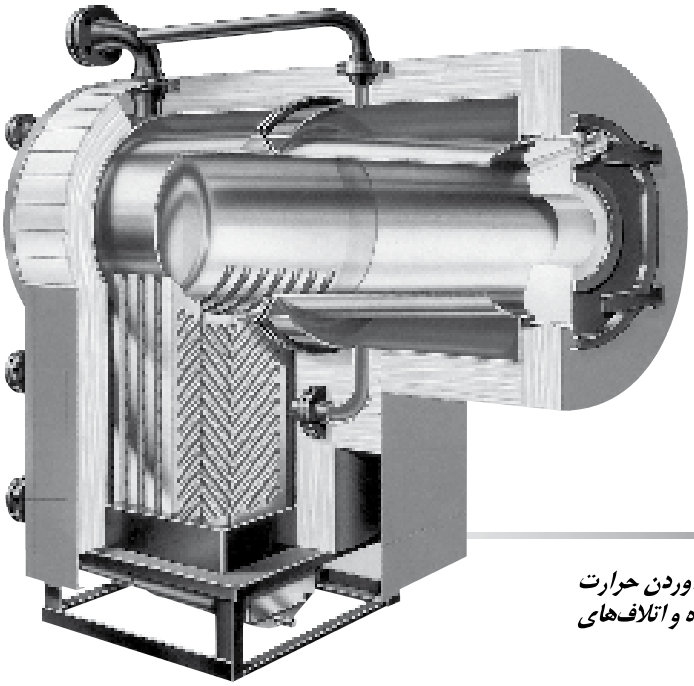


بیشینه کردن بازده سامانه‌ی دیگ چگالشی

Eric Moe
برگردان: مهندس محمدرضا رزاقی اصفهانی
منبع: HPAC Engineering

دیگ‌های چگالشی می‌توانند ابزارهای بسیار پربازدهی برای تولید و به گردش درآوردن حرارت باشند، زیرا آن‌ها گرمای نهان آب تولید شده در زمان احتراق را بازیافت کرده و اتلاف‌های ناشی از روشن و خاموش شدن سیستم را به حداقل می‌رسانند.

شکل (۱) ارتباط بین «دمای برگشت آب گرمایش» (HWRT) و بازده دیگ را نشان می‌دهد. برای بالا رفتن بازده، باید HWRT کاهش یابد. در این مقاله در مورد چگونگی کاهش HWRT با استفاده از «کنترل مستقل از فشار در درجه (گرید) صنعتی» بحث خواهد شد. با بهینه کردن عملکرد انتقال حرارت در کویل‌ها با کمک کنترل مستقل از فشار و تطبیق تولید انرژی حرارتی به بار از طریق طراحی سامانه‌ی هیدرونیک بهتر، می‌توان فضای بیشتری را با انرژی، تجهیزات، پیچیدگی و هزینه‌ی کمتر گرم نمود.

