

Слободан В. Лаковић*, Мирјана С. Лаковић,
Велимир П. Сћефановић, Младен М. Сшојиљковић

Машински факултет, Универзитет у Нишу, Ниш, Србија

Рационалност избора радних параметара и опреме за повратно хлађење парног блока

Оригинални научни рад
UDC: 621311.22:66.45.1

Степен искоришћења повратно хлађеног парног блока је за око 5% нижи од степена искоришћења проточно хлађеног аналогног блока због више температуре хлађења код повратно хлађеног блока. Виша температура расхладне воде код повратно хлађеног парног блока последица је жеља инвеститора да опрема за хлађење (расхладни торњеви, циркулационе пумпе, цевоводи) буде што јефтинија. Међутим, због више температуре расхладне воде виши је и приписак у кондензатору, што доводи до смањења степена искоришћења постројења. Овакав начин уштеде при изградњи термоенергетских постројења и код нас и у свету је контрапродуктиван. У овом раду је на примеру референдног објекта снаге 100 MW показано да замена изабраног расхладног торња двоструко већим доводи до значајног повећања енергетске ефикасности постројења, узевши у обзир и повећање инвестиционих трошкова због уградње већег расхладног торња.

Кључне речи: расхладни торња, радни параметри, енергетска ефикасност, инвестиције

Увод

Термоенергетска постројења за свој рад користе велике количине расхладне воде. Рад и перформансе система расхладне воде кондензатора имају значајан утицај на ефикасност ових постројења.

Ради остварења затвореног кружног циклуса трансформације топлотне енергије у механички рад неопходно је одвођење топлоте од циклуса. Код термоенергетских постројења се то остварује хлађењем кондензатора расхладном водом. Данас се примењују проточни и повратни системи хлађења термоенергетских постројења.

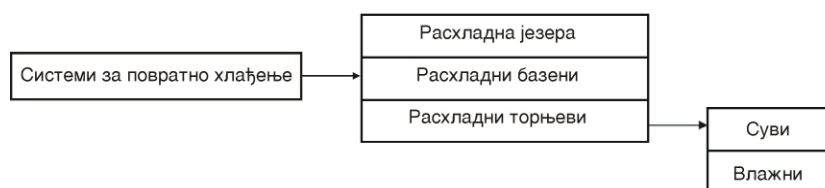
* Одговорни аутор; електронска адреса: lakovic@masfak.ni.ac.rs

Проточни систем користи воду из отворених водотокова река. Због ниже температуре расхладне воде притисак у кондензатору износи од 0,035 до 0,060 бар. Ограничења овог система своде се на чињеницу да су реке довољног протока најчешће сувише далеко од рудника угља. Мањи водотокови нису прихватљиви због еколошких норми да пораст температуре воде у реци због хлађења кондензатора буде највише 4 °С. Осим тога, у већини европских земаља температура воде на улазу у реку не може бити виша од 35 °С, што у летњем режиму може да представља велики проблем.

Код проточног система хлађења, потребно је обезбедити довољну количину проточне хладне воде, како би се обезбедио пун капацитет хлађења. У догледној будућности, већи губици ће свакако бити уочљиви на постојећим термоенергетским постројењима, уколико се будући капацитети буду пројектовали у складу са нарастајућим захтевима за очувањем животне средине, али и са планираном прилагодљивошћу на настале климатске промене. Наиме, биће неопходно да се при пројектовању нових капацитета укључе нове технологије којима би се утицај пораста температуре околине на рад постројења свео на минимум, технологије смањења потрошње воде за хлађење термоелектрана, планирање на локалном и регионалном нивоу како би се предупредили утицаји олуја и суша, побољшано предвиђање утицаја глобалног загревања на обновљиве изворе енергије на регионалним и локалним нивоима, као и стварање акционих планова и извештаја за очување и енергије и воде.

Данас се у свету од укупне потрошње воде на пиће односи 26%, а на хлађење 60–80%. Поуздано се може рећи да недостатак проточне расхладне воде представља лимитирајући фактор у изградњи нових и проширивању постојећих енергетских и индустријских капацитета и да ће се овај проблем, с обзиром на ограниченост водених ресурса у будућности постављати у све оштријем виду [1].

