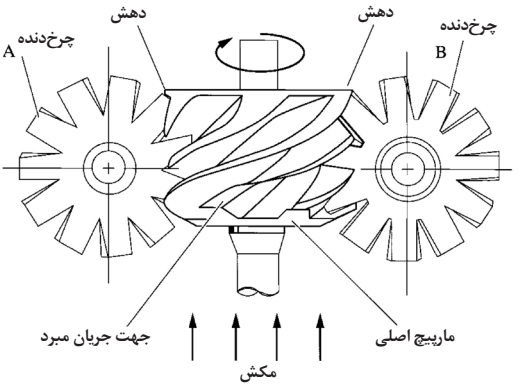


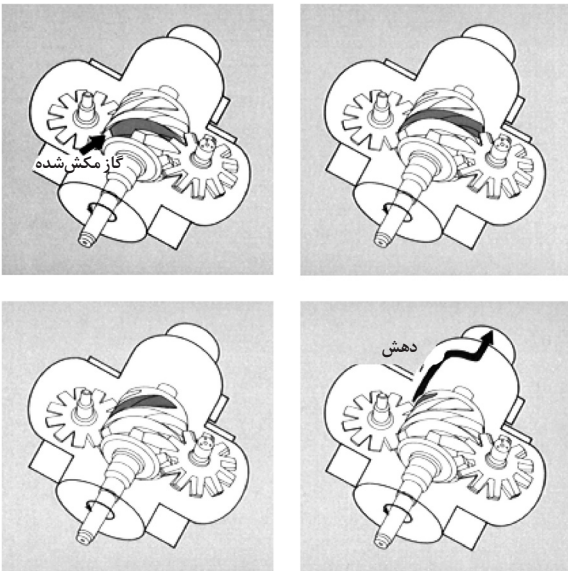
دو گونه کمپرســـور پیچی که گونه سمت چپ (a) با روتور یا گردانه دوتایی و گونه سمت راست (b) با روتور تکی است. در عین حال به نوع (a) کمپرسور دو پیچه (twin-screw) و به نوع (b) کمپرسور تک پیچه (single screw) نیز گفته می‌شود.

ساختار کمپرسور پیچی (a) و مراحل تراکم به وسیله کمپرسور پیچی (b)