نوسازی

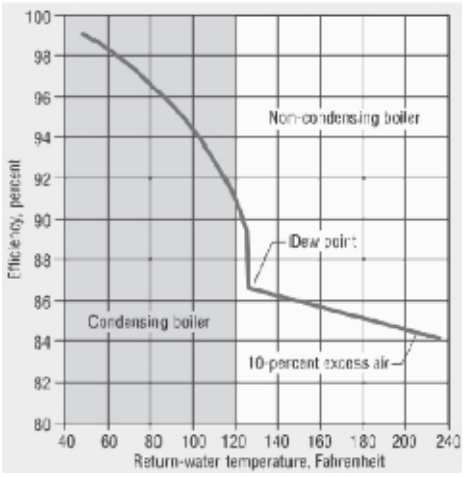
اگر HWRT به اندازه‌ی کافی پایین باشد، هر دیگی می‌تواند چگالش را انجام دهد. اما یک دیگ چگالشی برای مقاومت در برابر اسید موجود در گازهای احتراق، ساخته می‌شود. اگرچه ده‌ها هزار تاسیسات وجود دارد که می‌توانند برای به‌کارگیری دیگ‌های چگالشی انتخاب شوند، اما در عمل تعداد کمی از آن‌ها دارای عملکرد سامانه‌ی توزیع آب گرمایش لازم برای دست‌یابی به بازده بالا می‌باشند. شکل (۲) عملکرد سامانه‌ی دیگ چگالشی- در محدوده‌ی وسیعی از «دمای هوای بیرون» (OAT) و شرایط بار- در یک تاسیسات آزمایشگاهی در «سنت‌لویس» آمریکا را نشان می‌دهد. توجه کنید که مدت زمان کارکرد دیگ‌ها با دمای آب برگشتی که برای چگالش کافی است، چقدر کوتاه است. در سامانه‌ی شکل (۲)، «دمای رفت آب گرمایش» (HWST) در یک برنامه‌ی تنظیم مجدد خطی معمولی با OAT قرار دارد. توزیع بر اساس اختلاف دمای (ΔT) ۳۰ درجه‌ی فارنهایت با کویل‌های دوتکه‌ی ۱۸۰/۱۵۰ طراحی شده است، ولی در بهترین شرایط تنها به اختلاف دمای ۲۰ درجه‌ی فارنهایت دست می‌یابد. سرعت پمپ تنها از ۵۰ تا ۵۴ Hz تغییر می‌کند. یعنی جریان آب گرم در محدوده‌ی شرایط باری، به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای تغییر نمی‌کند. به دلیل پایین بودن ΔT (و تقریبا ثابت بودن جریان)، راه‌انداز سرعت متغیر پمپ کار کمی برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی انجام می‌دهد. این که HWRT در این تاسیسات تا این اندازه بالا است و دیگ به ندرت به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای چگالش می‌کند، تابعی از عملکرد شیر کنترل معمولی است. خوشبختانه، کویل‌های معمولی دارای قابلیت انتقال‌حرارت بسیار بیشتری هستند. با کنترل بهتر جریان، عملکرد ΔT را می‌توان به‌طور چشمگیری بهبود بخشید. HWRT پایین امکان می‌دهد دیگ‌ها در اکثر ساعات کاری چگالش نمایند. جدول‌های (۱ و ۲) عملکرد مورد انتظار از یک کویل گرمایش هواساز را نشان می‌دهند. این کویل برای دمای آب ورودی (EWT): ۱۸۰ درجه‌ی فارنهایت، دمای آب خروجی (LWT): ۱۶۰ درجه‌ی فارنهایت، دمای هوای ورودی (EAT): ۵۵ درجه‌ی فارنهایت، دمای هوای خروجی (LAT): ۹۲/۲۸ درجه‌ی فارنهایت و جریان هوای cfm ۲۰۰۰۰ طراحی شده است. در جدول (۱) فرض شده است این سامانه با دمای آب رفت یکنواخت ۱۸۰ درجه‌ی فارنهایت و بدون تنظیم مجدد کار می‌کند. در جدول (۲) یک برنامه‌ی تنظیم مجدد خطی بین ۱۸۰ و ۱۴۰ درجه‌ی فارنهایت فرض شده است. هر دو جدول LAT را به صورت ملایمی با کاهش بار، کم می‌کنند. مانند دیگر سامانه‌های تهویه مطبوع، بیشتر ساعات کاری در بار جزیی می‌باشد. از این سامانه انتظار می‌رود در هر زمانی که بار کمتر از ۵۰ درصد باشد، چگالش روی دهد. تعداد زیادی دیگ‌های چگالشی در بازار وجود دارد. بعضی از آن‌ها در شعله‌ی کامل ممکن است به یک ΔT حداکثر محدود شوند، در

حالی که سایر انواع ممکن است به جریان ثابت و آرایش لوله‌کشی اولیه/ثانویه (P/S) نیاز داشــته باشند. علاوه براین، ممکن است به حداکثر دمای آب تغذیه یا حداقل جریان نیاز باشــد. هر یک از این موارد که باشــد، بدانید هنگامی که کنترل جریان کویل بهینه می‌شود، ΔT بار جزیی به طور چشمگیری تا بالاتر از مقــدار طراحی افزایش یافته و HWRT تنزل می‌یابد، در نتیجه ســاعاتی که دیگ در حال بهره‌برداری دچار چگالش می‌شــود، به طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش خواهد یافت.

