Archive of SID

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Mobadel.ir

بهینه سازی سوخت و آنالیز اگزرژی چیلر جذبی دو اثره با پیش گرم کردن مبرد توسط نیروگاه سیکل ترکیبی

غلام رضا علی اقدم: کارشناس ارشد مکانیک، دانشگاه آزاداسلامی واحد الکترونیکی، تهران aghdam_dsr@yahoo.com
سید علی صدر واقفی: استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد الکترونیکی، تهران sadrvaghefi@yahoo.com

چکیده

در این مطالعه به بهینه‌سازی مصرف سوخت و تحلیل اگزرژی یک چیلر جذبی دو اثره لیتیوم برماید/آب، اهمیت، ضرورت و جنبه های نوآوری آن که توسط گازهای داغ خروجی از نیروگاه سیکل ترکیبی پیش گرم می‌شود پرداخته شده است. در ادامه، ضمن مروری بر تحقیقات انجام شده پیشین انواع نیروگاه‌ها، سیستم سرمایش و گرمایش آنها، منابع اتلاف حرارت و بازیافت آنها معرفی شده اند. در ادامه به معرفی اجزاء چیلرهای جذبی، ضریب عملکرد آنها، تاثیرات تبدیل چیلر جذبی تک اثره به دو اثره، بررسی راندمان چیلر جذبی و همچنین معایب و مزایای آن پرداخته شده است. به منظور مدل‌سازی ترمودینامیکی و اگزرژی چیلر جذبی دو اثره از نرم‌افزار حل معادلات مهندسی استفاده شده است. به کمک آلگوریتم ژنتیک و قابلیت بهینه‌سازی نرم‌افزار سیستم از لحاظ ترمودینامیکی و اگزرژی بهینه شده است. در این تحقیق توابع هدف مورد نظر به ترتیب ضریب عملکرد سیکل و بازده قانون دوم ترمودینامیک می‌باشد. در پایان نیز ضمن انجام آنالیز حساسیت و بررسی اثر پارامترهای عملکردی سیستم بر روی کارآیی ترمودینامیکی و اگزرژی، نتایج حاصل از مدل‌سازی مورد تحلیل قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: چیلر جذبی دو اثره، لیتیوم برماید آب، آنالیز اگزرژی

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Mobadel.ir

OPTIMIZATION FUEL & EXERGY ANALYSIS FOR TWO-EFFECT ABSORBING CHILLER WITH HEAT BY POWERPLANT

Abstract

In the present study optimization of fuel consumption and exergy analysis for a double effect li-br/H2o absorption chillers preheated by hot exhaust gas from combined cycle power plant, it's purpose, importance, necessity and innovation aspects , is examined. In the following, in addition to reviewing the former studies, types of power plant , their heating and cooling system, heat loss sources and their recovery is investigated. Also the components of an absorption chiller and it's coefficient of performance is introduced and the effect of single effect absorption chiller conversion to a double effect one on the efficiency, advantages and disadvantages is examined. In the present work, the EES software is used for thermodynamic and exergy modeling of a double effect li-br/H2o absorption chiller. Also for thermodynamic and exergy optimization, the genetic algorithm (A.G.) is applied. Coefficient of performance of the cycle and efficiency of the second law of thermodynamics, are our objective functions, respectively. At the end, in addition to performing the sensitivity analysis and investigation of the effect of pertinent parameters on the system performance, the numerical result obtained from modeling is analyzed thoroughly.

[1]Gholam Reza Ali Aghdam, [2]Seyed Ali Sadr Vaghefi
[1] MSc.of Mech. Eng., Islamic Azad University Branch of Electronic.Tehran.Iran aghdam_dsr@yahoo.com
[2]Assoc. Prof, of Mech. Eng., Islamic Azad University Branch of Electronic.Tehran.Iran
sadrvaghefi@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Mobadel.ir

مقدمه

با افزایش استانداردهای زندگی، استفاده از انرژی به میزان بی سابقه ای افزایش یافته است. از این رو، به جای گسترش منابع انرژی با قابلیت استفاده مجدد، بازیافت حرارت اتلافی و ترکیب سیستم های انرژی، راه حلی برای بهره برداری بهینه از منابع محدود انرژی موجود خواهد بود. در سالهای اخیر نوعی آگاهی و توجه به افزایش بی رویه مصرف انرژی و نیز واقعیت فناپذیر بودن سوخت های فسیلی سبب شده است که مطالعات همه جانبه ای در سطح جهانی با هدف کاهش میزان مصرف انرژی و نیز کاهش هزینه های تولید انرژی، بدون ایجاد لطمه به روند توسعه کشورها، انجام پذیرد. مصرف انرژی های فسیلی رو به کاهش و در نهایت اتمام منابع و ذخایر آنها را در پیش رو داریم. همچنین مصرف انرژی، به خصوص سوخت های فسیلی مهمترین عامل آلودگی هوا و تغیرات آب و هوایی می باشند. به همین دلیل استفاده بهینه از انرژی در فرآیند توسعه اقتصادی همواره عنوان یک هدف مهم در توسعه پایدار مدنظر بوده است. یکی از راهکارهایی که امروزه سیاست گذاران انرژی در دنیا از آن به عنوان ابزاری موثر و کارآمد در مدیریت انرژی بهره می برند، تولید انرژی بر مبنای روش تولید همزمان برق، حرارت و برودت یا به اختصار تولید همزمان است. تولید همزمان که نوعی خاص از روش تولید پراکنده است، عبارتست از تولید توام دو یا چند شکل از انرژی (مانند انرژی الکتریکی، حرارتی و برودتی) از یک منبع ساده اولیه (مانند انرژی شیمیایی سوخت های مختلف. از آنجایی که در الگوی تولید همزمان، انرژی های اولیه مصرفی یعنی برق، حرارت و برودت از طریق یک سیستم با سوخت ورودی معین تامین می گردند، در نتیجه هزینه های تامین انرژی به طرز قابل ملاحظه ای کاهش می یابد [۳] .