Када нема услова да се примени проточно, користи се повратно хлађење кондензатора термоенергетских постројења. Код овог начина хлађења условно се користи једна иста количина воде која је посредник при предаји топлоте од кондензатора атмосферском ваздуху. Системи за повратно хлађење могу се поделити на следећи начин:



При изградњи постројења разумљива је жеља инвеститора да су инвестиције у систем повратног хлађења што ниже. Због тога су температуре кондензације па тиме и притисак у кондензатору виши у поређењу са постројењима хлађеним проточном водом. Као резултат оваквог приступа у изградњи термоенергетских постројења имамо чињеницу да је степен искоришћења повратно хлађеног термоенергетског постројења за око 5% нижи од степена искоришћења адекватног повратно хлађеног постројења.

Због својих техничких карактеристика влажни расхладни торњеви са природном промајом су погодни за примену на базним блоковима веће снаге. Ограниченост расположивих терена на локацији чини примену ових торњева повољнијом од осталих система, нарочито у случају великих концентрација капацитета на једном месту. Њихове велике димензије могу их учинити естетски непожељним, али су еколошки (топлотно загађење атмосфере, бука) повољнији од базена и влажних расхладних торњева са принудном промајом. Количина воде која се на рачун испаравања губи чини око 1,5–3% количине воде потребне за хлађење, али ови торњеви имају, као правило, непогоднији вакуум, а цена произведеног kWh је за 2–5% (у зависности од цене горива) већа од цене kWh при проточном хлађењу. Због одсуства механичких и електричних компоненти врло високо су расположиви. Инвестициона улагања у влажне расхладне торњеве са природном промајом су релативно висока, 6–9 \$/kW. Експлоатациони трошкови су нижи, тако да су укупно повољнији за снаге изнад 150–200 MW.

Примена система за повратно хлађење у свету

Примена појединих система за хлађење кондензатора зависи од великог броја локалних чинилаца тако да је практично немогуће дефинисати једну усталену праксу за шири регион или географску ширину. Зато ћемо овде приказати праксу у појединим земљама, имајући у виду различите климатске услове, расположивост воде за хлађење, учешће термоелектрана (конвенционалних и нуклеарних) у укупној производњи електричне енергије, локалне географске услове и економске системе у појединим земљама.

Белџија

У Белгији се примењује и проточно и повратно хлађење. За проточно се користи вода из канала (мешовито морска и слатка вода), а за повратно хлађење се примењују влажни расхладни торњеви. Суви торњеви се не примењују.

Најчешће се примењују влажни расхладни торњеви са природном промајом, и за блокове мањих снага. За блок од 110 MW користи се торањ висине 75 m, пречника 69,5 m, а за блок од 130 MW висине 83,5 m, пречника 67 m. Торњеви су хиперблоидни са љуском од армираног бетона.

Бугарска

У Бугарској се примењује и проточно и повратно хлађење. За проточно хлађење користе речну воду. Нуклеарна електрана „Козлодуј” лоцирана је на Дунаву.

Расхладна језера користе се и за блокове већих снага. За један блок снаге 600 MW површина језера износи 5,45 km². Не планира се даља примена система повратног хлађења помоћу језера због неповољних природних услова и врло великих трошкова за откуп и припрему терена.

На већим термоелектранама у централном делу Бугарске примењује се повратни систем хлађења влажним расхладним торњевима са природном промајом.

Грчка

У Грчкој се примењује проточно хлађење коришћењем морске воде. За повратно хлађење користе се влажни расхладни торњеви. Расхладна језера, суви торњеви и комбиновани системи се не примењују.

Енглеска

У Енглеској се хлађење на већим електранама, нарочито нуклеарним, обавља проточно, морском водом. Значајно је и учешће повратног хлађења коришћењем влажних расхладних торњева са природном промајом. У примени су такође и суви расхладни торњеви и расхладна језера. Расхладно језеро за блок снаге 500 MW има површину од 4,5 km².

Типични влажни расхладни торањ са природном промајом је хиперболоидни. Гради се од армираног бетона, цевоводи су од азбестцемента са испуном од валовитог салонита или од пластичне масе. Димензије оваквог торња за термоелектрану од 660 MW су висина 160 m и пречник 110 m.

