

بهینه سازی واحدهای تولید همزمان برق و بخار

(نمونه مورد مطالعه: توربین گاز V94.2 و بویلر بازیاب)

نیروگاه سیکل ترکیبی دماوند (معاونت تولید)

نویسندگان مقاله :

۱- آرش یوردخانی (کارشناس ارشد سیستمهای انرژی) ۲- علی ایوبی (کارشناس ارشد نانو الکترونیک)

Ayoobi.dpgm@yahoo.com

Arash.yourdkhani@yahoo.com

چکیده:

واحدهای صنعتی در کنار پروسس صنعتی و یا شیمیایی به تولید همزمان برق و بخار برای تجهیزات و پروسه نیازمند بوده و بر اساس مقدار توان الکتریکی و بخار مورد نیاز امکان انتخاب ترکیب های مختلف وجود داشته ولی ممکن است ترکیب های مورد نظر دارای راندمان بهینه نباشند که ساده ترین آنها ترکیبی از توربین گاز و بویلر بازیاب می باشد. این ترکیب بعلاوه استفاده تمامی بخار در پروسه دارای راندمان کمی می باشد. در اینصورت ترکیب هایی با بهینه نمودن تعداد توربین های گازی ، بویلرهای بازیاب چند فشاره و انواع توربین های بخار را می توان در نظر گرفت که بخار علاوه بر استفاده در پروسه امکان تولید توان الکتریکی را در توربین بخار را داشته باشد که باعث افزایش راندمان می گردد. در این مقاله با توجه به بهره برداری توربین گاز V94.2 در واحدهای یوتیلیتی مانند پتروشیمی فجر ، دماوند و غیره ، ابتدا نیازها و محدودیت های واحدها بررسی شده و بر اساس محدودیت ها و نیازها ، ترکیب های مختلف با مزایا و معایب آنها معرفی می گردد و در ادامه راندمان یک نمونه بر اساس ترکیب های مختلف و میزان سرمایه گذاری بررسی و بهترین حالت انتخاب می گردد.

کلید واژه

توربین - بویلر - بهینه سازی - پروسس - بخار - برق

- نیازها و محدودیت ها

۱- توان الکتریکی و مقدار بخار مورد نیاز

با توجه به شرایط پروسس و نیاز واحدها برای مصرف توان الکتریکی و بخار بایستی محدودیت های بهره برداری مشخص گردد که شامل عوامل ذیل می باشد:

ابتدا مقادیر توان الکتریکی و مقدار بخار مورد نیاز در یک Plant و یا منطقه مشخص گردد:

۱-۲- بهره برداری در حالت جزیره

جدول شماره یک- توان الکتریکی و بخار مورد نیاز

در صورتیکه واحدهای منطقه با شبکه سراسری یا منطقه متصل نباشند ، واحدهای تولید توان باید همواره آمادگی تولید توان مصرفی آنی را داشته باشند. که این شرایط ویژه در حالت های استارت ، شات دان ، تریپ ژنراتورها و یا مصرف کننده ها ، وضعیت های غیر منتظره ، شرایط محیطی غالب و غیره می باشد.

	Max. case (Design condition)	Remarks
Electric power(MW)	
High pressure(t/h)°C ,bar
Medium pressure(t/h)°C ,bar
Low pressure(t/h)°C ,bar

که براین شرایط مطالعه الکترومکانیکی و دینامیکی برای اطمینان از توانایی واحد در شرایط فوق الذکر انجام می گردد و میزان قابلیت واحد مشخص می گردد.

۲-۲- فلسفه N+1

معیارهای فلسفه N+1 مانند نیازهای کلیدی برای داشتن ظرفیت کافی در مواردی مانند تعمیرات توربین ها و تجهیزات اصلی مشخص می گردد. در واقع اگر برای تولید توان و بخار نیاز به N ماشین باشد N+1 ماشین نصب و بهره برداری می گردد. در اینصورت اگر یک ژنراتور از مدار خارج گردد ماشین های دیگر با افزایش توان خود مقدار درخواست توان را پوشش داده و جبران می نمایند.