اهداف تحقیق

با افزایش دمای کره زمین و جدی شدن بحث گازهای گلخانه ای، هزینه بیشتری را بر صاحبان صنایع و بر اقتصاد کشورهای پر مصرف تحمیل خواهد نمود. سیستم های سرمایش و گرمایش جذبی به صورت روز افزون مورد توجه قرار می گیرند. قابلیت استفاده این سیستم ها از بازمانده ها و منابع هدر رفته حرارتی ناشی از تولیدات دیگر و موافقت با پروتوکل های بین المللی و مضرر نبودن مبردهای به کار رفته برای لایه اوزون و محیط زیست بوده و بسیار مقرون به صرفه و اقتصادی است در صنایع مختلف متاسفانه درصد بالایی از گرمای گازهای حاصل از احتراق بدون استفاده بهینه به محیط (جو) برمی گردند. این گازهای حامل انرژی حرارتی را می توان به روش های مختلفی بکار گرفت که از جمله پیش گرمایش مبرد (سیال عامل) در یک سیستم تبرید جذبی می باشد. به طوری که اگر مبرد مورد نظر (ترجیحا لیتیوم برماید/آب) با دما و فشار بالایی وارد ژنراتور گرمایی اصلی (فشار بالا) که مصرف کننده سوخت فسیلی می باشد، گردد، می توان با حداقل مصرف سوخت و کاهش آلایندگی، به هدف نهایی یعنی ضریب عملکرد بالاتر و یا راندمان بالاتر دست یافت. تاثیرات تبدیل چیلر جذبی از حالت تک اثره به دو اثره جهت افزایش راندمان را بررسی کرده و نقاط قوت و ضعف این تبدیل بیان خواهد شد. توسط قوانین ترمودینامیک خصوصیات ترمودینامیکی سیال در نقاط مختلف سیکل های یک اثره و دواثره جذبی بیان خواهد شد. کمیت های مهمی نظیر عملکرد سیکل جذبی محاسبه خواهد شد و با بهره گیری از قانون دوم ترمودینامیک و محاسبه جریان اگزرژی در هر یک از نقاط سیکل و سپس تعریف اگزرژی سوخت اتلافی برای هر یک از اجزای سیکل پرداخته و در نهایت اگزرژی تخریبی برای هر یک از اجزای سیکل دو اثره محاسبه خواهد شد.

گروه چیلرهای جذبی دو اثره

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۸۸۶۷۱۶۷۶ (۰۲۱) - ۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Mobadel.ir

گروه دو اثره به دو دسته دو اثره با تغذیه بخار ودو اثره با شعله مستقیم طبقه‌بندی می‌شوند. این چیلرها، جزء نسل جدید بوده و دارای سیکل تبرید کاملتری نسبت به چیلرهای جذبی تک اثره‌است. چیلرهای جذبی دو اثره دارای دو ژنراتور (دما بالا و دما پایین) و دو مبدل حرارتی (دما بالا و دما پایین) و کندانسور (دما بالا و دما پایین) شیرهای انبساط و دو پمپ هستند و عملیات تغلیظ در آنها طی دو مرحله انجام می شود. در این نوع از چیلرها از گرمای نهان تقطیر نیز به عنوان منبع انرژی گرمایی جهت تغلیظ محلول رقیق استفاده می گردد. با بکارگیری این روش نرخ تبخیر افزایش یافته و بازده سیستم و ضریب کارایی آن نسبت به چیلرهای یک اثره افزایش قابل توجه ای پیدا می کند [۱] .

مفهوم اگزرژی

کیفیت انرژی در واقع همان ظرفیت آن برای ایجاد تغییرات و توانایی انجام کار است. علاوه بر شکل یا نوع انرژی (شیمیایی ، حرارتی و ...) به شرایط ترمودینامیکی (دما ، فشار ، حجم و ...) و شرایط محیط بستگی دارد. برای مقایسه کیفیت سیستم های انرژی و ارایه یک مقدار عددی برای اندازه گیری کیفیت، یک استاندارد جهانی به منظور تعریف مفهوم کیفیت انرژی مورد نیاز است. یک معیار بسیار مناسب و همگانی می تواند میزان ماکزیمم کاری باشد، که از یک سیستم حاوی انرژی با در نظر گرفتن یک شرایط محیطی مشخص قابل تولید است. این معیار استاندارد اندازه گیری کیفیت انرژی، اگزرژی نامیده شده است. [۲] .

اگزرژی کلی: $\psi = h - h0 - T0(S - S0)$ رابطه (۱)

بازده قانون دوم: $\eta = wa / \psi i - \psi e$ رابطه (۲)

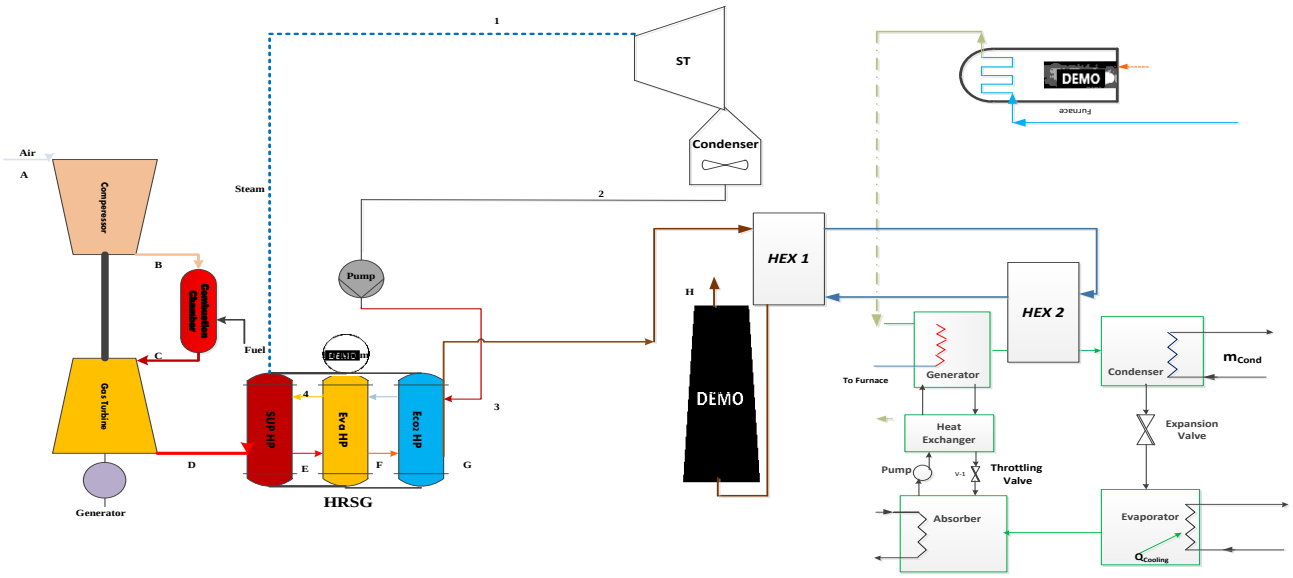
نحوه مدل سازی و پارامترهای سیکل ترکیبی به همراه چیلر جذبی