ساختمان‌های جدید

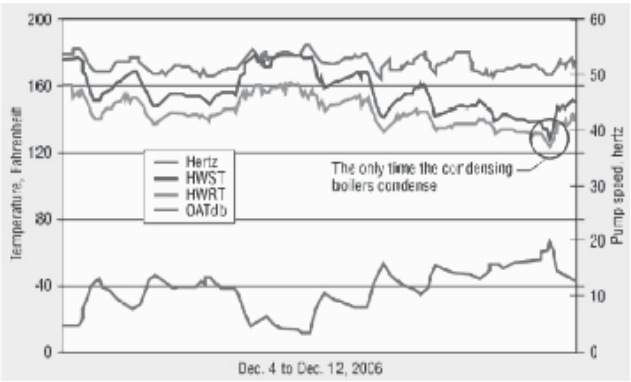
در ساختمان‌های جدید، گام‌های زیادی می‌توان برای کاهش هزینه‌های اولیه و هزینه‌های بهره‌برداری و ارایه‌ی عملکرد زیست‌محیطی بهینه برداشت. در هــر دو پیکربندی P/S و جریان‌اولیه‌ی متغیر (VPF)، یک ΔT حداقل ۶۰ درجه‌ی فارنهایت برای طراحی کویل و لوله‌کشی می‌تواند به‌طور چشمگیری اندازه‌ی پمپ و لوله‌ها را کاهش دهد. با به‌کارگیری کنترل مســتقل از فشار، HWRT پایین‌تــر دیگ را قادر می‌ســازد در بازده بســیار بالایی و کاملا در حالت چگالشی کار کند. جدول‌های (۳ و ۴) عملکرد مورد انتظار از یک کویل گرمایش با ΔT بالا را نشان می‌دهند. این کویل برای یک EWT: ۲۰۰ درجه‌ی فارنهایت، یک LWT: ۱۴۰ درجه‌ی فارنهایت، EAT: ۵۵ درجه‌ی فارنهایت و LAT: ۶۰/۹۰ درجه‌ی فارنهایت و جریان ۲۰۹۴۵ cfm طراحی شده و اندازه‌ی آن برای برآورده کردن باری مشــابه کویل جدول‌های (۱ و ۲) در نظر گرفته شده است. در جدول (۳) فرض شده است سامانه با دمای آب رفت ثابت ۲۰۰ درجــه‌ی فارنهایت و بدون تنظیم مجدد کار می‌کند. جدول (۴) یک برنامه‌ی تنظیم مجدد خطی بین ۲۰۰ و ۱۴۰ درجه‌ی فارنهایت را فرض می‌کند. هر دو ایــن جدول‌هــا LAT را با کاهش بار به صورت ملایمی کم می‌کنند. اگر این سامانه با پیکربندی VPF لوله‌کشی شود، به‌طور قطع در بیشتر مواقع در حالت چگالشی کار خواهد کرد. شکل (۳) یک سامانه‌ی دیگ چگالشی معمولی را در