همچنین توربین های گاز تابع شرایط محیط خصوصا دما بوده که جهت جبران کاهش مگاوات با افزایش درجه حرارت محیط در دمای بالاتر از دمای منطقه طراحی می گردد که این طراحی باعث کاهش راندمان می گردد. در فصل هایی که دما کاهش می یابد توان خروجی توربین گاز افزایش یافته و حالت N+2 حاصل می گردد که تعمیرات اساسی در فصل هایی که دمای محیط پایین است انجام می گردد و در تقاضا و تولید خللی وارد نمی کند.

۲-۳- عدم شات دان واحد برای یک GT/ST/User

واحدهای که آمادگی آنها بیشتر از ۳۴۰ روز در سال است اشکال در یک مصرف کننده و یا ژنراتور نباید باعث خروج ژنراتورها و یا واحدهای پروسس گردد که بر این اساس در مدت زمان چند دقیقه شرایط بهره برداری نرمال ایجاد می گردد.

۲-۴- رابطه حداقل بار توربین گاز با آلودگی محیط

بار توربین های گاز تا ۶۰٪، برنرهای کاهنده اکسیدهای نیتروژن جهت کاهش آلودگی محیط در مدار بوده و با کاهش بار از ۶۰٪ برنرهای فوق از مدار خارج می گردند

که جهت جلوگیری از آلودگی می توان یک توربین گاز را از مدار خارج نمود که با این کاهش، بار مجدداً به بالای ۶۰٪ بار کل برسد.

۳- سناریوهای پیشنهادی برای بهینه سازی

سناریوهای که پیشنهاد می شوند همگی در بخش توربین گاز که شامل n توربین گاز بوده که به هرکدام یک بویلر بازیاب متصل می گردد. ولی این سناریوها در بخش بویلر بر اساس تعداد فشار بخار خروجی بویلر و توربین بخار از نوع Condensate و یا Back pressure می تواند متفاوت باشد.

Back pressure steam turbine

در نیروگاههای صنعتی Back - pressure معمولا فشار پشت توربین در بارهای کامل و جزئی و با در نظر گرفتن شرایط فرآیند ثابت نگه داشته میشود. همچنین میتوان از قسمتهای میانی توربین نیز مقداری از بخار را با کیفیت بالاتر را استخراج نمود. این بخار می تواند در فرآیندهای صنعتی استفاده شود. ساده ترین ترکیب برای افزایش راندمان استفاده از این توربین ها برای Let down بخار فشار بالای خروجی بویلر بازیاب و تولید توان الکتریکی می باشد.

بویلرهای بازیاب تک فشاره خیلی ساده بوده و بهبود راندمان به خاطر بخار تولید شده برای پروسس کاملا پایین می باشد. یک مقدار مشخص از بخار اضافی تولید شده برای کمک به پایداری بهره برداری شبکه بخار و آمادگی جبران افت فشار در شبکه می باشد. بخار فوق در شرایط نرمال بهره برداری به کندانسور وارد می شود.

Condensing steam turbine

افزودن یک توربین بخار نوع Condensate کوچک به ترکیب قبلی جهت استفاده از بخار اضافی برای تولید توان می توان استفاده نمود. همچنین با توجه به نیازهای واحد و نیاز به افزایش راندمان بیشتر می توان بویلر دو فشاره با توربین بخار Condensate در نظر گرفت.

۳-۱- n GT+HRSG 1 LEVEL+1

BPST+CONDENSER

زمانیکه بخار خارج شده از توربین از فشار معین افزایش یابد لازم است مقداری از آن در کندانسور به همراه بخار اضافی جهت کنترل شبکه بخار در کندانسور دمپ گردد که استفاده از ولوهای بای پس ضرورت می یابد.

مزایا:

• ترکیب ساده

• ارزانتر به علت تعداد کمتر ژنراتورها

• امکان جانمایی فشرده

معایب:

• ظرفیت صرفه جویی پایین

• احتمال استفاده از داکت برنر بدون صرفه جویی بالا می باشد

• به علت استفاده از داکت برنر درجه حرارت گاز داغ

افزایش یافته که نیاز به متریاال خاص در بویلر می باشد.

• نداشتن مارجین اضافی در صورت افزایش مصرف توان واحدها

• کاهش راندمان در BPST های بزرگ به علت بهره

برداری در بارهای جرئی

• مقدار از بخار خروجی توربین جهت کنترل با توجه به فشار بالا در کندانسور دمپ می گردد.