در مدل‌سازی صورت گرفته شده هوا به عنوان سیال عامل با درصد ترکیبات نیتروژن، اکسیژن، آب و دی‌اکسید کربن وارد کمپرسور شده، در این جزء هوا با طی فرآیند آدیاباتیک و پلی‌تروپیک دما و فشار آن افزایش می‌یابد و کمپرسور با انجام کار هوا را فشرده می‌سازد. پس از طی این فرآیند هوا وارد اتاق احتراق شده و پس از تزریق سوخت دمای آن افزایش می‌یابد و دبی جرمی نیز افزایش می‌یابد. در این فرآیند دمای محصولات احتراق تا ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. انرژی موجود در محصولات احتراق وارد توربین گاز (SGT100) می‌شود این جزء انرژی موجود در محصولات احتراق را به شفت منتقل می‌نماید. دود خروجی وارد بویلر بازیاب حرارتی تک فشاره می‌شود. بویلر بازیاب حرارتی به تولید بخار می‌پردازد. و شامل سه مبدل حرارتی اصلی است. مبدل حرارتی اکونومایزر در ابتدا آب را پیش‌گرمایش می‌کند و آب گرم وارد اواپراتور خواهد شد. سپس بخار اشباع تولید خواهد شد. مبدل سوم به سوپرهیت کردن بخار می‌پردازد. بخار سوپرهیت وارد توربین بخار شده و به تولید توان می‌پردازد. با توجه به نوع مگاوات توربین‌ها، کندانسورها متفاوت می‌باشد. در این نوع سیکل ترکیبی به واسطه پایین بودن مگاوات از کندانسور هوایی استفاده شده است. در این کندانسور بخار وارد داکت‌هایی می‌شود که در سمت خارجی لوله‌ها فین وجود دارد تا سطح انتقال حرارت افزایش یابد. در نتیجه با کندانس شدن بخار و وارد شدن به پمپ سیکل سمت بخار بسته می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Mobadel.ir



(شکل ۱) شماتیکی از سیکل مدل سازی شده به همراه چیلر جذبی

در سمت گازهای داغ نیز در هر مبدل با دادن حرارت به بخار و آب از دمای آن کاسته شده و در سیکل‌های ترکیبی با دمای ۱۴۰ الی ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد از دودکش خارج می‌شود در این کار با توجه به سیکل ترکیبی مورد نظر در ادامه مبدلی برای جذب انرژی و انتقال آن به ژنراتور یک چیلر جذبی مد نظر می‌باشد. شایان ذکر است که دود خروجی از توربین گاز و یا همان دود خروجی از دودکش سیکل‌های ترکیبی محدودیت کاهش دما دارند. این محدودیت نیز به واسطه نقطه اسیده شدن است که معمولا نباید از ۱۱۰ درجه کمتر باشد به وجود می‌آید. در نتیجه تنها ۲۰ الی ۱۰ درجه می‌توان از حجم بالای دود خروجی دودکش انرژی مصرف نمود. همچنین با توجه به ساخت چیلر به صورت یک پکیج و عدم تغییر در ساختار آن در این حالت فرض شده است تا یک مبدل حرارت آب گرم مورد نیاز برای چیلر طراحی گردد و همچنین محدودیت دمایی برای کریستاله شدن لیتیوم بروماید وجود دارد که در ادامه این مشکل نیز به عنوان قیود طراحی در نظر گرفته شده است.

(جدول ۱) پارامترهای ورودی برای شبیه‌سازی سیکل ترکیبی

پارامتر	واحد	ارزش
نسبت فشار کمپرسور	-	۱۴
راندمان کمپرسور	٪	۸۵
راندمان احتراق	٪	۹۵
افت فشار در اتاق احتراق	٪	۲
دمای گازهای ورودی به توربین گاز	°C	۱۱۰۰
راندمان توربین گاز	٪	۸۶
فشار بخار اصلی	bar	۸/۵
دمای بخار اصلی	°C	۲۱۷
فشار کندانسور	bar	۰/۰۶۸

www.SID.ir

Archive of SID

فرضیاتی که در این قسمت از مدل سازی مدنظر واقع شده است به صورت ذیل است:

الف - سیستم به حالت پایا مدل می شود.

ب- از افت فشار داخل لوله ها صرف نظر می کنیم.

ج - از اتلاف انرژی در مبدل های حرارتی ، جاذب و ... صرف نظر می کنیم.

د - جریان عبوری در شیر اختناق به صورت آنتالپی ثابت شده است.

ر- محلول های خروجی از ژنراتور و جذب کننده به صورت اشباع در نظر گرفته می شود.

سیکل چیلر جذبی دو اثره لیتیوم برماید

در مدل سازی سیکل تبرید دو اثره داده های ورودی مطابق با (جدول ۲) بیان می شوند [۹] .

(جدول ۲) داده های ورودی برای مدل سازی سیکل ترکیبی دو اثره

پارامتر	ارزش
راندمان مبدل (%)	۵۰
فشار بالا (kPa)	۶۴/۲۹
فشار پایین (kPa)	۰/۸۸۱
فشار متوسط (kPa)	۴/۱۷