Суви расхладни торањ за блок од 120 MW има висину 107 m, пречник 99 m, проток воде 4,5 m³/s и остварује температуру кондензације 30,5 °C при температури ваздуха 11 °C.

Немачка

У свим случајевима када је могуће користи се проточно хлађење, и ради избегавања законских ограничења, примењује се и допунско хлађење (комбиновани расхладни систем). Законска ограничења су двојака. У неким покрајинама максимална дозвољена температура реке, после мешања са расхладном водом не сме прећи 28 °C, а у другим, максимално повећање температуре воде у реци износи 41 °C. Реално је очекивати даље поштравање ових ограничења.

У новијим постројењима углавном се користи повратно хлађење са влажним расхладним торњевима. Користе се и расхладна језера (углавном за допунско хлађење) као и суви расхладни торњеви (за постројења мање снаге).

Влажни расхладни торњеви са природном промајом имају релативно велики однос висине и пречника (1,3–1,6). Граде се од армираног бетона са испуном од дрвета, пластичних маса или азбеста. Типичне димензије за блок од 600 MW су: висина 160 m и пречник 100 m. Висина торња за блокове великих снага (1000 MW за конвенционалне и 1200 MW за нуклеарне електране) износи 180–200 m.

Италија

За проточно хлађење користе и морску и речну воду: средња температура речне воде је 16 °C, а морске 20 °C, па се може достићи вакуум од 0,048 бар при хлађењу речном, односно 0,052 бар при хлађењу морском водом.

За повратно хлађење користе се влажни расхладни торњеви са природном и принудном циркулацијом ваздуха.

Мађарска

Природни водени систем у Мађарској (реке Дунав и Тиса) омогућавају проточно хлађење и на великим термоенергетским постројењима. Међутим, за термоелектране на лигнит, лоцираним уз руднике, примењује се повратно хлађење влажним расхладним торњевима.

Температура кондензације при проточном хлађењу (за температуру расхладне воде 12 °C) износи 27 °C, а при повратном (температура воде 5–25 °C) 28–38 °C.

Пољска

Средњи протоци двеју највећих река (Висла и Одра) омогућују рад кондензационих термоелектрана великих снага (1000–1200 MW) са проточним хлађењем. И перспективни планови дају предност проточном хлађењу, до потпуног искоришћења капацитета река, водећи рачуна о ограничењима, по којима температура реке после мешања са расхладном водом не сме прећи 26 °C, а максимална температура воде на излазу из кондензатора не сме бити виша од 35 °C.

С обзиром на раст броја и снаге блокова термоелектрана значајно је учешће постројења са повратним хлађењем кондензатора. Највише су у примени влажни расхладни торњеви са природном промајом. Разматра се и примена сувих расхладних торњева (за термоелектране 2–200 MW), а примењује се и комбиновани систем (допунско хлађење обавља се торњевима са принудном промајом).

Типични расхладни торањ са природном промајом за блок снаге 200 MW има висину 100 m и пречник 79 m. Гради се од армираног бетона са испуном од равних салонитних или дрвених плоча или од саћа од пластичних материјала.

САД

Због експанзије електроенергетског система САД и поштрења законских ограничења у вези заштите од топлотног загађења река и језера, потребе за повратним хлађењем су веома порасле последњих година. Око 2/3 капацитета изграђених у последњих 20 година користи повратно хлађење. У примени су разни системи повратног хлађења: базени са распрскавањем, расхладна језера, суви и влажни расхладни торњеви.

Најмање 2/3 свих система за повратно хлађење односи се на влажне расхладне торњеве. Развој расхладних торњева (Ecodyne, Marley, Westinghouse и други) је усмерен на усавршавање њихових карактеристика, редуцију или елиминацију магљења, минимализацију потрошње воде и друго.

Уочљиво је велико учешће влажних торњева са принудном промајом, што значи да су они, за америчке услове, и поред релативно великих капацитета јединица, у укупним економским ефектима повољнији. Влажни торњеви са природном про-

мајом користе се за врло велике јединице (на пример, само један торањ висине 150 m за нуклеарну електрану „Trojan” снаге 1130 MW).

