

ایجاد برودت عموماً فرآیندی گران قیمت بوده که هزینه های آن شامل بخش های ذیل می باشد :

1- تجهیزات اولیه

2- انرژی مصرفی

3- تعمیر و نگهداری

در چیلر های بخار هزینه تجهیزات اولیه نسبت به سایر انواع چیلر معمولاً کمتر می باشد در بخش انرژی مصرفی ، انرژی گرمایی جایگزین انرژی الکتریکی گردیده که تامین آن ارزان تر بوده و نهایتاً بخش سوم ، هزینه های تعمیر و نگهداری بوده که معمولاً با گذشت زمان و استهلاک تجهیزات افزایش می یابد ، در چیلر های بخار حذف می گردد . حذف هزینه های تعمیر و نگهداری و عدم نیاز به نیروی متخصص ، بخصوص در کاربردهای صنعتی ، امتیاز بسیار با ارزشی برای این چیلر ها محسوب می گردد.

مجموع دلایل فوق باعث شده ، چیلر های بخار ، بعنوان راه حلی اقتصادی و ساده برای تولید برودت در صنایع ، به صورت بسیار جدی مطرح گردند.

مزایای چیلر های بخار



- عدم مصرف برق و استفاده از بخار به عنوان جایگزین
- حذف قطعات متحرک و مستهلک شونده
- حذف هزینه های تعمیر و نگهداری
- استفاده از آب بعنوان مبرد و حذف انواع مبرد های شیمیایی (مانند فرئون ، آمونیاک و ...)
- انعطاف پذیری نسبت به تغییر شرایط کاری (اثر آن تا 50٪ کاهش در متوسط مصرف بخار سالیانه می باشد)
- امکان کاهش دمای آب تا 1 °C و فشار بخار تا 1.8 Barg
- افزایش قابل توجه عمر کاری (بیش از 30 سال)
- امکان سرمایه‌ش مستقیم مواد اولیه و یا محصولات (حذف مبدل های حرارتی واسط)

استفاده از چیلر های جت بخار جهت تامین برودت سابقه طولانی داشته و به همین علت سازندگان معتبر و زیادی در آمریکا ، اروپا و ژاپن دارند. در ایران شرکت کارا تهویه از سال 1376 در زمینه طراحی و ساخت چیلر های بخار برای صنایع فعالیت داشته و در این زمینه موفق به اخذ تاییدیه از سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران و گواهینامه ایزو 9001 ، گردیده است . همچنین تعداد زیادی از آنها را در نیروگاه ها ، شرکت های صنایع شیمیایی و غذایی نصب و راه اندازی نموده است.

اساس کار چیلر های بخار

دمای جوش آب ارتباط مستقیم با فشار هوا در سطح آن دارد . به طور مثال دمای جوش آب در سطح دریا 100 °C می باشد در حالی که در ارتفاعات کوهستانی که فشار هوا کمتر از سطح دریا بوده ، دمای جوش آب نیز کمتر از 100 °C می باشد و بالعکس در یک مخزن تحت فشار مانند دیگ بخار ، که فشار درون آن بیش از فشار محیط می باشد دمای جوش نیز افزایش پیدا کرده و بیش از 100 °C می باشد . بر همین اساس در یک واحد سرمایه‌ش با جت بخار ، با کاهش فشار درون اواپراتور چیلر به بوسیله اجکتور های بخار ، دمای جوش آب نیز کاهش یافته و در نتیجه گرمای آب در اثر جوشش و تبخیر، از آن خارج شده و

باعث سرد شدن آب می گردد. بخار خروجی از اواپراتور توسط اجکتور های بخار، که در این سیستم بعنوان کمپرسور عمل می نمایند، به کندانسور منتقل می شوند. در کندانسور گرمای بخار جذب آب خنک کننده شده و از آن طریق از سیستم خارج می گردد. قلب چیلر های بخار، اجکتور های آن می باشد. اجکتور ها عملکردی مشابه پمپ ها و کمپرسور ها داشته با این تفاوت که بجای انجام کار توسط حرکت دورانی پروانه، کار لازم با استفاده از انرژی نهفته در فشار سیال محرک (که در جت چیلر ها بخار می باشد) و تبدیل آن به انرژی جنبشی انجام می گردد. حذف بخش های دوار به همراه ساختار ساده اجکتورها باعث ایجاد مزیت های زیادی برای آنها شده که از آن جمله می توان به عدم استهلاک، قابلیت کارکرد دائم، عدم تعمیر و نگهداری، عمر طولانی آنها اشاره نمود.