آنالیز انرژی و اگزرژی سیکل ترکیبی

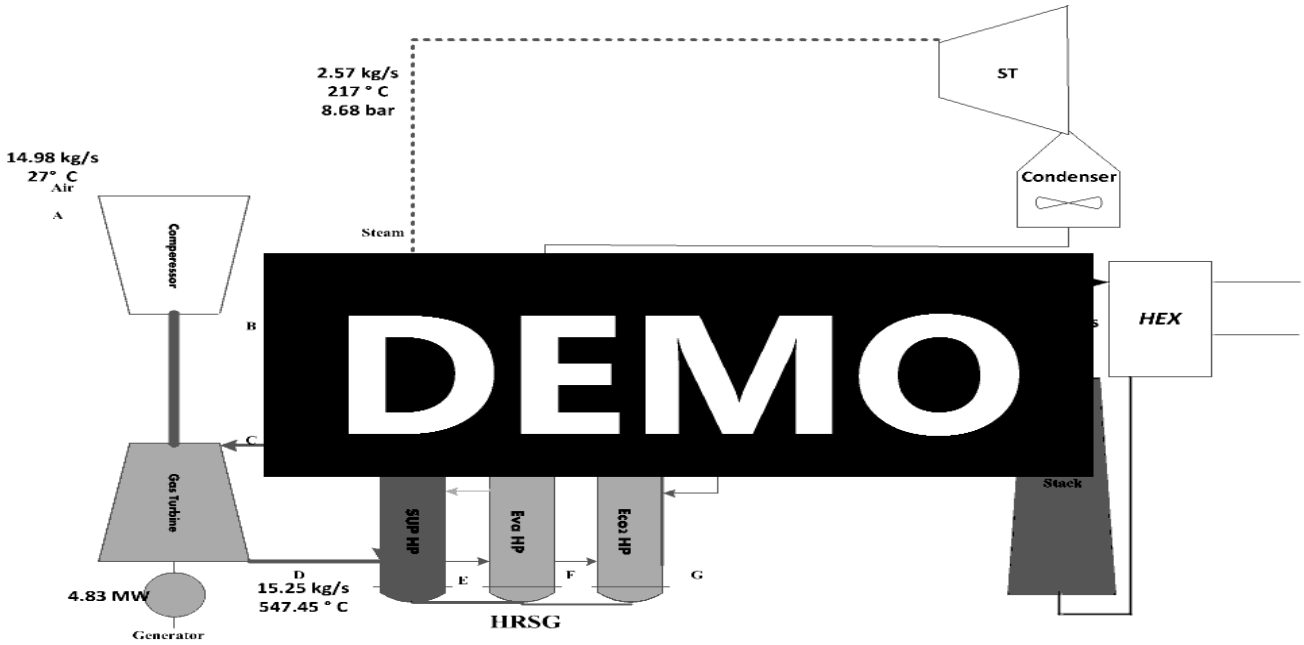
همانطور که در (شکل ۲) نشان داده شده است. دبی هوا با تأثیر پذیری از شرایط محیطی و خارج شدن از شرایط ایزو کاهش یافته است و این امر بر روی سیکل قدرت به شدت تأثیر پذیرفته است. دبی هوای ۱۴/۹۸ کیلوگرم بر ثانیه (در شرایط ایزو ۱۹/۴۴) وارد کمپرسور می‌شود و اتاق احتراق با دبی ۰/۲۷ کیلوگرم بر ثانیه تزریق گاز طبیعی به داخل اتاق احتراق منجر به افزایش دما می‌شود مجموع این دو دبی یعنی ۱۵/۲۵ کیلوگرم بر ثانیه وارد بویلر بازیاب حرارتی می‌شود. دبی بخار ۲/۲۵ کیلوگرم بر ثانیه در بویلر بازیاب حرارتی تولید می‌شود که تولید این میزان بخار تقریبا ۳ مگاوات در سیکل بخار در بالادست توربین گاز تولید می‌نماید و تولید خالص این سیکل ترکیبی در مجموع برابر ۷/۵ مگاوات می‌باشد. در شرایط سایت دمای خروجی از مبدل اکنومایزر همانطور که در شکل نشان داده شده است با دبی ثابت گازهای ورودی به بویلر بازیافت حرارت، ۱۱۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. با توجه به محدودیت در دمای خروجی از دودکش نیروگاه (یعنی دمای ۱۱۰ درجه سانتی گراد) باید محاسبه نمود که چه میزان دبی آب با دمای ۸۰ درجه سانتی گراد می‌توان تولید نمود. که در ادامه در بخش محاسبات مربوط به چیلر جذبی محاسبات مربوط به آن صورت می‌گیرد.

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Mobadel.ir

DEMO
DEMO



(شکل۲) شماتیکی از محاسبات انرژی در سیکل ترکیبی

آنالیز اگزرژی سیکل ترکیبی در حالت استفاده از مبدل حرارتی برای چیلر جذبی به صورت (جدول ۳) نشان داده شده مشاهده می‌شود که درصد هوا با توجه به فرایند احتراق تغییر یافته است و به درصد CO2 افزوده شده است. همچنین مشاهده می‌شود در جریان بخار با افزایش دما و فشار به اگزرژی جریان افزوده شده است و این جریان منجر به افزایش قابلیت کاردهی سیستم شده است. در این سیکل مشاهده می‌شود که بیشترین تخریب اگزرژی در اتاق احتراق برابر ۵ مگاوات به وقوع پیوسته است.

(جدول ۳) نتایج حاصل از آنالیز انرژی و اگزرژی سیکل ترکیبی

Point	X_{N2}	X_{O2}	X_{CO2}	X_{H2O}	m(kg/s)	T (**°C**)	P (bar)	Ex (Mw)
A	0.7529	0.2001	0.0003	0.0467	14.98	27	0.985	0.0030
B	0.7529	0.2001	0.0003	0.0467	14.98	408.98	13.79	5.5509
C	0.7292	0.1278	0.0341	0.1090	15.25	1100	13.3763	14.881
D	0.7292	0.1278	0.0341	0.1090	15.25	547.45	1.05	3.338
E	0.7292	0.1278	0.0341	0.1090	15.25	530.75	0.995	3.1445
F	0.7292	0.1278	0.0341	0.1090	15.25	194.60	0.99	1.6267
G	0.7292	0.1278	0.0341	0.1090	15.25	118.15	0.985	0.4291
H	0.7292	0.1278	0.0341	0.1090	15.25	110	0.985	0.4021
1	-	-	-	-	2.572	217.8	8.68	836.5
2	-	-		-	2.572	38.46	0.068	1.094
3	-	-	-	-	2.572	38.7	8.68	2.75
4	-	-		-	2.572	173.82	8.68	120.8

آنالیز انرژی و اگزرژی سیکل تبرید

حالت بدون استفاده از گازهای خروجی از سیکل ترکیبی برای سیکل تک اثره

در این مدل‌سازی آنالیز انرژی اجزاء سیکل به شرح (جدول ۴) می‌باشد. مقدار COP در محاسبات برابر ۰/۷۲ محاسبه شد.