Русија

У Русији снага термоелектране на једној локацији износи 2000–4000 MW и више, што захтева 100–200 m³/s расхладне воде. Избор проточног хлађења, међутим, ограничавају природни услови и прописи о заштити околине. Данас најширу примену имају проточни систем, и повратни систем, хлађења расхладним језерима. Тамо где ти услови не постоје користе се влажни расхладни торњеви.

Користе се и природна и вештачка расхладна језера и углавном расхладни торњеви са природном промајом (вентилаторске торњеве демонтирају и замењују природним). Природни торњеви се граде од металног рама, покривеног алуминијумом са пластичном или азбестном испуном.

Француска

Проточно хлађење термоелектрана и нуклеарних електрана у Француској ограничено је прописом да температура речне воде после мешања са расхладном водом мора бити испод 30 °C, што у летњем периоду може довести и до искључивања неких блокова. Зато се примењује допунско хлађење, углавном расхладним торњевима. Расхладна језера избегавају се због високе цене земљишта.

Примењују се првенствено влажни расхладни торњеви са природном промајом и за мање термоелектране. Суви расхладни торњеви се не примењују.

Расхладни торњеви са природном промајом граде се од армираног бетона са испуном од салонита. Типичне димензије торња за блок од 200 MW су: висина 99 m и пречник 92/74 m. Примењују се испуне са филмском или капљичастом расподелом воде.

Чешка

На већим термоелектранама у Чешкој примењују се системи за повратно хлађење, због орографских, климатолошких и економских услова. За све нове и планиране електране предвиђено је повратно хлађење коришћењем влажних расхладних торњева. Не примењују се суви расхладни торњеви. У примени су торњеви са природном и принудном промајом. Већи блокови користе хиперболоидне торњеве са природном промајом.

Типичне димензије вентилаторског торња: за 110 MW (11 ћелија димензија 16,2 × 13,6 × 11,5 m) имају вентилаторе снаге 80 kW са пречником елисе 8 m. Типичан хиперболоидни расхладни торањ са природном промајом за блок од 200 MW има висину 100 m и пречник 75 m. Љуска се гради од армираног бетона, а испуна од равних салонитних плоча.

Србија

Термоелектране у Србији користе и проточно и повратно хлађење. За проточно хлађење користи се Дунав (ТЕ „Костолац“), Сава (ТЕ „Никола Тесла“, Обреновац) и Велика Морава (ТЕ „Морава“). Основни проблем је што су Сава и Велика Морава далеко (око 100 km) од Колубарско-Тамнавског угљеног басена чији лигнит електране користе.

Повратно хлађење се користи у ТЕ „Колубара А“ где су у примени вишећелијски вентилаторски влажни расхладни торњеви. Влажни расхладни торњеви користе се на Косову и Метохији, и то вентилаторски на ТЕ „Косово А“ и са природном промајом на ТЕ „Косово Б“.

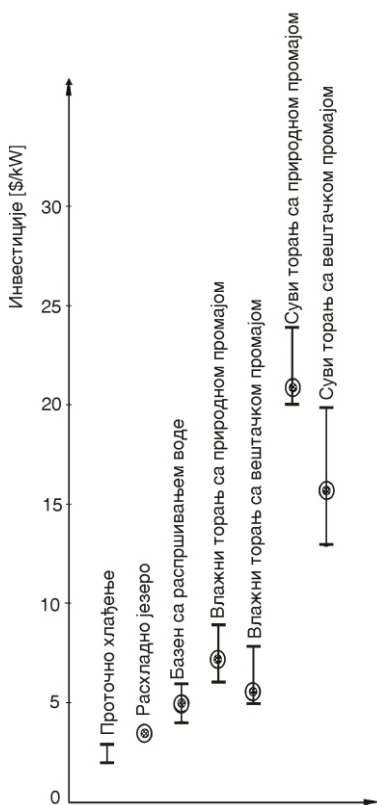
У плану је коришћење проточног хлађења у ТЕ „Никола Тесла Ц“, на блоку снаге 620 MW, коришћењем воде из реке Саве. Такође се планира и повратно хлађење ТЕ „Колубара Б“, снаге 2 350 MW применом влажног расхладног торња са природном промајом.