• نیاز به کندانسور

۳-۲- n GT+HRSG 1 LEVEL+ m BPST+ q ST+ CONDENSER

این ترکیب نسبت به ترکیب قبلی به علت افزایش راندمان با استفاده از بخار اضافی و اکسپند آن در ST متفاوت می باشد. در این ترکیب هم توان تولیدی افزایش یافته و ظرفیت تولید بهبود می یابد. کندانسور نصب شده برای توربین بخار قابلیت دمپ بخار جهت کنترل فشار شبکه بخار را هم دارد. با این ترکیب نیاز به اضافه نمودن توربین گاز نمی باشد. اگرچه در صورت آماده نبودن یکی از توربین های گاز جهت رفع نیاز واحد باید از داکت برنر استفاده نمود.

مزایا:

• سازگار با بیشترین توان مورد نیاز

• سازگار با فلسفه n+1

• بهبود راندمان

معایب:

• بدون داکت برنر در صورت آماده نبودن یکی از ژنراتورها امکان دستیابی به بیشترین ظرفیت وجود ندارد.

• نیاز به کندانسور

• در طول تعمیرات تمامی بخار باید دمپ گردد.

• به علت متفاوت بودن توربین ها بخار امکان جانشینی در هنگام تعمیرات وجود ندارد.

۳-۳- n GT+HRSG 2P LEVELs+ m ST with bleeding+ m CONDENSER

ترکیب پیچیده بوده و تمامی نیازها را برای بهره برداری پیوسته پوشش می دهد که در صورت تعمیرات هر یک از ژنراتورها تاثیری در بهره برداری نرمال واحدها نخواهد داشت.

در طول فصول سرد سال امکان تعمیرات همزمان توربین گاز و توربین بخار وجود دارد.

• افزایش ظرفیت در بخش توربین بخار

معایب:

• نیاز به مساحت بیشتر برای نصب تجهیزات

• نیاز به کندانسور بیشتر

• پیچدگی بیشتر در نیروگاه

مزایا:

• سازگار با بیشترین توان مورد نیاز

• سازگار با فلسفه n+1

• بهبود راندمان

مطالعه یک نمونه:

داده های بدست آمده جدول زیر با شبیه سازی در نرم افزار Thermo flow با مشخصات توربین گاز V94.2 و بویلرهای ساخت شرکت دوسان کره جنوبی محاسبه گردیده است.

Reference case	Parameter	5GT+5H RSG 2PL+2ST	5GT+5H RSG 1PL+1BP ST	5GT+5HRS G 1PL+1BPST +1ST	4GT+4H RSG 2PL+2ST	4GT+4H RSG 1PL+1BP ST	4GT+4HRS G 1PL+1BPST +1ST
Ambient Temp.	°C	43	43	43	43	43	43
Relative Humidity	%	35	35	35	35	35	35
Ambient Press.	bar	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Gas GT Temp.	°C	65	65	65	65	65	65
Fuel Gas LHV	KJ/Kg	45752	45752	45752	45752	45752	45752
Gross GT Power	MW	482.66	559.63	501.47	480.49	481.05	481.33
Net GT Power	MW	479.41	556.38	498.22	477.89	487.45	487.73
GT Heat Consumption(LHV)	MW	1626.12	1802.59	1666.92	1520.10	1520.07	1520.05
Net GT Efficiency	%	29.48	30.86	29.89	31.44	31.47	31.49
GT Fuel Consumption	t/hr	127.95	141.84	131.16	119.61	119.61	119.61
Supplementary Firing Heat Consumption	MW	0.00	0.00	0.00	77.14	412.23	153.56
Supplementary Firing Fuel Consumption	t/hr	0.00	0.00	0.00	6.07	32.44	11.65
Steam Turbine Gross Power	MW	204.61	127.72	185.75	207.18	205.99	206.29
Steam Turbine Net Power	MW	203.91	127.27	185.75	206.48	205.54	205.69
Cycle Gross Power	MW	690.85	687.34	689.75	691.25	687.04	690.15