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Mobadel.ir

DEMO
DEMO

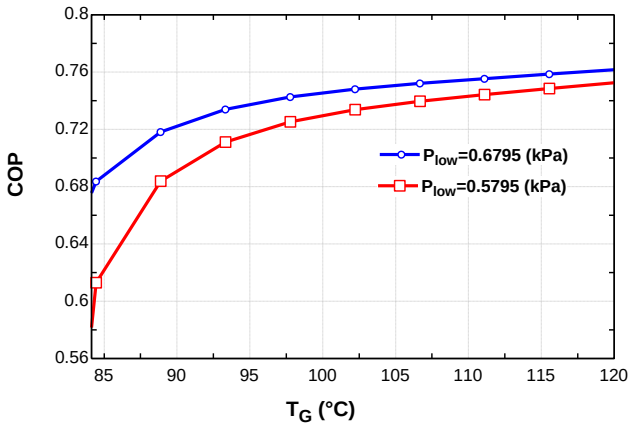
(جدول۴) آنالیز انرژی سیکل تبرید تک اثره

	h (J/g)	m (kg/s)	P (kPa)	X	T ©
1	85.8	0.05	0.68	0	32.905
2	85.8	0.05	7.353	-	32.907
3	147	0.05	7.353	-	63.198
4	221.2	0.0455	7.353	0	89.412
5	153.9	0.0455	7.353	-	53.249
6	153.9	0.0455	0.68	0.006	44.683
7	2643.3	0.0045	7.353	-	76.824
8	167.2	0.0045	7.353	0	39.928
9	167.2	0.0045	0.68	0.064	1.467
10	2503.2	0.0045	0.68	1	1.465

بر اساس ارزش حرارتی سوخت و همچنین راندمان دیگ‌های صنعتی برابر۸۵ درصد میزان سوختی که برای ژنراتور مورد نیاز است ۰/۰۰۴۷ مترمکعب در ثانیه گاز طبیعی مورد نیاز است. همان طور که از جدول مشخص است میزان حرارت مورد نیاز برای ژنراتور ۹۹/۷۷ کیلوات حرارتی است که نیاز به ۰/۵کیلوگرم آب با دمای ۸۰ درجه سانتیگراد می‌باشد که با توجه به قانون اول ترمودنیامیک ارزش حرارت سوخت برابر47293 کیلوژول به ازای هر کیلوگرم سوخت به دست می‌آید. در آنالیز انجام شده بر روی سیکل تبرید تک اثره در حالت پایا با تغییر فشار ژنراتور مقدار ضریب عملکرد (COP) مشاهده می‌شود هرچه فشار ژنراتور (P_G) افزایش یابد در نتیجه مقدار حرارت جذب شده در ژنراتور (Q_d) و حرارت جذب شده در اواپراتور (Q_E) کاهش می‌یابد با توجه به تعریف COP که نسبت این دو مقدار می‌باشد. در این نسبت مقدار تغییرات Q_e از Q_d بیشتر می‌باشد و این امر منجر به کاهش نهایی ضریب عملکرد می‌شود. همچنین در این شکل بر روی راندمان حرارتی مبدل موجود در چیلر آنالیز حساسیتی صورت گرفته شده است. با افزایش راندمان حرارتی مبدل، فرآیند انتقال حرارت بهبود می‌بخشد و حرارت بین جریان سرد و گرم منتقل می‌شود. در نهایت مقدار COP افزایش می‌یابد. فشار اواپراتور که تعیین کننده حداقل دمای موجود در چیلر می‌باشد و دمای ژنراتور دو عامل بسیار تاثیر گذار بر روی COP می باشند. با افزایش دمای ژنراتور مقدار Cop افزایش پیدا کرده و به عدد ۰/۷۶ میل می‌کند. با افزایش فشار اواپراتور جذب حرارت صورت گرفته در این جزء افزایش می‌یابد و این امر با توجه به افزایش حرارت منتقل شده به ژنراتور منجر به افزایش COP می‌گردد. نسبت این دو مقدار حرارت جذب شده در ژنراتور و اواپراتور در دماهای پایین بیشتر می‌باشد در نتیجه COP در دو حالت فشار اواپراتور در دماهای پایین اختلاف زیادی با یکدیگر دارند.

www.SID.ir

Archive of SID



(نمودار ۱) تغییرات **COP** با افزایش دمای ژنراتور و فشار اواپراتور (فشار پایین چیلر)

با تغییر فشار پایین سیستم چیلر جذبی تک اثره در دماهای ژنراتور مختلف مشاهده می شود با توجه به افزایش فشار و همچنین دمای ژنراتور میزان ضریب عملکرد سیستم افزایش می‌یابد. همان طور که مشاهده می شود دمای ژنراتور به شدت بر روی میزان COP در فشارهای مختلف تأثیر می گذارد. در این قسمت به آنالیز حساسیت بر روی غلظت لیتیوم برومايد در سیکل پرداخته می‌شود. بر اساس این داده‌ها COP برابر ۰/۷۲ محاسبه شد. در این بررسی غلظت لیتیوم برومايد از ۶۴٪ به ۷۰٪ افزایش می‌یابد مشاهده می‌شود که نتایج به صورت (جدول ۵) تغییر می‌یابد. همانطور که از تغییر آنتالپی ها مشاهده می‌شود مقادیر بارهای حرارتی انتقالی (Q) تغییر یافته و در این حالت با شرایط یکسان مقدار COP=0.766 محاسبه شده است.

(جدول۵) آنالیز انرژی سیکل تبرید تک اثره برای غلظت لیتیوم برماید ۷۰٪

	h (J/g)	m (kg/s)	P (kPa)	X	T ©
1	85.8	0.34	0.68	0	32.9
2	85.8	0.34	7.347		32.9
3	135.2	0.34	7.347		57.3
4	261.6	0.2755	7.347	0	89.4
5	200.6	0.2755	7.347		53.3
6	200.6	0.2755	0.68	0.00	58.7
7	2643.3	0.0645	7.347		76.8
8	167.1	0.0645	7.347	0	39.9
9	167.1	0.0645	0.68	0.064	1.5
10	2503.2	0.0645	0.68	1	1.5

در آنالیز حساسیت بر روی این سیکل می توان با تغییر راندمان مبدل حرارتی تغییرات را بر روی راندمان اگزرژی و COP مشاهده نمود. همان طور که نتایج نشان می دهد راندمان مبدل بیشتر بر روی COP تأثیر می گذارد و تغییرات این پارامتر بر روی راندمان اگزرژی کمتر می باشد. همچنین می‌توان از این نمودار نتیجه گرفت که با افزایش راندمان مبدل در دماهای بالاتر ژنراتور می توان به عملکرد مطلوب تری دست یافت تا در همان راندمان مبدل در دماهای پایین ژنراتور. آنالیز حساسیت بر روی غلظت در

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Mobadel.ir

شرایط کمتر از حالت طراحی (۶۴٪) برای غلظت ۶۰ درصد به صورت (جدول ۶) بیان می‌شود. مقدار COP در این حالت برابر ۰/۶۶ محاسبه شد.