Из изложеног се види да је примена повратног хлађења коришћењем влажних расхладних торњева широко заступљена у савременом свету. Због више температуре кондензације у нашим орографским и климатским условима степен искоришћења повратно хлађеног постројења је за око 5% нижи од степена искоришћења аналогног проточно хлађеног постројења [2].

Поставка задатка

Речено је да је жеља инвеститора да расхладни систем буде што јефтинији. Због тога се он пројектује тако да температура расхладне воде на излазу из торња у летњем режиму износи 28–35 °C. Основни задатак овог рада је да се утврди да ли је избор параметара хладног краја и на основу њих пројектована опрема за повратно хлађење парног блока економски оправдан. На сл. 1. дат је преглед инвестиционих улагања у систем хлађења електрана.

Као референтни објекат за разматрање у оквиру овог рада узет је парни блок снаге 100 MW са температуром расхладне воде 28 °C. У циљу

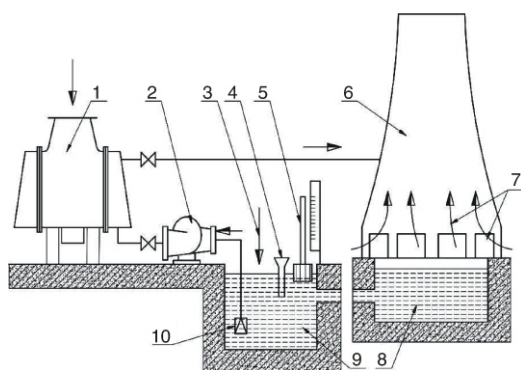


Слика 1. Специфична улагања у систем за повратно хлађење парног блока

Усвојено: језеро 3,5 \$/kW, базен са распршивањем 3,0 \$/kW, влажни торањ природна промаја 7,1 \$/kW, влажни торањ вештачка промаја 5,5 \$/kW, суви торањ природна промаја 21 \$/kW, суви торањ вештачка промаја 16 \$/kW

проучавања утицаја промене параметара атмосферског ваздуха на перформансе система за хлађење и промену притиска у кондензатору, разматран је поједностављен модел термоенергетског постројења са прегревањем паре.

Ради једноставности разматрања, систем за регенерацију топлоте, који се код реалних постројења састоји од 3–6 загрејача високог притиска и 1–3 загрејача ниског притиска, у овом примеру је представљен једним површинским загрејачем високог притиска и једним загрејачем са мешањем ниског притиска, без неког значајног губитка у веродостојности очекиваног понашања циклуса. Систем је каскадног типа. Такође због једноставности разматрања, коефицијенти пролаза топлоте сматрани су константним. Оваква упрошћена шема термоенергетског постројења приказана је на сл. 3.



Слика 2. Повратно хлађење кондензатора

(1) – кондензатор, (2) – циркуациона пумпа,
 (3) – дојунска вода, (4) – довод хлора,
 (5) – показатељ нивоа, (6) – расхладни торњак,
 (7) – атмосферски ваздух, (8) – сабирни базен,
 (9) – пријемни базен, (10) – пријемни вентил
 пумпе

аутори овог рада развили на Машинском факултету у Нишу [3, 4] дошли смо до резултата приказаних у табл. 1, где је прва варијанта постојеће стање, а друга варијанта са двоструко већим расхладним торњем. У табл. 1. дате су само основне вредности од интереса за даљу анализу, док су у табл. 2 приказани сви резултати нумеричке симулације рада расхладног торња за прву и другу варијанту.

Таблица 1. Температуре расхладне воде и притисак кондензације

Варијанта	t_{w1} [°C]	t_{w2} [°C]	p_k [бар]
I	37,5	27,16	0,074
II	37,5	24,22	0,060

Кондензатор наведеног постројења хлади се водом, која је претходно охлађена у одговарајућем расхладном торњу са природном циркулацијом, као што је приказано на сл. 2.

Основни задатак је да се утврди да ли је уштеда на висини инвестиција у расхладни систем економски оправдана. Идеја је била да се утврди како би се на енергетску ефикасност блока одразила замена постојећег расхладног торња двоструко већим. Остали чиниоци (атмосферски параметри, проток воде кроз кондензатор, сам кондензатор, снага постројења, коефицијент пролаза топлоте и масе) остали су непромењени.