□ شرکت آلمانی GEA، که از معتبرترین سازندگان تجهیزات بوده و در ایران نیز شناخته شده می باشد، از جمله سازندگان معتبر انواع اجکتور و چیلر های بخار بوده که تعداد بسیار زیادی را در ظرفیتهای گوناگون، تولید و نصب نموده است.

انواع چیلر های بخار

چیلر های بخار با توجه به نوع کندانسور، به دو گروه اصلی تقسیم میشوند:

چیلر با کندانسور پوسته - لوله (Shell & Tube):

این مدل کندانسور، بخار آب درون پوسته کندانسور بوده و در اثر تماس با لوله هایی که آب خنک کن در آن جریان دارد کندانس می گردد. ارتفاع نصب آنها حدود 1 تا 2 متر بوده و فضای کمتری را نسبت به کندانسور های تماس مستقیم اشغال می نماید به همین دلیل به این مدل (CAMPACT) نیز می گویند.

چیلر با کندانسور تماس مستقیم:

در این کندانسور بخار در اثر تماس مستقیم با آب خنک کن، تقطیر شده و با آب خنک کن مخلوط می گردد. ساختار ساده، هزینه اولیه کمتر، عدم اهمیت کیفیت آب خنک کن، عدم نیاز به تمیز کاری همچنین کاهش مصرف بخار چیلر نسبت به کندانسور پوسته - لوله از مزایای این مدل کندانسور می باشد. از طرفی با توجه به خلاء درون کندانسور، معمولاً کندانسور های تماس مستقیم در ارتفاع بیش از 10 متر نصب می گردند تا آب خنک کن براحتی و بدون نیاز به پمپ تخلیه گردد. در مواردی که عدم برگشت آب کندانس ضروری نبوده و محدودیتی در ارتفاع نصب نباشد استفاده از کندانسور های تماس مستقیم توصیه می شوند.

برای کاهش مصرف بخار همچنین کنترل ظرفیت در چیلر های بخار، معمولاً چیلر ها به صورت چند مرحله استفاده می گردد. به طور مثال چنانچه در یک چیلر لازم باشد دمای آب سرد از 10 به 1 کاهش یابد، چنانچه این کاهش دما طی 3 مرحله انجام پذیرد یا بعبارت دیگر از چیلر 3 مرحله استفاده شود بیش از 40٪ مصرف بخار نسبت به چیلر 1 مرحله کاهش می یابد (اثرات تعداد مراحل بر روی مصرف بخار در شکل شماره ... نشان داده شده است). علاوه بر این ظرفیت چیلر نیز به 3 قسمت تقسیم شده و امکان کنترل ظرفیت به صورت پلکانی و مدیریت مصرف بخار در زمان کاهش مصرف آب سرد، ایجاد می گردد.

سایزها استاندارد انواع چیلر بخار

چیلر های جت بخار معمولاً بر اساس سفارش و شرایط درخواست شده طراحی و تولید می شوند. از طرفی جهت کاهش قیمت اولیه و زمان تحویل این شرکت مدلهای ذیل را به عنوان مدل استاندارد معرفی نموده است. این مدل ها به صورت یک مرحله بوده که می توان با مدل مشابه خود به صورت سری متصل شوند. در جدول شماره .. بعنوان نمونه یک مدل چیلر با کندانسور پوسته - لوله و یک مدل چیلر با کندانسور تماس مستقیم به عنوان نمونه انتخاب شده اند که به صورت 2 و 3 مرحله سری شده اند. درصد تغییرات ایجاد شده در مشخصات چیلر جدید نسبت چیلر یک مرحله اولیه در خصوص ظرفیت برودت، مصرف بخار و آب خنک کن و دبی آب سرد تولید شده، برای سایر مدل ها نیز صادق می باشد.