(جدول ۶) آنالیز انرژی سیکل تبرید تک اثره برای غلظت لیتیوم برماید ۶۰٪

	h (J/g)	m (kg/s)	P (kPa)	X	T ©
1	85.8	0.34	0.68	0	32.9
2	85.8	0.34	7.347		32.9
3	151.8	0.34	7.347		65.5
4	211	0.3214	7.347	0	89.4
5	141.3	0.3214	7.347		53.3
6	141.3	0.3214	0.68	0.009	40.3
7	2643.3	0.0186	7.347		76.8
8	167.1	0.0186	7.347	0	39.9
9	167.1	0.0186	0.68	0.064	1.5
10	2503.2	0.0186	0.68	1	1.5

نتایج نشان می‌دهد با کاهش غلظت لیتیوم برومايد در سیکل، این پارامتر تأثیر شدیدی بر روی مقدار حرارت جذب شده در اواپراتور می‌گذارد. هر چه مقدار غلظت بیشتر باشد در نتیجه حرارت جذبی بیشتری مورد نیاز است برای تبخیر آب و این امر منجر به افزایش COP می‌شود.

حالت استفاده از گازهای خروجی از سیکل ترکیبی برای سیکل تک اثره

دبی ورودی به مبدل HEX برابر۱۵/۲۵ با دمای ۱۱۸درجه و دمای خروجی ۱۱۰درجه می‌باشد که با توجه به محاسبات انجام شده نیاز به دبی گازهای داغ برابر ۱۹/۶۱ کیلوگرم بر ثانیه می‌باشد. و مشاهده شد که دبی فعلی جواب گوی سیکل جذبی نمی‌باشد و باید سیکل فعلی زیر به همراه یک مشعل اضافه همراه گردد تا حرارت مورد نظر چیلر جذبی را فراهم سازد. در نتیجه شماتیک نهایی سیکل ۲-۱ در حالت طراحی فعلی به صورت زیر می‌باشد. مشخصه‌های سیکل ۹-۱ به صورت (جدول ۷) می‌باشد. با توجه به مصارف نیروگاه مانند فن، پمپ‌ها در سیکل و چیلر جذبی و... برخی از توان تولیدی شامل مصارف داخلی نیروگاه می‌شود در نتیجه مجموعه توان خالص به ۷/۵ مگاوات می‌رسد. در توضیح سیکل باید اضافه نمود که مبدل حرارتی ۰/۴۳ کیلوگرم آب گرم با دمای ۸۰ درجه و بویلر مابقی گرمای مورد نیاز را تأمین می‌کند. پس از انتقال حرارت در ژنراتور سیکل تبرید تک اثره دبی آب به دو بخش تقسیم شده بخشی وارد مبدل موجود در قسمت خروجی بویلر بازیافت حرارت شده و بخشی دیگر مجددا وارد بویلر کمکی شده تا حرارت مورد نیاز ژنراتور را تأمین نماید. همان‌طور که محاسبات نشان می‌دهدکه این سیستم توانسته است نزدیک به ۷۴ درصد از سوخت مصرفی را به طور سالانه ذخیره و صرفه جویی نماید و موجب بهینه سازی سوخت گردیده است و تنها نزدیک به ۲۵ درصد از انرژی توسط بویلر کمکی تامین می‌شود.

(جدول ۷) سیکل ترکیبی طراحی شده به همراه چیلر جذبی و مشعل کمکی

پارامتر	ارزش
توان تولیدی بخش گاز (MW)	۴/۸۳
توان تولیدی بخش توربین بخار (MW)	۳
توان خالص تولیدی (MW)	۷/۵

www.SID.ir

Archive of SID

میزان حرارت جذب شده در مبدل حرارتی1HEX (kW)	۱۶۶/۳
میزان دبی سوخت صرفه جویی شده در سال (m^3/yr)*	۶۹۰۳۶/۹۲
میزان دبی سوخت مصرفی مشعل کمکی(m^3/yr)*	۲۳۱۷۸/۴۶
میزان دبی سوخت در صورت نبود مبدل HEX (m^3/yr)*	۹۲۲۱۵/۳۸
COP	۰/۷۲

حالت بدون استفاده از گازهای خروجی از سیکل ترکیبی برای سیکل دو اثره

آنالیز اگزرژی و انرژی سیکل تبرید دو اثره در (جدول ۸) بیان شده است. نتایج حاصل از آنالیز انرژی و اگزرژی چیلر جذبی به شرح ذیل می باشد. مقدار COP در محاسبات برابر ۱/۳۲ محاسبه شد.

(جدول ۸) نتایج حاصل از آنالیز انرزی و اگزرژی سیکل چیلر جذبی دواثره بدون استفاده از گازهای خروجی

	h_i	m_i	P_i	q_i	T_i	x_i	s_i	ex_i
1	65.6	1.000	0.881	0.000	29.85	52.757	0.2031	9.558
2	65.6	1.000	4.178	-	29.85	52.757	0.2031	9.558
3	102.7	1.000	4.178	-	47.33	52.757	0.3198	11.9
4	195.0	0.852	4.178	0.000	76.40	61.956	0.4247	62.05
5	151.3	0.852	4.178	-	53.13	61.956	0.2972	57.3
6	151.3	0.852	0.881	0.003	47.90	61.956	0.2676	64.83
7	2607.3	0.067	4.178	-	57.48	0.000	8.623	2.735
8	124.5	0.148	4.178	0.000	29.72	0.000	0.4326	0.008487
9	124.5	0.148	0.881	0.041	5.14	0.000	0.4481	-0.6748
10	2510.0	0.148	0.881	1.000	5.13	0.000	9.02	-25.96
11	124.3	0.550	4.178	0.000	57.48	52.757	0.3853	7.696
12	124.3	0.550	64.297	-	57.50	52.757	0.3854	7.698
13	194.1	0.550	64.297	-	90.19	52.757	0.5855	13.25
14	323.3	0.469	64.297	0.000	144.84	61.956	0.7627	47.07
15	241.4	0.469	64.297	-	101.17	61.956	0.5529	38
16	241.4	0.469	4.178	0.015	78.60	61.956	0.4364	54.27
17	2725.4	0.082	64.297	-	122.82	0.000	7.691	35.69
18	367.4	0.082	64.297	0.000	87.73	0.000	1.166	1.982
19	367.4	0.082	4.178	0.100	29.72	0.000	1.235	0.314