Коришћењем изнетих елемената, применом програма који су ау-

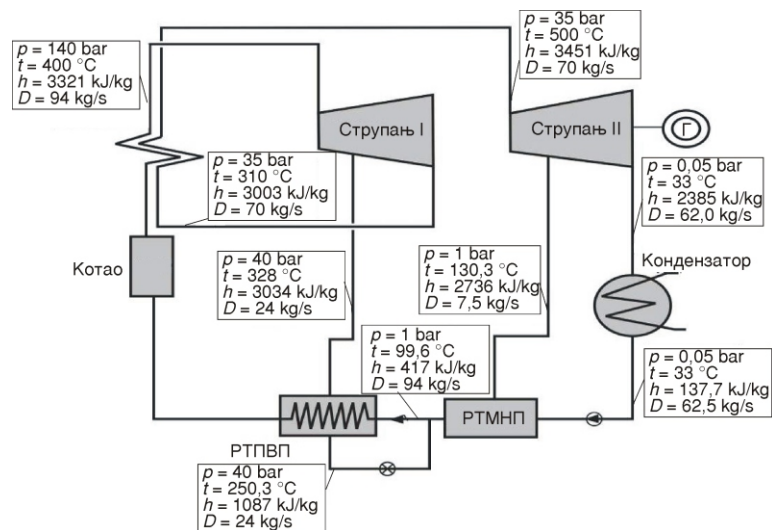
тори овог рада развили на Машинском факултету у Нишу [3, 4] дошли смо до резултата приказаних у табл. 1, где је прва варијанта постојеће стање, а друга варијанта са двоструко већим расхладним торњем. У табл. 1. дате су само основне вредности од интереса за даљу анализу, док су у табл. 2 приказани сви резултати нумеричке симулације рада расхладног торња за прву и другу варијанту.

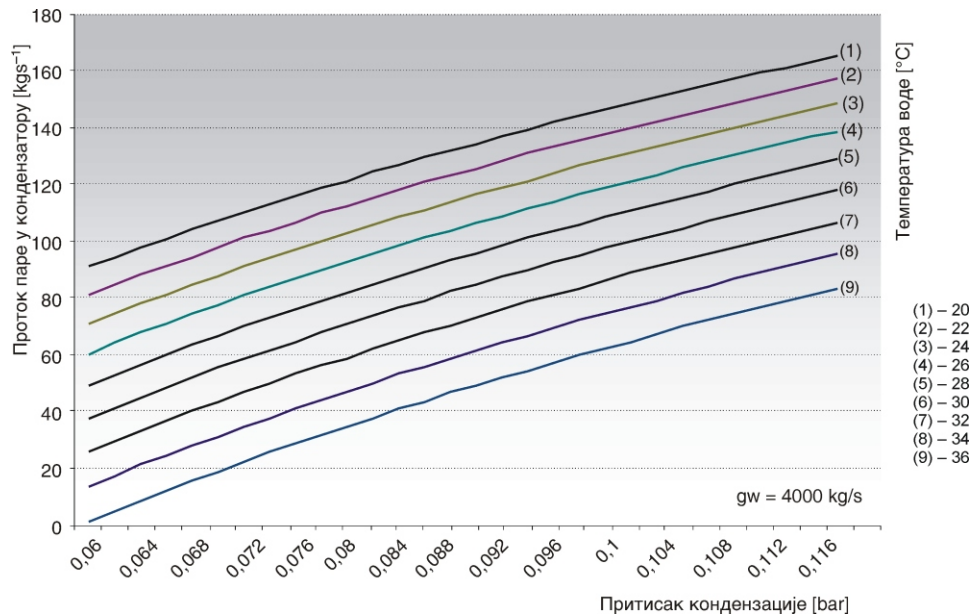
При овоме је притисак кондензације одређен из карактеристике кондензатора коју су аутори урадили и раније представили [5, 6]. На сл. 4. приказана је зависност притиска кондензације од температуре расхладне воде при различитим прото-

