

ЕНЕРГИЕН ФОРУМ 2019

ЕФЕКТИВНОСТ НА РЕГЕНЕРАТИВНАТА СИСТЕМА НА ПАРНА ТУРБИНА К-225-130 ПРИ РАЗЛИЧНИ ТОВАРИ

Александър Григоров

REGENERATIVE FEED WATER SYSTEM EFFICIENCY OF STEAM TURBINE K-225-130 AT VARIOUS LOADS

Alexander Grigоров

Abstract: *This work presents results about efficiency of regenerative feed water system and its contribution to rising the efficiency of whole steam turbine installation. Efficiency is estimated at three different operational modes - 65, 80 and 100 % load. Regeneration coefficient varies between 1.12 and 1.15. By using of regenerative feed water heating the energy efficiency of steam turbine unit increases whit 5÷6 % abs.*

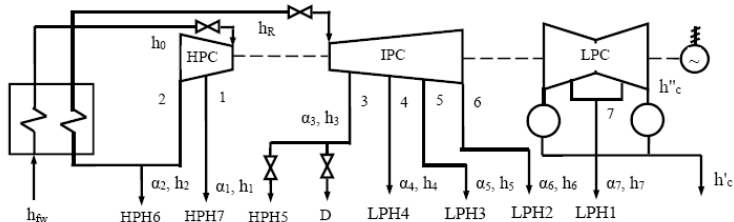
Въведение

Парната турбина К-225-130 е модернизиран вариант на най-голямата серия парни турбини на ЛМЗ тип К210-130 (произведени над 340 броя турбини). Цел на модернизацията на турбината К-210, независимо от обема на модернизационните мероприятия, е повишаване на мощността (с 5÷15 %), ефективността (с 3÷6 %), и надеждността при максимално използване на строителната конструкция (съществуващ фундамент) и спомагателни съоръжения [1, 4]. Модернизацията обхваща голям брой елементи, възли и системи, като най-съществената промяна е ново облопатване на някои степени в ЧВН и ЧСН, отказ от Баумановата степен в ЧНН, нови надбандажни и крайни уплътнения, с които се повишава к.п.д. на трите цилиндъра [2].

Измененията в проточната част променят разпределението на налягането по нея, а следствие на това и условията на работа на регенеративната система на турбината. Това налага оценка на ефективността на регенеративната система, както при номинален, така и при понижени товари на турбината.

1. Схема на пароотборите

Регенеративната система се състои от четири подгревателя ниско налягане (LPH1, LPH2, LPH3 и LPH4), деаератор (D) и три подгревателя високо налягане (HPH5, HPH6 и HPH7), захранвани от седем пароотбора. На фиг. 1 е показана схема на пароотборите на турбината, поясняваща символите в изчислителните формули.



Фиг. 1 Схема на пароотборите на турбината

2. Енергийна ефективност и коефициент на регенерация

Коефициентът на регенерация K_p характеризира приноса на регенеративната система за повишаване ефективността (к.п.д.) на паротурбинната инсталация (ПТИ) и показва повишаването на брутния термичен к.п.д. на ПТИ с регенеративно подгриване на основния кондензат в сравнение с ПТИ, работеща при същите условия (начални и крайни параметри), но без регенеративно подгриване. Той се дефинира като [3]:

$$K_p = \frac{\eta_p}{\eta_0} \quad (1)$$

където: η_p и η_0 са брутните термични коефициенти на полезно действие на ПТИ, съответно с и без регенеративно подгриване.

Съгласно фиг. 1 к.п.д. без регенеративно подгриване η_0 и с междинно прегриване на парата е:

$$\eta_0 = \frac{h_0 - h_2 + h_R - h''_c}{h_0 - h'_c + h_R - h_2} \quad [-] \quad (2)$$

където: h_0 и h_2 са енталпии на пара съответно пред и след ЧВН (HPC);
 h_R и h''_c са енталпии на пара съответно пред ЧСН (IPC) след ЧНН (LPC) на турбината;
 h'_c е енталпия на основен кондензат след кондензаторите на турбината.

Всички енталпии в израз (2) и в следващите изрази са за 1 kg работно тяло, kJ/kg.