KC280	KC205	KC170	KC120	KC75	KC45	KC30	KS30	KS20		مدل چیلر
980	720	550	420	260	155	105	105	70	kW	ظرفیت تبرید
12	12	12	12	12	12	12	12	12	°C	دمای ورودی
7	7	7	7	7	7	7	7	7	°C	دمای خروجی
435	151.4	95.7	55.7	38.3	27	18.3	18.3	12.2	m ³ /h	دبی سیرکوله
28/16	8/6	6/5	5/4	4/3	3/2.5	3/2	3/2.5	3/2	in	سایز ورود / خروج
27	27	27	27	27	27	27	27	27	°C	دمای ورودی
34	34	34	34	34	34	34	34	34	°C	دمای خروجی
920	267	168	98	67.5	47.5	32.2	36.1	24	m ³ /h	دبی سیرکوله
24 - 40	16 - 24	10 - 14					3 - 4	3 - 4	In	سایز ورود / خروج
6807	1974	1248	726	500	352	238	286	191	Kg/h	تابستان (%/100)
4084	1184	749	436	300	211	143	172	114	Kg/h	بهار / پاییز (%/60)
1361	395	250	145	100	70	48	57	38	Kg/h	زمستان (%/20)
4.5	1.3	0.82	0.48	0.33	0.23	0.157	0.157	0.10 5	m ³ /h	آب مصرفی (MW)
3	2	2	2	2	1	1	1	1		تعداد مراحل چیلر (N)
ت-م	ت-م	ت-م	ت-م	ت-م	ت-م	ت-م	پ-ل	پ-ل		مدل کندانسور
20	15	3					3.5	3.5	m	طول
7	5	3					1.5	1.5	m	عرض
20	13	17					3.0	3.0	m	ارتفاع
75	25	20					2.2	2.2	Ton	خالی
100	32	25					3.0	3.0	Ton	در حال کار
240	70	40					4.0	4.0	Ton	در حال تست

1 فشار بخار محرک 4 Barg می باشد

2 پ-ل مخفف کندانسور نوع پوسته - لوله می باشد

3 ت-م مخفف کندانسور نوع تماس مستقیم می باشد

3xKC205	2xKC170	KC120	3xKS30	2xKS30	KS30		مدل چیلر
720	550	420	105	105	105	kW	ظرفیت تبرید
12	12	12	12	12	12	°C	دمای ورودی
7	7	7	7	7	7	°C	دمای خروجی
151.4	95.7	55.7	18.3	18.3	18.3	m ³ /h	دبی سیرکوله
8/6	6/5	5/4	3/2	3/2.5	3/2.5	in	سایز ورود / خروج
27	27	27	27	27	27	°C	دمای ورودی
34	34	34	34	34	34	°C	دمای خروجی
267	168	98	32.2	36.1	36.1	m ³ /h	دبی سیرکوله
16 - 24	10 - 14			3 - 4	3 - 4	In	سایز ورود / خروج
1974	1248	726	238	286	286	Kg/h	تابستان (%/100)
1184	749	436	143	172	172	Kg/h	بهار / پاییز (%/60)
395	250	145	48	57	57	Kg/h	زمستان (%/20)
1.3	0.82	0.48	0.157	0.157	0.105	m ³ /h	آب مصرفی (MW)
2	2	2	1	1	1		تعداد مراحل چیلر (N)
				پ-ل	پ-ل		مدل کندانسور
15	3			3.5	3.5	m	طول
5	3			1.5	1.5	m	عرض
13	17			3.0	3.0	m	ارتفاع
25	20			2.2	2.2	Ton	خالی
32	25			3.0	3.0	Ton	در حال کار
70	40			4.0	4.0	Ton	در حال تست

برآورد مصرف بخار و آب خنک‌کن در چیلر بخار

یک از امتیازات مهم چیلر جت بخار، انعطاف پذیری نسبت به شرایط کاری می باشد. در ادامه مطالب با توجه به نمودارهای ارائه شده و محدوده وسیع تغییرات ممکن در فشار بخار، دمای آب خنک کن و دمای آب سرد، که نشان داده شده، معنی انعطاف پذیری چیلرهای بخار بهتر مشاهده می گردد. این امتیاز ضمن گسترده نمودن قابلیت کار چیلر، امتیاز دیگری نیز دارد که آن کاهش مصرف بخار در اثر بهبود شرایط کاری می باشد. به این معنا که با توجه به طراحی اولیه چیلر ها که بر اساس سخت ترین شرایط کاری می باشد (معمولاً این حالت در ماه های گرم سال می باشد) با تغییر شرایط در سایر فصول و کاهش دمای آب خنک کن، مصرف بخار چیلر نیز به همان