Таблица 2. Резултати нумеричке симулације

Улазни параметри	Варијанта I	Варијанта II
Висина испуне	1,80 m	1,80 m
Доток воде	4000 kg/s	2000 kg/s
Температура воде на улазу	37,50 °C	37,50 °C
Проток ваздуха	3600 kg/s	3600 kg/s
Температура ваздуха на улазу	25,8 °C	25,8 °C
Температура влажног термометра	22,00 °C	22,00 °C
Притисак ваздуха	1013,25 mbar	1013,25 mbar
Релативна влажност ваздуха	71,90%	71,90%
Апсолутна влажност ваздуха	015011 kg/kg	015011 kg/kg
Излазни параметри		
Размењена количина топлоте	Вода: 180196,067 kW Ваздух: 179980,294 kW	Вода: 115419,011 kW Ваздух: 115097,664 kW
Количина испарене воде	1,51%	1,97%
Температура охлађене воде	27,16 °C	24,22 °C
Распон хлађења	10,34 °C	13,28 °C
Температура излазног ваздуха	32,71 °C	29,66 °C
Релативна влажност ваздуха на излазу	99,41%	97,58%
Апсолутна влажност ваздуха на излазу	0,031744 kg/kg	0,025962 kg/kg
Енталпија излазног ваздуха	114197 J/kg	96174 J/kg

Слика 3.
 Упрошћена
 шема
 термоенергетског
 постројења
 које ради по
 Ранкиновом
 циклусу





Слика 4. Варијанта карактеристике кондензатора

цима паре кроз кондензатор. Са дијаграма на сл. 4 се могу очитати притисци кондензације за обе варијанте, варијанту пројектног режима и варијанте са двоструко већом површином расхладног торња.

Како се да уочити, притисак кондензације у другој варијанти је нижи за 1,4 kPa, што нас води директном закључку да ће и степен искоришћења постројења бити значајно побољшан уколико се на рачун повећања површине расхладног торња снизи температура расхладне воде кондензатора, при свим осталим непромењеним условима.

На основу прихваћеног става да промена притиска кондензације за 1 kPa изазива промену степена искоришћења од до 1,2% [7] закључили смо да замена постојећег расхладног торња двоструко већим доводи до повећања степена искоришћења за 1,4%.

Економска анализа предложене друге варијанте

У научно-стручној јавности је прихваћен став да је због више температуре кондензације степен искоришћења повратно хлађеног парног блока за око 5% нижи од степена искоришћења проточно хлађеног аналогног блока. Као што је у претходном излагању показано, заменом стандардног расхладног торња са природном циркулацијом двоструко већим торњем средњи годишњи степен искоришћења постројења повећаће се за најмање 1%.

При оцени економске оправданости овакве инвестиције коришћени су следећи елементи:

- номинална снага блока 100 MW,
- годишњи број сати рада 6000,
- степен временског искоришћења номиналне снаге 0,65,
- висина специфичних инвестиција у расхладни торањ са природном циркулацијом 9 €/kW,
- камата на уложена средства 6%, и
- цена произведене енергије на прагу електране 4 с€/kWh.

При овим условима је

- годишња производња енергије:

$$w = 0,65 \cdot 6000 \cdot 10^8 \cdot 10^3 = 390\,000\,000 \text{ kWh} \quad (1)$$

- допунска производња због повећања степена искоришћења за 1%

$$w = 0,01 w = 3\,900\,000 \text{ kWh} \quad (2)$$

- економски ефекат ове допунске производње

$$C = 0,04 \cdot 3,9 \cdot 10^6 = 156\,000 \text{ €} \quad (3)$$

- висина инвестиција у допунски торањ при топлотној снази торања 160 MW

$$T = 160000 \cdot 8 \cdot (1 + 0,06) = 1\,356\,800 \quad (4)$$

На основу ових елемената, период амортизације уложених средстава износи

$$t = T/C = 8 \text{ година} \quad (5)$$

Види се да је амортизациони период значајно мањи од истог за читаво постројење.

Закључак

Изнета оквирна анализа недвосмислено показује да је инвестициона уштеда при изградњи расхладних торањева контрапродуктивна. Са овим је у узрочно-последичној вези избор параметара хладног краја – притисак и температура кондензације. Да би се степен искоришћења повратно хлађеног парног блока приближио степену искоришћења проточно хлађеног парног блока неопходно је да пројектни притисак кондензације не буде већи од 0,06 бар. Овај циљ је применом стандардних расхладних торањева тешко остварив. То објашњава досадашњу праксу у избору притиска кондензације код оваквих блокова. Знатно рационалније решење је примена ефикаснијих расхладних торањева. О једном од таквих решења аутори су известили на Симпозијуму „Електране 2008”, одржаном у Врњачкој Бањи [8].