BOP (Balance of power) and auxiliary losses	MW e	7.53	3.70	6.38	6.88	3.05	5.73
ACC Power Consumption	MW e	3.44	2	2.53	3.44	2	2.53
Cycle Net Power	MW e	683.32	683.64	683.37	684.37	683.99	684.44
LHV Gross Heat Rate	KJ/Kg-hr	8473.70	9441.14	8700.13	8318.42	10124.99	8729.97
LHV Net Heat Rate	KJ/Kg-hr	8567.07	9492.23	8781.33	8402.01	10170.14	8802.84
Cycle LHV Net Efficiency	%	42.02	37.92	40.99	42.85	35.40	40.89
GT Load	%	76.15	88.26	78.98	95.00	95.00	95.00
Number of GTs		5	5	5	4	4	4
Minimum of Number GTs and STs		5+2	4+1	4+1	4+1	4+1	4+1
Cycle Total Heat Consumption	MW	1626.12	1802.59	1666.92	1597.25	1932.30	1673.61
Cycle Total Fuel Consumption	t/hr	127.95	141.84	131.16	125.68	152.04	131.26
Stack Exhaust Temp.	°C	159.36	228.14	229.15	158.02	217.76	222.59
HP Steam	t/hr	60.3	60.3	60.3	60.3	60.3	60.3
MP Steam	t/hr	400	400	400	400	400	400
Total Steam	t/hr	460.3	460.3	460.3	460.3	460.3	460.3

جدول شماره ۲- ترکیب های مختلف

۴- ارزیابی اقتصادی

۴-۱ - هزینه های سرمایه گذاری

	5GT+5HRSG 2PL+2ST	5GT+5HRSG 1PL+1BPST	5GT+5HRSG 1PL+1BPST+1ST
Number GT	5	5	5
HRSG	5	5	5
Number ST	2	1	1+1
Investment costs(million €)	706	662	678

۴-۲ - صرفه جویی سوخت

	5GT+5HRSG 2PL+2ST	5GT+5HRSG 1PL+1BPST	5GT+5HRSG 1PL+1BPST+1ST
Normal/Maintenance case efficiency	42/42.8	37.9/35.4	41/40.9
Fuel gas savings-Normal MW	176.47	0	135.67
Fuel gas savings-Mainten. MW	335.06	0	258.71

۵- نتیجه گیری

Configuration	5GT+5HRSG 2PL+2ST	5GT+5HRSG 1PL+1BPST	5GT+5HRSG 1PL+1BPST+1ST
N+1 philosophy criteria compliance	yes	yes	yes
Sparing capacity GT	yes	yes	yes
Sparing capacity ST	no	no	yes
Use of supplementary firing in normal operation	no	no	no
Use of supplementary firing in upset operation	Yes ~100MWt/HRSG	yes~39MWt/HRSG	yes~19MWt/HRSG
Use of special material in HRSG	yes	no	no
Steam wasted to condenser	yes	no	no
Adequacy for steam production in normal/upset condition	Yes/yes	Yes/yes	Yes/yes
Adequacy for actual power requirement	no	yes	yes
Margin for additional future power capacity	no	no	yes
Adequacy in normal operation	yes	yes	yes
Adequacy in upset operation	no	no	yes
Recommended Configuration	no	no	yes

که گزینه 2-5-5 با قرار دادن یک ژنراتور یدکی در سمت GT و یا در سمت ST بهترین ترکیب می باشد علاوه بر این انعطاف پذیری از واحد بیشتر بوده و بازده کلی امکان صرفه جویی در سوخت باعث می گردد که می تواند در پروسه و یا واحدهای دیگر مورد استفاده قرار گیرد.

از آنجایی که تاثیر حیاتی تولید برق در پروسس در بهره برداری جزیره، حفظ و کافی بودن ظرفیت پیکربندی برای شرایط غیر نرمال از بیشترین اهمیت برخوردار بوده و پایداری شبکه و بهره برداری از واحد را دچار مخاطره ننماید. با در نظر گرفتن این معیار مهم، با توجه به جدول نشان داده شده در بالا، ما می توانیم نتیجه گیری نماییم

منابع و ماخذ :

- Donald L. Basham, James W. Wright, Kathleen I. Ferguson and Get W. Moy, "Steam turbine handbook", Department of defense, United state.
- J.H. Horlock, "Advanced gas turbine cycles", Whittle laboratory Cambridge U.K.
- D. Yogi Goswami and Frank Krith, "Energy conversion" , Taylor and Francis group LLC.
- Nikolai V. Khartchenko, "Advanced energy systems", Technical university Berlin