شکل (۱): بازده دیگ چگالشی معمولی

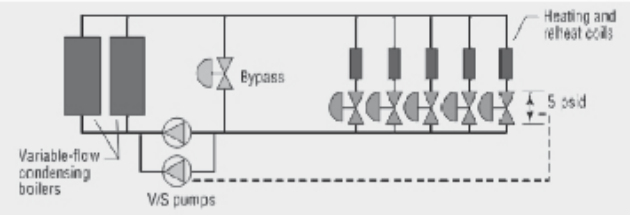


یک پیکربندی VPF مستقل از فشار نشان می‌دهد، طراحی سامانه‌ای که باید با دیگ‌های چگالشی کار کند که بتوانند جریان متغیر و چگالش را در سطح انتقال حرارت اولیه اداره کنند. شیر کنترل‌های مستقل از فشار در هر کویل گرمایش به جای شیرهای تعادل و دوطرفه‌ی معمولی نصب شده است. اگر یک جریان حداقــل برای جلوگیــری از لغزش (trip) در محدوده‌ی دمــای بالا مورد نیاز باشد، از شیرهای کنارگذر (بای‌پاس) برای افزایش جریان درون دیگ‌ها استفاده می‌شــود. برای حفظ حداقل ۵ psid لازم برای کنترل مستقل از فشار و ΔT بالا، سرعت پمپ در دورترین نقاط از نظر هیدرولیکی کنترل می‌شود. این کار تعداد پمپ‌های نصب شده را کاهش داده و مخلوط شدن آب رفت و برگشت را به حداقل می‌رساند. در دیگ‌های چگالشی که با یک مبدل‌حرارتی ثانویه برای چگالش گازهای دودکش ســاخته شده‌اند (شکل‌های ۴ و ۵) باید از لوله‌کشی P/S اســتفاده شود. اگر جریان درون کنارگذر در هر جهتی قابل‌ملاحظه باشد، بازده دیگ کاهش می‌یابد. میان‌بر زدن آب رفت به برگشت، HWRT دیگ را بالا می‌برد. به همین ترتیب مخلوط شدن آب برگشت با رفت موجب کاهش ظرفیت کویل شده و HWRT را افزایش می‌دهد. در پیکربندی‌های P/S نیز شیرهای مستقل از فشار به جای شیرهای تعادل و دوراهه‌ی معمولی در کویل نصب می‌شوند. همچنین، برای حفظ حداقل ۵ psid لازم برای کنترل مستقل از فشار و ΔT بالا، سرعت پمپ‌های ثانویه در دورترین نقاط از نظر هیدرولیکی

شکل (۲): عملکرد سامانه‌ی دیگ چگالشی در تاسیسات آزمایشگاهی سنت‌لویس



شکل (۳): پیکربندی VPF مستقل از فشار



جدول (۱): کویل دوتکه‌ی ۱۸۰/۱۶۰، HWST ثابت

Load, percent	18.4	40.2	65.4	100
Load, MBH	148.5	324.0	526.5	805.3
HWST, °F	180	180	180	180
EAT, °F	55	55	55	55
LAT, °F	82.50	85.00	87.50	92.28
Airflow, cfm	5,000	10,000	15,000	20,000
HWRT, °F	84.60	107.19	129.57	160.00
ΔT, °F	95.40	72.81	50.43	20.00
Water flow, gpm	2.96	8.53	20.00	80.53

جدول (۲): کویل دوتکه‌ی ۱۸۰/۱۶۰، تنظیم‌مجدد HWST با بار بین ۱۴۰ و ۱۸۰ درجه‌ی فارنهایت

Load, percent	18.4	40.2	65.4	100
Load, MBH	148.5	324.0	526.5	805.3
HWST, °F	147.4	156.1	166.2	180.0
EAT, °F	55	55	55	55
LAT, °F	82.50	85.00	87.50	92.28
Airflow, cfm	5,000	10,000	15,000	20,000
HWRT, °F	92.22	113.88	133.74	160.00
ΔT, °F	55.18	42.22	32.46	20.00
Water flow, gpm	5.29	14.92	31.35	80.53

جدول (۳): دوتکه‌ی ۲۰۰/۱۴۰، HWST ثابت

Load, percent	18.4	40.2	65.4	100
Load, MBH	148.5	324.0	526.5	805.3
HWST, °F	200	200	200	200
EAT, °F	55	55	55	55
LAT, °F	82.50	85.00	87.50	90.60
Airflow, cfm	5,000	10,000	15,000	20,945
HWRT, °F	73.15	92.78	114.46	140.00
ΔT, °F	126.85	107.22	85.54	60.00
Water flow, gpm	2.21	5.70	11.61	26.84