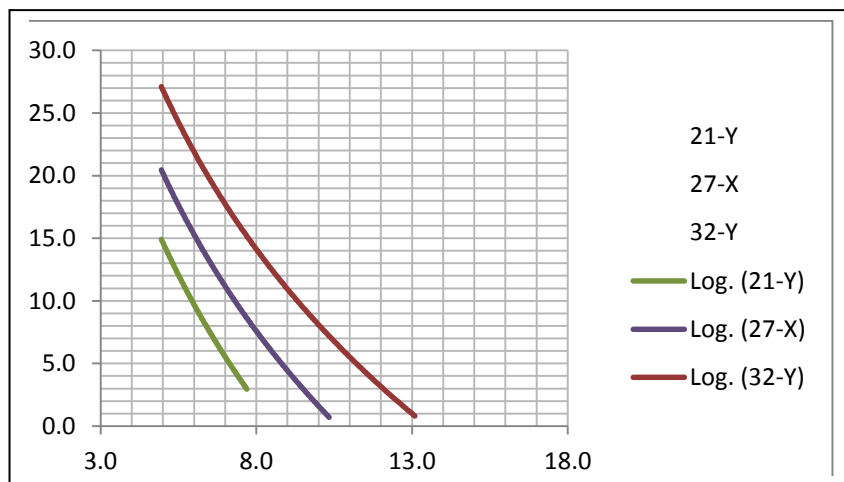
صورت کاهش می یابد، این موضوع باعث کاهش قابل توجه مصرف متوسط سالیانه بخار و آب خنک کن، نسبت به مقدار اولیه می گردد (تا 50٪).

مصرف بخار و آب خنک کن در چیلر بخار به عوامل زیر بستگی دارد:

- 1- دمای آب سرد خروجی از چیلر
- 2- دمای آب خنک کن
- 3- فشار بخار محرک
- 4- تعداد مراحل چیلر
- 5- نوع کندانسور

با توجه به تعداد عوامل تاثیر گذار در عملکرد چیلر های بخار، مقادیر دقیق مصرف بخار و آب خنک کن توسط سازنده چیلر مشخص می شود. نمودار های ذیل پیش بینی تغییرات مصارف بخار و آب خنک کن در صورت تغییر شرایط کاری را نشان می دهند. این نمودار ها برای چیلر با کندانسور نوع تماس مستقیم می باشد. مصرف بخار در چیلر های با کندانسور پوسته - لوله حدود 10٪ افزایش می یابد.

نمودار شماره 1



این نمودار اثر دمای آب سرد خروجی و دمای آب خنک کن ورودی به کندانسور با مصرف بخار را نشان می دهد.

در این نمودار فشار بخار محرک چیلر 4 Barg

می باشد همچنین میزان افزایش دمای

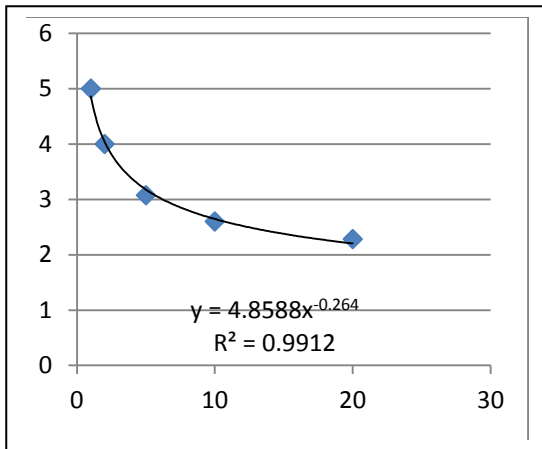
آب خنک کن، 7 درجه سانتیگراد می باشد. عبارت دیگر دمای آب خنک کن در خروج از کندانسور 7 درجه بیشتر از دمای ورودی به آن می باشد.

در نمودار محور y دمای آب سرد خروجی از چیلر بر حسب درجه سانتیگراد (C°)

محور X بخار مصرفی برای هر تن برودت بر حسب کیلوگرم در ساعت (Kg/H)

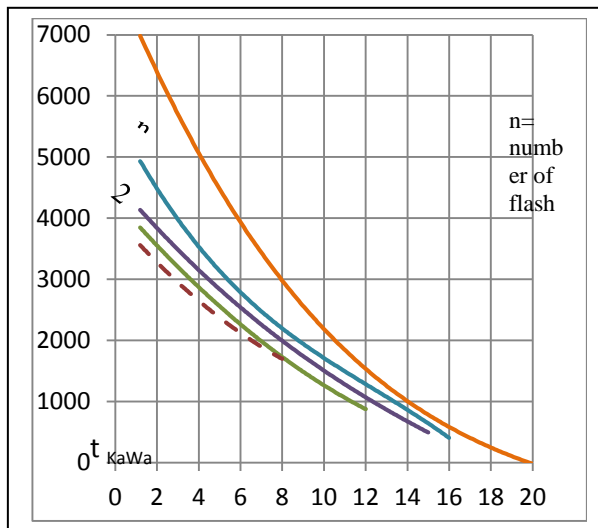
حطوط منحنی دمای آب خنک کن ورودی به چیلر بر حسب درجه سانتیگراد (C°)