Испуна панелног расхладног торња има ширину канала између две суседне плоче 12–20 mm, због чега је површина преноса топлоте и масе значајно већа у односу на стандардне испуне, а режим струјања воде и ваздуха повољнији. Због тога панелни расхладни торњеви имају знатно мању висину зоне хладења воде у поређењу са торњевима који су данас у примени. То дозвољава нижи вакуум у кондензатору, па би се овако хлађени парни блок по карактеристикама приближио проточно хлађеном постројењу. Чињеница да инвестициони и експлоатациони трошкови нису већи него за конвенционални торањ такође препоручује овај тип торња за знатно ширу примену.

Право решење лежи у примени таквог торња у спрези са одговарајућим кондензатором. Аутори претпостављају да би се радило о нешто увећаном стандардном кондензатору. Колико би то увећање било утврдило би се оптимизацијом система расхладни торањ – кондензатор са циљном функцијом – притисак кондензације 0,06 бара.

Литература

- [1] Laković, S., Stojiljković, M., Laković, M., Today's Condition and the Future of the Cooling Towers, ASME-ZSIS International Thermal Science Seminar (*ITSS II Proceedings*), Bled Slovenia, June 13-16, 2004
- [2] Михајлов, Ј., Термоелектране, пројектовање и изградња, Техничка књига, Загреб, 1965.
- [3] Лаковић, М., Утицај услова рада хладног краја на енергетску ефикасност парног моно блока, Магистарски рад, Машински факултет у Нишу, Ниш, 2005.
- [4] Стефановић, В., Стефановић, В., Теоријско и експериментално истраживање локалног интензитета преноса топлоте и масе у испуни влажних расхладних торњева, Докторска дисертација, Машински факултет у Нишу, Ниш, 2000.
- [5] Laković, M., Laković, S., Mitrović, D., Simulation of the Conventional Power Plant Turbine-Condenser System, Simpozijum termičara Srbije, *Proceedings on CD-ROM*, Simterm 2007, Soko bawa, 2007.
- [6] Лаковић, С., Лаковић, М., Живковић, Д., Митровић, Д., Утицај димензија и услова рада кондензатора на енергетску ефикасност парног моноблока, *Зборник на компакт диск*, Симпозијум „Електране 2004”, Врњачка бања, 2004.
- [7] Truhnić, A. D., Losev, S. M., Stationary Steam Turbines, Energoizdat, Moscow, 1981
- [8] Лаковић, С., Лаковић, М., Перспектива примене панелног расхладног торња за хлађење термоелектране, *Зборник на компакт диск*, Симпозијум „Електране 2004”, Врњачка бања, 2008.

Abstract

**Rationality of Choice of Working Parameters and
Equipment for Power Plant Close-Cycle Cooling**

by

*Slobodan V. LAKOVIĆ**, *Mirjana S. LAKOVIĆ*,
Velimir P. STEFANOVIĆ, and *Mladen M. STOJILJKOVIĆ*

Faculty of Mechanical Engineering, University of Niš, Niš, Serbia

Efficiency coefficient of the steam power plant with closed-cycle cooling system is lower for about 5% than efficiency of the similar plant with once-through cooling system, due to higher cooling temperature in the closed-cycle cooling system. One of the reasons for higher cooling temperature is investor desire to decrease investments in cooling equipment (cooling towers, circulation pumps, pipelines). However, higher temperature of the cooling water leads to increase of the condensing pressure. Increased pressure in the condenser leads to decrease of energy efficiency of the plant. This way of savings in construction of thermal power plants in our country and the world is counterproductive.

In this paper, on the example of the reference 100 MW plant, it is shown that replacement of the selected cooling tower with twice larger one, leads to energy efficiency increasing, even with larger investments in building larger cooling tower.

Key words: cooling tower, working parameters, energy efficiency, investments

*Corresponding author; e-mail: lakovic@masfak.ni.ac.rs