جدول (٤): دوتکه‌ی ۲۰۰/۱۴۰، تنظیم‌مجدد HWST با بار بین ۱۴۰ و ۲۰۰ درجه‌ی فارنهایت

Load, percent	18.4	40.2	65.4	100
Load, MBH	148.5	324.0	526.5	805.3
HWST, °F	147.4	156.1	166.2	200.0
EAT, °F	55	55	55	55
LAT, °F	82.50	85.00	87.50	90.60
Airflow, cfm	5,000	10,000	15,000	20,945
HWRT, °F	84.86	104.60	122.84	140.00
ΔT, °F	66.14	59.60	55.86	60.00
Water flow, gpm	4.38	10.54	18.07	26.84

کنترل می‌شود. در این پیکربندی، آب گرم برگشت مخلوط شده، بازده دیگ را کنترل می‌کند. باید دقت شود از تاسیسات به گونه‌ای بهره‌برداری شود که جریان کنارگذر به حداقل برسد. به حداکثر رساندن بار، قسمت عمده‌ی آب گرمایش تولید شده را به درون کویل‌ها می‌فرستد.

شیرکنترل‌های مستقل از فشار در رده‌ی صنعتی

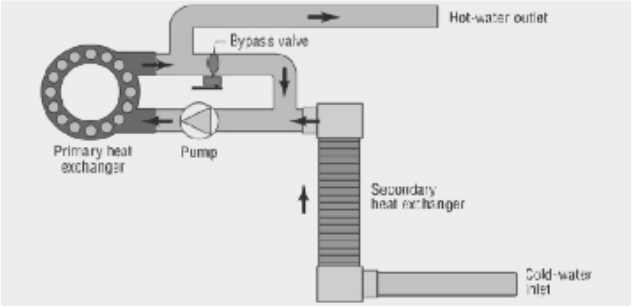
یک شیر کنترل مستقل از فشار (شکل ۶) اساسا با یک ترکیب «شیر کنترل دوطرفه/ محدودکننده‌ی جریان» متفاوت است. این شیر کنترل همراه با یک کارانداز، در کویل‌های واحد پایانه‌ای و هواساز به‌کار می‌رود و درست مانند یک شیر کنترل معمولی برای کنترل جریان آب لازم برای برآورده کردن نقطه‌ی تنظیم دمای فضا یا هوای رفت مورد استفاده قرار می‌گیرد. تفاوت دو نوع شیر در این است که جریان درون کویلی که دارای شیرکنترل مستقل از فشار می‌باشد با تغییرات فشار سامانه تغییر نمی‌کند. علت این است که اختلاف‌فشار در سرتاسر سطح کنترل (P۱ تا P۲ در شکل ۶) بدون تاثیر از فشار در کل شیر کم و ثابت باقی می‌ماند (۲ تا ۳ psid). نرخ جریان تنها زمانی تغییر می‌کند که ساقه‌ی شیر دوران نماید. این شیر در گرادیان هیدرولیک با نرخ جریان طراحی کویل به تنهایی، به طور مناسبی تعیین اندازه می‌شود. گستره‌پذیری بالا با تعیین اندازه‌ی بهتر، این شیر را قادر می‌سازد در جریان‌ها و بارهای کم به خوبی تعدیل شود. شیرکنترل‌های مستقل از فشار، بهینه شدن عملکرد کویل، ΔT بالا و چگالش را برای مدت زمان بسیار طولانی‌تر از شیرهای معمولی امکان‌پذیر می‌نمایند. همچنین، این شیرها گرمایش و سرمایش هم‌زمان را کاهش می‌دهند. آن‌ها با مسیرهای جریان، فنرها و پیستون‌های بزرگ بسیار پایدار بوده و در برابر آشغال‌ها مقاوم می‌باشند و در همان حال کیفیت صنعتی مواد، آن‌ها را در برابر سیال‌های داغ و مواد شیمیایی تصفیه‌ی آب مقاوم می‌سازد. در صورت افزایش انتقال‌حرارت در کویل، جریان آب کمتری برای برآورده کردن بار مورد نیاز می‌باشد. در نتیجه در یک سامانه‌ی گرمایش با آب، دمای آب برگشت کاهش یافته و چگالش در دیگ اتفاق می‌افتد. طراحی سامانه ساده است. به لوله‌کشی معکوس شده یا شیرهای تعادل نیازی نیست.