Отново съгласно фиг. 1 к.п.д. на ПТИ с междинно прегряване и регенеративно подгръване се изразява като:

$$\eta_p = \frac{h_0 - h_2 - \alpha_1(h_1 - h_2) + (1 - \alpha_1 - \alpha_2)[h_R - h_c'' - \sum_{i=3}^7 \alpha_i(h_i - h_c'')]}{h_0 - h_{fw} + (1 - \alpha_1 - \alpha_2)(h_R - h_2)} \quad [-] \quad (3)$$

където $\alpha_i, i=1, 2, \dots, 7$ е относителния разход на пара от пароотбор "i" към регенеративната система;

$h_i, i=1, 2, \dots, 7$ е енталпия на пара от пароотбор "i";

h_{fw} е енталпията на захранваща вода.

След разделяне на израз (3) на израз (2) за коефициента на регенерация се получава:

$$K_p = \frac{1 - N_p}{1 - Q_p} \quad [-] \quad (4)$$

където N_p е относителната неизработена мощност от турбината поради пароотнемания по проточната част;

Q_p е относителната мощност отнета от турбината и използвана за регенеративно подгръване на работното тяло.

Тъй като неизработената мощност поради пароотнемания от турбината е по-малка от топлинната мощност използвана за регенеративно подгръване ($N_p < Q_p$), коефициентът на регенерация $K_p > 1$ и в зависимост от броя пароотнемания има стойност между 1,05 и 1,16.

Относителната неизработена мощност N_p се изчислява по израза:

$$N_p = \frac{(\alpha_1 + \alpha_2)(h_R - h_c'') + \alpha_1(h_1 - h_2) + (1 - \alpha_1 - \alpha_2) \sum_{i=3}^7 \alpha_i(h_i - h_c'')}{(h_0 - h_2) + (h_R - h_c'')} \quad [-], \quad (5)$$

а относителната мощност, използвана за регенеративно подгръване:

$$Q_p = \frac{(\alpha_1 + \alpha_2)(h_R - h_2) + \Delta h_{fw}}{(h_0 - h_c') + (h_R - h_2)} \quad [-] \quad (6)$$

където

$$\Delta h_{fw} = h_{fw} - h_c' \quad [\text{kJ/kg}] \quad (7)$$

е нарастването на енталпията на основен кондензат и захранваща во-

да в цялата регенеративна система на турбината.

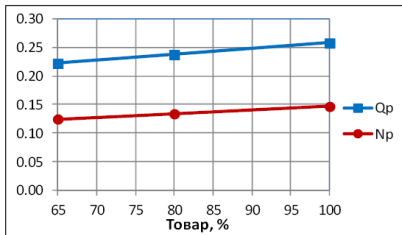
3. Резултати

Енергийната ефективност на турбината К-225 е пресметната в три режима на натоварване - 65, 80 и 100 %. Стойностите на основните параметри в тези три режима са дадени в табл. 1.

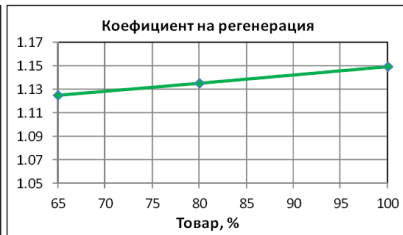
Таблица 1. Основни параметри в изследваните режими

Параметър	Дименсия	Режим		
		65 %	80 %	100 %
Ел. мощност (бруто)	MW	147	181	226
Разход през ЧВН	kg/s	115.6	143.3	184,7
Налягане пред ЧВН	bar	127.5	127.5	127,5
Температура пред ЧВН	°C	537	540	540
Налягане в кондензатора	kPa	6	6,6	7,6
Температура на кондензат	°C	36	37,7	40,6
Температура на захранваща вода	°C	220	232,8	249

Получените резултати за неизработената мощност (N_p) и използваната мощност за регенеративно подгряване (Q_p) в зависимост от товара са показани на фиг. 2. На фиг. 3 е показано изменението на коефициента на регенерация (K_p) в диапазона на натоварване от 65 до 100 %.