مطابق با (جدول ۸) می‌توان نرخ تخریب اگزرژی را در هر جزء محاسبه نمود. همان طور که مشاهده می شود جذب کننده و ژنراتور دارای بیشترین تخریب اگزرژی می باشد دلیل این امر به وجود آمدن اختلاف بین دمای سرد و گرم و نیز وجود جریان دو فازی که موجبات افزایش تولید آنتروپی را فراهم می کند و تخریب اگزرژی افزایش می یابد. در آنالیز حساسیت صورت گرفته بر روی چیلر جذبی دو اثره می توان مشاهده نمود که افزایش دمای ژنراتور میزان COP در سیکل چیلر جذبی را کاهش می دهد و این امر موجب افزایش تخریب اگزرژی کلی سیکل چیلر جذبی نیز می‌گردد. افزایش دمای ژنراتور چیلر جذبی دو اثره موجب افزایش تخریب اگزرژی چیلر جذبی می شود. این افزایش دما همانند چیلر جذبی تک اثره موجب افزایش تولید آنتروپی می شود.

حالت استفاده از گازهای خروجی از سیکل ترکیبی برای سیکل دو اثره

چبلر جذبی دو اثره دارای یک ژنراتور دما بالا و یک ژنراتور دما پایین است. با توجه به تعریف حالت‌های مختلف برای چیلر جذبی دو اثره به محاسبه هر یک از حالت‌ها برای ژنراتورها پرداخته که می‌توان دبی محصولات احتراق مورد نیاز برای چیلر و

www.SID.ir

Archive of SID

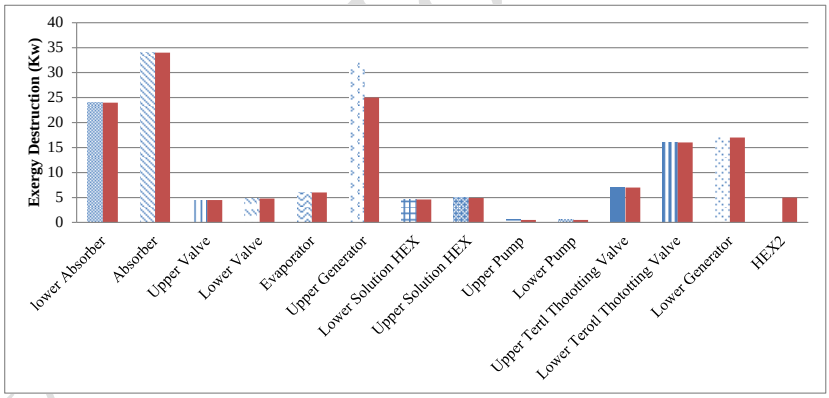
مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Mobadel.ir

همچنین دبی سوختی که با استفاده از دود خروجی در چیلر ذخیره می‌شود، نزدیک به ۲۱ درصد می‌توان از سوخت مورد استفاده از چیلر جذبی را با استفاده دود خروجی از نیروگاه سیکل ترکیبی، کاهش داد.

(جدول ۹) محاسبات مربوط به استفاده از دود خروجی برای چیلر جذبی دو اثره

سناریو	دبی محصولات احتراق مورد نیاز (kg/s)	دبی سوخت ذخیره شده (m^3/yr)	درصد ذخیره سازی سوخت (٪)
استفاده از دود خروجی برای هر دو ژنراتور	**۵۴/۳۷**	**۶۹۷۸۴/۶**	**۰/۲۱**
استفاده از دود خروجی برای ژنراتور دما بالا	۳۱/۳۴	۶۹۷۸۴/۶	۳۶/۸۴
استفاده از دود خروجی برای ژنراتور دما پایین	۲۳/۰۴	۶۹۷۸۴/۶	۰/۵۰
بدون استفاده از دود خروجی برای ژنراتور دما بالا	-	۱۹۴۴۰۰	-
بدون استفاده از دود خروجی برای ژنراتور دما پایین	-	۱۳۹۵۶۹/۲	-
بدون استفاده از دود خروجی برای مجموع ژنراتورها	-	۳۲۴۰۰۰	-

مشاهده می‌شود که در این جدول با استفاده از دود خروجی از نیروگاه سیکل ترکیبی مصرف انرژی در چیلر جذبی بهینه سازی شده است و کاهش مصرف سوخت موجب کاهش هزینه‌های جاری و همچنین ذخیره سازی سوخت شده است که مجموع این موارد نشان از بهینه سازی سیکل در حالت کلی است. همچنین در آنالیز اگزرژی حاصل از استفاده از دود خروجی در قسمت فشار بالای چیلر جذبی در مقایسه با حالت قبل مشاهده می‌شود به واسطه کاهش اختلاف جریان سرد و گرم در ژنراتور از تخریب اگزرژی این جزء نسبت به حالت قبل کاسته شده است.