تنظیم‌مجدد HWST

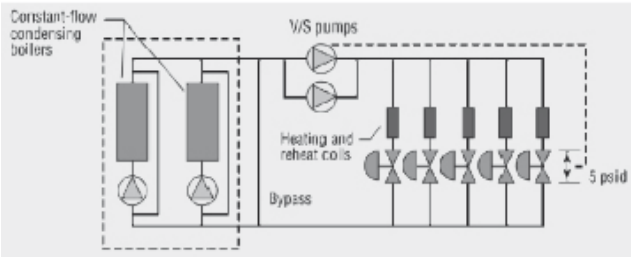
تنظیم‌مجدد HWST می‌تواند اتلاف حرارت سامانه‌ی توزیع و دیگ را کاهش داده و تولرانس کنترل ضعیف را افزایش دهد. برعکس با کنترل بهتر، یکنواختی در آب رفت گرم می‌تواند موجب کاهش مصرف انرژی و کاهش HWRT شده و گرم شدن اولیه صبحگاهی را پربازده‌تر نماید. در زیر گزینه‌های طراحی و مبادلات انرژی بیان می‌شود که ارزش بررسی بیشتری دارند:

- در دمای آب رفت ۱۸۰ درجه‌ی فارنهایت، نشت ۵ درصد می‌تواند عملکرد سامانه را به‌شدت پایین آورد؛ در ۱۲۰ درجه‌ی فارنهایت، این مقدار نشتی تا این اندازه زیان‌بار نیست. شیرکنترل‌های معمولی، معمولا بر اساس آب‌بندی کامل انتخاب می‌شوند. با مرور زمان این شیرها کثیف و فرسوده

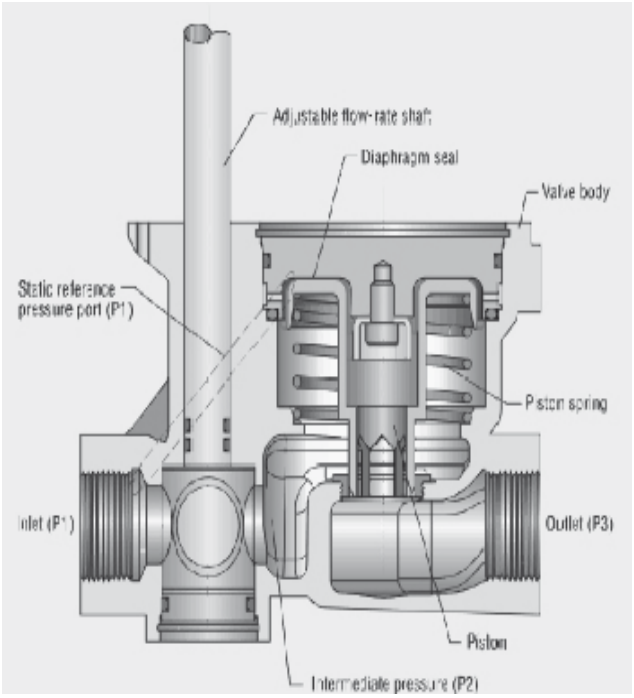
شکل ٤: دیگ چگالشی با مبدل‌حرارتی ثانویه.



شکل ٥: پیکربندی P/S مستقل از فشار.



شکل ٦: شیر کنترل مستقل از فشار در رده‌ی صنعتی.