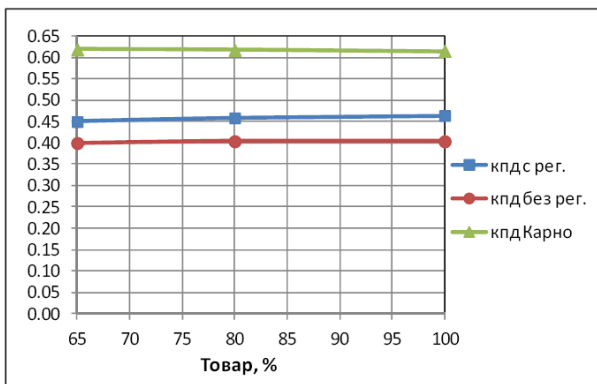


Фиг. 2 Зависимост на N_p и Q_p от товара



Фиг. 3 Коефициент на регенерация

На фиг. 4 са представени кпд на турбината К-225 с напълно работеща регенеративна система и без регенеративна система. За оценка на "съвършенството" на реалния цикъл, на същата фигура е показан и кпд на "еталонния" цикъл на Карно.



Фиг. 4 Енергийна ефективност на паротурбинната инсталация

Заклучение

Парната турбина К-225-130 е с добре развита регенеративна система за подгриване на захранващата вода (4*LPН+D+3*HPН). В резултат на това регенеративната система се характеризира с висока ефективност. Коефициентът на регенерация (K_p) в режим на 100% натоварване има стойност 1,15 (максималната стойност за турбини с такава мощност е 1,16) [3, 6, 7]. При минимален товар от 65 % коефициентът на регенерация се понижава под 1,13. В този режим поради ниската стойност на налягането в пароотбор 3, подгревател HPН5 е изключен, което води до увеличаване на разхода от пароотбор 2.

В диапазона на изменение на товара от 65 % до 100 % кпд на паротурбинната инсталация се променя от 0,45 до 0,46 (фиг. 4). Хипотетично, при отсъствие на регенеративна система, кпд на инсталацията би бил 0,40. Следователно с регенеративното подгриване кпд се повишава с 5-6 % (абс.). Със същите начални и крайни параметри "еталонният" цикъл на Карно би имал кпд 0,615.

Оценката на ефективността на инсталация с К-225-130 е направено въз основа на данни от диаграми на топлинния баланс, в които не са отразени разходите за впръскове и продувки на котела, респ. добавъчна вода към инсталацията. С отчитане на тези разходи реалният кпд на инсталацията е с около 2 % по-нисък.

Литература:

[1] Бонев Б., Актуална проблематика на българската енергетика, "Енергиен форум-предизвикателства към българската енергетика", София, стр. 84-89, 2018, ISSN 2367-6728.

[2] Гаев, В. Д., Разработка и модернизация проточных частей для повышения эффективности и функциональности паровых турбин, Диссертация, Санкт-Петербург, 2018 г.

[3] Иванов В. А. Режимы мощных паротурбинных установок. "Энергоатомиздат", Л., 1986.

[4] Сотиров Н., Т. Тотев, Б. Бонев, Постигнати резултати от рехабилитационните проекти в ТЕЦ „Марица Изток 2“, XVI Научна Конференция с международно участие ЕМФ '2011, ISSN 1314-5371, 17-20 септември 2011, Созопол, Том 1, стр. 56 – 63.

[5] Da Chuna A. F. V., N. Fraidenaich, L. D. S. Silva, Optimum efficiency Analysis of Regenerative Cycle with Feed Water Heaters, Journal of Power and Energy Engineering, 2017, 5, 45-55.

[6] Genovski Iv., K. Hristov, "Optimal heat load distribution between cogeneration steam turbine installations in combined heat and power (CHP) plants", The Journal of Macro Trends in Technology and Innovation, Vol. I Issue I, 2014.

[7] Szargut, J., Influence of regenerative feed water heaters on the operational cost of steam power plants and HP plants, Int. J. of Thermodynamics, vol. 8, No. 3, pp. 137-141, 2005.

Автор:

доц. д-р инж. Александър Данчев Григоров, Технически Университет – София, катедра "Топлоенергетика и ядрена енергетика", тел.: 02/965 2253, e-mail: grigorov@tu-sofia.bg.