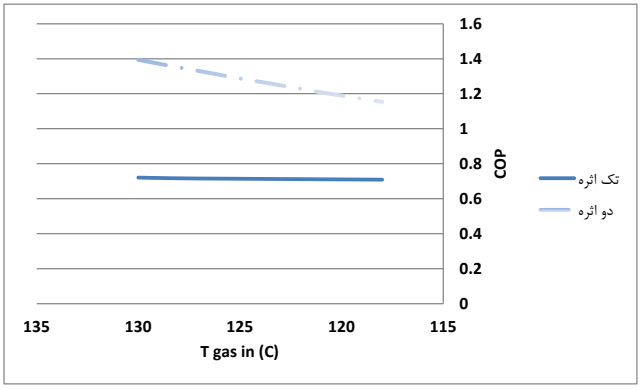
(نمودار ۲) تخریب اگزرژی اجزاء مختلف سیکل چیلر جذبی در حالت استفاده از دود خروجی

این در حالی است که تخریب اگزرژی مبدل حرارتی به سیکل اضافه شده است و مجموعه تخریب اگزرژی‌های دیگر اجزاء سیکل تقریبا ثابت مانده است. در کل نتایج نشان می‌دهد که تخریب اگزرژی کل سیستم کاهش یافته است. همچنین می توان تغییرات تخریب اگزرژی را در این سیکل در دماهای مختلف کندانسور مشاهده نمود. همچینین با مقایسه بین دو سیکل تک اثره و دو اثره با تغییر دمای گاز ورودی به مبدل می توان دریافت با افزایش دمای گاز مقدار حرارت بازیافت افزایش می یابد و این امر موجب افزایش دمای ژنراتور می شود. افزایش دمای ژنراتور نیز COP را افزایش می دهد همان طور که مشاهده می شود این افزایش برای سیکل دو اثره ملموس تر است و تاثیر بیشتری را بر روی سیکل می گذارد.

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی
دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶
مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا
ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC
www.Mobadel.ir



(نمودار ۳) تغییرات COP برای سیکل دو اثره و تک اثره در دماهای مختلف ورودی گاز

نتیجه گیری

در این تحقیق سعی شد تا استفاده از دود خروجی از سیکل ترکیبی در سیکل تبرید مورد بررسی قرار بگیرد. این بررسی در دو سیکل تبرید تک اثره و دو اثره در دو حالت استفاده منفرد و حالت استفاده از دود خروجی مورد بررسی قرار گرفت. بررسی بازیافت دود خروجی از بویلر نیروگاه سیکل ترکیبی بر اساس قانون اول و دوم ترمودینامیک صورت پذیرفته است. نتایج نشان دادند که در سیکل ترکیبی اتاق احتراق با ۵ مگاوات، بیشترین تخریب اگزرژی را به خود اختصاص داده است. همچنین در سیکل تبرید ژنراتور به واسطه اختلاف دمای جریان سرد و گرم تولید انتروپی بیشتری را نسبت به دیگر اجزاء دارد و این امر موجب افزایش تخریب اگزرژی این جزء دارد. آنالیز انرژی نشان می‌دهد که قریب به ۱۶۶ کیلووات می‌توان از دود خروجی، با توجه به محدودیت نقطه اسیده شدن انرژی بازیاب نمود. این امر در سیکل تک اثره و دواثره موجب بهینه‌سازی مصرف سوخت می‌گردد و صرفه جویی در سیکل تبرید تک اثره و دو اثره به ترتیب برابر ۲۱و ۷۵ خواهد شد. با توجه به مصرف انرژی کمتر در سیکل تبرید تک اثره نسبت به دو اثره این امر باعث افزایش ذخیره سازی انرژی شده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که تغییر سیکل از تک اثره به دو اثره منجر به افزایش COP از ۰/۷۲ به ۱/۳ می‌شود.

پیشنهادات

الف - با توجه به انرژی ثابت در دود خروجی از توربین گاز هر چه سیکل بالا دست مناسب‌تر طراحی شود موجب افزایش بهره‌وری سیستم می‌شود. در نتیجه پیشنهاد می‌شود به طراحی بهینه مبدل حرارتی بر اساس افزایش ضریب عملکرد پرداخته شود.

ب - استفاده از مبردهای دیگر در سیکل تبرید و تحلیل اگزرژی بر روی سیکل

ج - استفاده از اجکتور در سیکل تبرید برای افزایش ضریب عملکرد سیستم.

د - مکان محل نصب اجکتور در سیکل تبرید دو اثره.

ر- تحلیل سیکل به کمک نرم افزار TRNSYS

علائم و اختصارات

www.SID.ir

Archive of SID

ψ- اگزرژی جریان(kj) h- آنتالپی T- دما S- انتروپی(kj/kg) η- بازده انرژی wa- کار واقعی i- ورودی e- خروجی
COP- ضریب عملکرد چیلر HEX- مبدل حرارتی EVP- اواپراتور ABS- جاذب SEV- شیر انبساط محلول HTG- ژنراتور دما بالا SHX- مبدل حرارتی محلول RV- شیر انبساط مبرد LTG-HTC- ژنراتور دما پائین- کندانسور دما بالا LTC- کندانسور دما پائین
EX- اگزرژی (kj) X- غلظت لیتیوم برماید(٪)

منابع و مراجع

[۱] معاونت امور برق و انرژی، دفتر بهبود تکنولوژی. توسعه تولید همزمان پراکنده در کشور، تهران: وزارت نیرو، ۱۳۸۷.

[۲] مقدس تفرشی، سید مسعود. منابع تولید انرژی الکتریکی در قرن بیست ویکم. تهران: انتشارات دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۸۴.

[3] Havelsky, V. 1999. Energetic efficiency of cogeneration systems for combined heat, cold and power production. International Journal of Refrigeration 22: 479-485.

[۴] سلطاندوست، محمدرضا. چیلر جذبی، تهران: انتشارات یزدا، ۱۳۸۷.

[5] Marvin M. Schorr, Joel Chalfin. Gas Turbine NOx Emissions Approaching Zero — Is It Worth The Price.General Electric Power Systems, Schenectady, New York

[6] Dincer, I., M.A. Rosen. 2007. Exergy, Energy, Environment and Sustainable Development. Elsevier.

[7] Herold KE, R. Radermacher, SA. Klein. 1996. Absorption chillers and heat pumps. Boca Raton, Florida: CRC Press.

[8] Berhane H. Gebreslassie, Marc Medrano, Dieter Boer. 2010. Exergy analysis of multi-effect water—LiBLatiscaption systems: From half to triple effect, Renewable Energy 35: 4773-17482.

[9] Palacios-Bereche, Reynaldo, R. Gonzales and S. A. Nebra. 2012. Exergy calculation of lithium bromide—water solution and its application in the exergetic evaluation of absorption refrigeration systems LiBr-H20. International Journal of Energy Research. 36(2): 166-181.

[۱۰] علی موسی فراش و پوریا احمدی. آنالیز اگزرژی و اگزرژی محیطی برای سیکل همزمان سه گانه بر پایه چیلر جذبی دو اثره، دهمین همایش بین المللی انرژی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی-دانشگاه رایرسون کانادا، ایران.۱۳۹۳

www.SID.ir