می‌شـوند. نشـتی‌ها افزایش یافته و موجب سـرمایش و گرمایش هم‌زمان می‌شوند.

● انـدازه‌ی شـیرکنترل‌های معمولی، معمولا بر اسـاس قواعد تجربی تعیین می‌شود (به‌عنوان مثال بر اساس psid ٥، افت فشار مشابه کویل تحت سـرویس، یک اندازه کوچک‌تر از لوله و غیره). این مسـاله منجر به انتخاب شیرهایی می‌گردد که در گرادیان هیدرولیک به درستی تعیین اندازه نشده‌اند. در نتیجـه به خصـوص در جریان‌های کم به خوبی تعدیل نکرده و معمولا با محدودکننده‌های جریان نصب می‌شوند که عملکرد ΔT را ضعیف می‌نماید. برنامه‌های تنظیم‌مجدد HWST موجب پایین کشیدن ΔT و افزایش جریان می‌شوند که عملکرد تجهیزات را کاهش می‌دهد.

● هرچه آب گرم‌تر باشد، اتلاف حرارت از دیگ و لوله‌ها افزایش می‌یابد. آیا کاهش اتلاف حرارت از لوله‌ها و دیگ با افزایش مصرف انرژی در پمپ و فن جبران می‌شـود؟ عایق‌کاری تا چه حد خوب است؟ در حالت گرمایش، آیا گرمای تلف شده می‌تواند وارد فضا شود؟ در حالت سرمایش، آیا نشت شیرهای گرمایش‌مجدد و گرمایش موجب گرمایش و سرمایش هم‌زمان می‌شوند؟

● کاهش HWST موجب کاهش ΔT و افزایش جریان می‌شود. هرچه جریان بیشـتر باشد، مصرف انرژی در پمپ افزایش می‌یابد. کاهش HWST همچنین می‌تواند موجب کاهش LAT شـود. هرچه هوا سردتر باشد، جریان هوا افزایش یافته و مصرف انرژی توسط فن، برای برآوردن دمای فضای مورد نیاز افزایش می‌یابد.

جمع‌بندی

دیگ‌های چگالشـی فرصت‌های زیادی برای صرفه‌جویی در مصرف انـرژی فراهم می‌آورند، ولی عملکرد سـامانه‌ی توزیـع رایج (و HWRT بالا) می‌توانند نتیجه‌ی نهایی را معکوس کنند. با استفاده از فن‌آوری نوین و سـامانه‌هایی که تولید، توزیع و اسـتفاده از آب گرمایش را بهینه‌سـازی می‌نمایند، سامانه‌های دیگ چگالشی را می‌توان به گونه‌ای طراحی نمود که از تمام امکانات آن‌ها بهره برد. پروژه‌های سـامانه‌ی توزیع موفق متعددی وجود دارد که از کنترل مسـتقل از فشار در رده‌ی صنعتی استفاده می‌کنند، این سامانه‌ها بیشتر در سـامانه‌های تهویه مطبوع صنعتی و تجاری بزرگ یافت می‌شـوند. همه‌ی آن‌ها برای بیشینه کردن عملکرد کویل گرمایش و یا سـرمایش طراحی شده‌اند. شناخت دیگ‌های چگالشی و کنترل مستقل از فشـار اگر به‌طور مناسـبی به‌کار گرفته شده باشـند برای اپراتورها ساده اسـت. اجزا را می‌توان به گونـه‌ای انتخاب کرد که در سرتاسـر عمر یک تاسیسات و حتا در صورت توسعه‌ی آن با عملکرد بالایی کار کنند. اختلاف دمای بالا موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی شده و فرصت‌هایی را برای صرفه‌جویی بیشتر و افزایش عملکرد خلق می‌کنند. چه برای یک تاسیسات جدید یا چه در یک تاسیسـات قدیمی، سامانه‌های دیگ چگالشی با کنترل مستقل از فشار می‌تواند عملکرد بالایی به‌دست آورد.