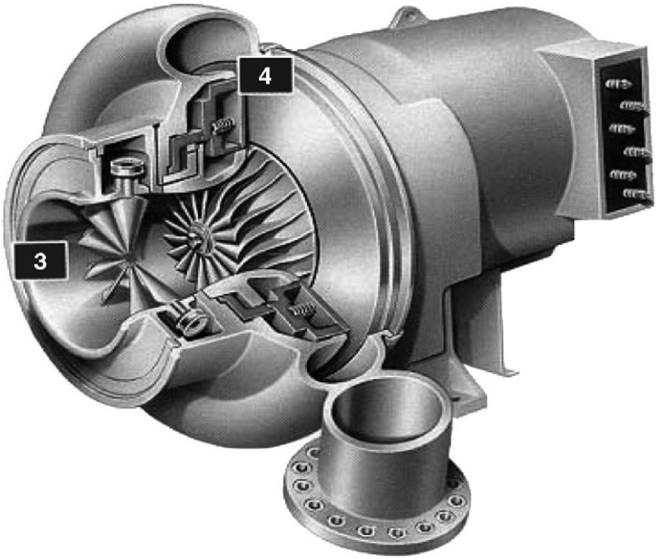


برش‌هایی از کمپرسور پیچی نیم‌بسته از نوع دو مارپیچ

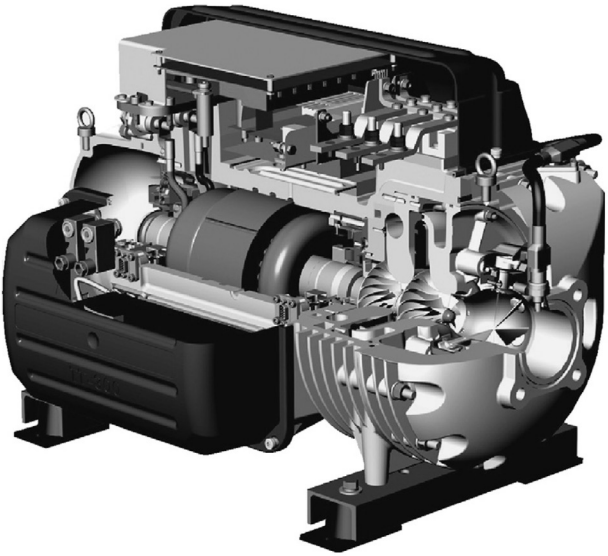




چگونگی عملکرد کمپرسور پیچی از نوع ماریپچ تکی



نوعی کمپرسور گریزازمرکز که دهانه مکش آن با عدد 3 و دهش آن با عدد 4 نمایش داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود دهانه‌های ورود خروج بخار مبرد نسبت به سایر کمپرسورها بزرگتر است.



نوعی کمپرسور گریزازمرکز با دو پروانه برروی یک شفت که موجب افزایش فشار می‌شـــوند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود زاویه سمت مکش با دهانه مکش 90 درجه است.

مراجع

For more information, refer to the following references:

- Trane product catalogs for helical-rotary water chiller products

(Trane literature order numbers RLC-DS-1, RLC-DS-2, RLC-DS-4, and RLC-DS-6)

- Water-Cooled Series R® Chiller—Model RTHC Mechanical Operation (RLC-EB-16)
- Series R® CenTraVac® Chiller Condensing Water Temperature Control (RLC-EB-4)
- Multiple Chiller System Design And Control (CON-AM-21)
- ARI Standard 5501998–590/: Implications For Chilled-Water Plant Design
- (Trane Engineers Newsletter, 1999—volume 28, no. 1)
- Trane product catalogs for centrifugal water chiller products
- (Trane literature order numbers CTV-DS-1 and CTV-DS-2)
- Condensing Water Temperature Control (CTV-EB-84)
- Multiple Chiller System Design and Control (CON-AM-21)
- Principles of Centrifugal Chiller Heat Recovery Operation (AM-REF-2)
- ARI Standard 5501998–590/: Implications For Chilled-Water Plant Design
- (Trane Engineers Newsletter, 1999–volume 28, no. 1)

- Variable-Primary-Flow Systems (Trane Engineers Newsletter، 1999–volume 28، no. 3)
- Chilled Water Systems Engineered Systems Clinics (CWS-CLC-1، 2، 3، and 4)
- ASHRAE Handbook—Refrigeration
- ASHRAE Handbook—Systems and Equipment

Visit the ASHRAE Bookstore at www.ashrae.org.

For information on additional educational materials available from Trane، contact your local Trane sales office (request a copy of the Educational Materials price sheet — Trane order

no. EM-ADV1) or visit our online bookstore at www.trane.com/bookstore/.

تاکنون از همین مؤلف منتشر شده است

۱- تئوری گشایش‌ها (سه جلد)، انتشارات گوتنبرگ، ۱۳۶۸
۲- فرهنگ تأسیسات ساختمان، ویراست اول (انتشارات سالکان ۱۳۷۶)، ویراست دوم (نشر کتاب دانشگاهی ۱۳۸۳)، ویراست سوم (انتشارات یزدا ۱۳۸۸)
۳- تله بخار، ویراست اول (انتشارات سورمق ۱۳۸۲)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۸۷)
۴- راهنمای مهندسی گرمایش و تهویه مطبوع ویرایش یازدهم، چاپ اول تا چهارم (نشر کتاب دانشگاهی ۱۳۸۴)، چاپ پنجم (انتشارات یزدا ۱۳۸۷)، چاپ ششم (انتشارات یزدا ۱۳۹۲)
۵- طبقه‌بندی تجهیزات و سیستم‌ها، ویراست اول (انتشارات سورمق ۱۳۸۵)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۸۷)، ویراست سوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۰)
۶- مراجعات سریع، ویراست اول (انتشارات سورمق ۱۳۸۵)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۸۸)، ویراست سوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۳)
۷- برق برای تهویه مطبوع، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۸۷)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۲)
۸- سایکرومتریک، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۸۷)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۲)
۹- چیلر جذبی، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۸۷)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۰)، ویراست سوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۷)
۱۰- دستنامه تأسیسات، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۸۸)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۷)
۱۱- فرهنگ جیبی تأسیسات ساختمان، انتشارات یزدا ۱۳۸۹