$$Mw = 0.085x(Mstaem + 5.08) \times Cap(Ton)$$



نمودار شماره 2 اثر تغییر فشار بخار مصرفی

نمودار فشار بخار



نمودار مراحل

نمودار ذیل اثر تغییر دمای آب سرد خروجی (Twe) و دمای آب خنک کن ورودی (Twc) به چیلر را با مصرف بخار (Ms), نشان می دهد.

افزایش دمای آب سرد خروجی از چیلر باعث کاهش مصرف بخار می شود. این موضوع در فرآیندهایی که معمولاً دمای آب مابین 10 تا 20 درجه سانتیگراد می باشد، باعث صرفه جویی قابل توجه در مصرف انرژی می شود. از طرفی کاهش دمای آب خنک کن نیز باعث کاهش مصرف بخار می گردد. به همین علت در چیلر هایی که در تمام سال مورد استفاده قرار می گیرند، مصرف متوسط سالیانه تا حدود 50٪ نسبت به مصرف اولیه کاهش می یابد.

کنترل عملکرد چیلر های بخار

کنترل عملکرد چیلر های بخار به منظور کاهش هزینه های بهره برداری (کاهش مصرف بخار و آب خنک کن) صورت می پذیرد. کنترل عملکرد از دو طریق انجام می گردد:

- کنترل ظرفیت تبرید
- کنترل دبی بخار

کنترل ظرفیت

ظرفیت برودت در چیلر های بخار ، بر اساس دمای آب سردخروجی از چیلر کنترل شده ، و بوسیله باز و بسته نمودن شیر بخار اجکتور ها ، به صورت دستی یا اتوماتیک ، انجام می شود. در چیلر های چند مرحله همانگونه که قبلا گفته شد با توجه به تعداد مراحل ، کنترل ظرفیت به صورت پلکانی انجام می پذیرد.

کنترل دبی یا فشار بخار محرک جهت کاهش مصرف بخار

همانگونه که قبلا نیز ذکر شد با کاهش دمای آب خنک کن ورودی به چیلر مصرف بخار نیز کاهش می یابد ، به این منظور ، در چیلر هایی که در تمام طول سال در سرویس می باشند ، می توان شیر کنترل دبی بخار بر روی اجکتور ها نصب نمود ، تا به صورت اتوماتیک و یا دستی دبی بخار ورودی ، کنترل گردیده و مصرف متوسط سالیانه تا حدود 50٪ نسبت به مصرف اولیه ، کاهش یابد.

سرمایش مستقیم مواد اولیه و یا محصولات

با توجه به ساختار چیلر های بخار و نحوه عملکرد آنها این امکان وجود دارد که در مواردی که لازم است یک ماده اولیه یا محصول تولیدی سرد گردد بطور مستقیم مواد فوق را از درون اواپراتور چیلر عبور داده تا تحت خلاء و بطور مستقیم سرد گردد. در این حالت ضمن افزایش سرعت و راندمان ، تجهیزات واسط مانند مبدل های حرارتی و لوله کشی و پمپ های مربوطه را حذف نمود. در این حالت در صورت ضرورت می توان مخزن اواپراتور را از جنس استنلس استیل ساخت .

در مواردی که هدف سرمایش مواد اولیه یا محصولات باشد می توان با قرار دادن مواد در معرض خلا تولید شده در اواپراتور ، بطور مستقیم موارد را سرد نمود. بطور مثال چنانچه لازم باشد به طور مثال یک ماده اولیه مانند شیر یا آب میوه را سرد نمود می توان با ساخت اواپراتور از جنس استنلس استیل ، مواد فوق را مستقیم وارد چیلر نموده و با قرار گرفتن مواد تحت خلاء مواد را سرد نمود. به این ترتیب ضمن افزایش سرعت و راندمان ، تجهیزات واسط مانند مبدل های حرارتی و لوله کشی و پمپ های مربوطه را حذف نمود.

دمای ورودی (TEi)
دمای خروجی (TEe)
دبی سیرکوله (ME)
سایز ورود / خروج
دمای ورودی (TCi)
دمای خروجی (TCe)
دبی سیرکوله (MC)