۱۲- طراحی موتورخانه، ویراســـت اول (انتشـــارات یزدا ۱۳۸۹)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۰)، ویراست سوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۴)

۱۳- اقلیم، معمـــاری، تهویه‌مطبوع، چاپ اول (انتشـــارات یزدا ۱۳۹۰)، چاپ دوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۲)

۱۴- جزئیات تأسیسات ساختمان، انتشارات یزدا ۱۳۹۱

۱۵- چیلر تراکمی، ویراســـت اول (انتشارات یزدا ۱۳۹۱)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۵)

۱۶- تأسیســـات مکانیکی برای دانشجویان معماری، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۸۹)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۰)، ویراست سوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۱)، ویراست پنجم (انتشارات یزدا ۱۳۹۸)

۱۷- تأسیســـات برقی برای دانشـــجویان معماری، ویراســـت اول (انتشارات یزدا ۱۳۹۲)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۹۵)

۱۸- سیستم‌های اعلام حریق، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۸۵)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۳۸۸)، ویراست سوم (انتشارات یزدا ۱۳۸۹)، ویراست چهارم (انتشارات یزدا ۱۳۹۲)، ویراست پنجم (انتشارات یزدا ۱۳۹۴)

۱۹- محاسبات بار سرمایی و گرمایی، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۹۳)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۴۰۰)

۲۰- آشنایی با سیستم‌های تهویه مطبوع، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۹۳)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۴۰۰)

۲۱- آشـــنایی با چیلر جذبی، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۹۳)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۴۰۰)

۲۲- اجزا و چرخهٔ سرمایش، ویراست اول (انتشارات یزدا ۱۳۹۳)، ویراست دوم (انتشارات یزدا ۱۴۰۰)

۲۳- طراحی تأسیسات ساختمان (دو جلد، انتشارات یزدا ۱۳۹۴)

۲۴- Leed، معیاری برای ساختمان سبز، انتشارات یزدا ۱۳۹۵
۲۵- تاسیسات برقی و مکانیکی ساختمان‌های بلند، انتشارات یزدا ۱۳۹۶
۲۶- پهنه‌بندی اقلیمی ایران، انتشارات یزدا ۱۳۹۷
۲۷- آسایش حرارتی، انتشارات یزدا ۱۳۹۷
۲۸- معماری همساز با اقلیم، انتشارات یزدا ۱۳۹۷
۲۹- دیباچه و تهیه‌ی گزارش فاز یک، انتشارات یزدا ۱۳۹۷
۳۰- محاسبات بار و انتخاب تجهیزات مولد، انتشارات یزدا ۱۳۹۷
۳۱- انتخاب تجهیزات تبادل حرارت، مکمل و مرکب، انتشارات یزدا ۱۳۹۷
۳۲- تجهیزات انتقال و توزیع، انتشارات یزدا ۱۳۹۷
۳۳- آب و فاضلاب، انتشارات یزدا ۱۳۹۷
۳۴- طراحی اماکن و تجهیزات خاص، انتشارات یزدا ۱۳۹۷
۳۵- تنظیم شرایط محیطی (به کمک تأسیسات مکانیکی)، انتشارات یزدا ۱۳۹۷
۳۶- صدا، انتشارات یزدا ۱۳۹۷
۳۷- تخمین بارهای گرمایی و سرمایی شهرهای ایران، انتشارات یزدا ۱۳۹۷
۳۸- مصرف بهینهٔ انرژی در تهویه مطبوع، انتشارات یزدا ۱۴۰۰
۳۹- مبانی سایکرومتری، انتشارات یزدا ۱۴۰۰
۴۰- پمپ حرارتی، انتشارات یزدا ۱۴۰۰
۴۱- سیستم حجم متغیر هوا، انتشارات یزدا ۱۴۰۰
۴۲- سیستم‌های کنترل تهویه مطبوع، انتشارات یزدا ۱۴۰۰
۴۳- فن‌های تهویه مطبوع، انتشارات یزدا ۱۴۰۰
۴۴- شبکه‌های آب سرد، انتشارات یزدا ۱۴۰۰
۴۵- انبارهٔ یخ، انتشارات یزدا ۱۴۰۰

Helical–Rotary Water Chiller & Centrifugal Water Chiller

A Trane Air Conditioning Clinic