3.08
5.06

Állapotfigyelés – erőművi kondenzátorok paramétereinek folyamatos ellenőrzése

Tárgyszavak: állapotfigyelés; cső; erőmű; kondenzátor; lerakódás.

Hőerőművek gőzfejlesztő rendszereiben a hőcserélők állapota nagymértékben befolyásolja az erőmű hatásfokát. Célszerű az adatok folyamatos ellenőrzésével, egyszerű táblázatkezelő számítógépprogrammal nyomon követni a hőcserélő rendszer állapotát, mert így a jellemző adatok romlása esetén, a hibák kijavításával jelentős költségeket lehet megtakarítani.

Kazánkő-lerakódások keletkezési mechanizmusai

Hűtővíz beszivárgása a gőzkörfolyamatba sok gondot okozhat. A tipikus hűtővizek keménységet okozó kalcium- és magnéziumionokat, továbbá, nátrium- és káliumionokat, ezeket kompenzáló bikarbonát-, klorid- és szulfátionokat tartalmaznak. A talajvizek általában nagyobb koncentrációban tartalmaznak oldott ionokat, míg a felszíni vizek általában lágyabbak, azonban gyakran tartalmaznak szuszpendált szilárd anyagokat, szerves vegyületeket és számos mikroorganizmust. További problémát jelent a szilícium-dioxid.

A fenti ionok közötti reakciók során keletkező sok vegyület a hőmérséklet emelkedésével kicsapódik; ilyenek a kalcium-karbonát és szilikátok. A hűtővíz hőmérséklete a kondenzátorban emelkedik, így fennáll a vízkőlerakódás veszélye. A nyitott recirkulációs (hűtőtornyos) rendszerekben a problémák még súlyosabbak lehetnek, mert itt a szennyezések koncentrációja függ a koncentrációs ciklusoktól. A foszfátalapú vízkő- vagy korróziógátló adalékok miatt ezekben a rendszerekben a kalcium-foszfát a fő vízkőképző anyag. A lerakódó vízkő hőátadási tulajdonságai nagyon rosszak, már nagyon vékony réteg is jelentősen csökkenti a kondenzátorban a hőátadást.

A vízoldali vízkőlerakódás oka gyakran a hűtővíz nem megfelelő mikrobiológiai kezelése. A csőfalakra rakódott mikrobák a lerakódás térfogatát növelő viszkózus védőréteget választanak ki. Ez a réteg iszapot és más törmeléket abszorbeál a hűtővízből, és így a hőátadást jelentősen rontó, lerakódott réteg egyre növekszik. Sok mikroba anyagcseréje során savak is keletkeznek, amelyek a lerakódás alatt megtapadva károsíthatják a cső anyagát.

Levegőtöbblet beszivárgása a kondenzátorba ugyancsak rontja a hőátadás mértékét. A rendszeren belüli erős vákuum szinte lehetetlenné teszi levegő beszivárgásának megakadályozását, azonban a legtöbb kondenzátoron van a kondenzátorba jutott gázokat eltávolító rendszer. Ha ez megfelelően működik, akkor a kondenzátumban az oldott oxigén koncentrációja nem haladja meg a 7 ppb értéket. A kondenzátor burkolatának sérülése vagy más mechanikai problémák azonban olyan jelentős levegőbetörést okozhatnak, amely meghaladja a gázeltávolító rendszer teljesítményét, és ilyen esetben a többletlevegő a hőátadást súlyosan akadályozó bevonatot hoz létre a kondenzátor csövein.

Vízkőlerakódás hatása

A lerakódások hatását egy erőmű példáján számítva kimutatható, hogy ha egy szokásos körülmények között működő erőmű teljesítménye 174 MW; a kondenzátor ellennyomása 6895 Pa (= $6{,}805 \times 10^{-2}$ atm = 1 psia). Ha a kondenzátor ellennyomása a hőátadás romlása miatt a kétszeresére (13 790 Pa = $13{,}61 \times 10^{-2}$ atm = 2 psia) nő, akkor az erőmű teljesítménye 10,3 MW-tal csökken. Látható, hogy a kondenzátor paramétereinek folytonos ellenőrzése rendkívül lényeges.

Ez az ellenőrzés több módon végezhető. A legegyszerűbb megoldás a kondenzátor ellennyomásának regisztrálása, és a jelentős változások figyelése.

Egy másik, szokásos módszer a hűtővíz bemeneti és kimeneti hőmérsékletének, valamint a kondenzált gőz hőmérsékletének regisztrálása. Ezeknek az értékeknek a változása, különösképpen a kondenzált gőz hőmérséklete és a hűtővíz kimeneti hőmérséklete különbségének megváltozása a kondenzátor jellemzőinek változására utal.

Az *1. táblázat* adatai egy kondenzátor gépnaplójából származnak. Az első oszlop adatainak felvételekor a csövek viszonylag tiszták voltak, a második oszlop adatainak leolvasásakor azonban mikrobiológiai lerakódásokkal szennyezetté váltak. A második oszlopban a nyári melege-

dés következtében magasabb a hűtővíz hőmérséklete. Már ez maga is hatással lenne a hűtővíz kimeneti hőmérsékletére, azonban a fontosabb jelenség a kondenzált gőz hőmérséklete és a hűtővíz kimeneti hőmérséklete különbségének megváltozása. Ez a különbség normális körülmények között alig változik, ebben az esetben azonban a lerakódások miatt csökkent hőátadás következtében jelentősen nőtt.

1. táblázat

Kondenzátor vizsgálati adatai

Dátum	**júl. 11.**	**aug. 16.**
Gépegység terhelése, MW	185,0	190,0
Belépő hűtővíz hőmérséklete, °C	26,7	31,38
Kilépő hűtővíz hőmérséklete, °C	35,56	41,39
Kondenzált gőz hőmérséklete, °C	41,11	53,33
Kondenzált gőz hőmérsékletének és a kilépő hűtővíz hőmérsékletének különbsége, K	5,55	11,94

Ugyancsak fontos a levegő beszivárgásának folyamatos ellenőrzése. Sok erőműben a kondenzátor légtelenítő csővezetékébe áramlásmérőt tartalmazó megkerülővezetéket iktatnak, amelynek mutatott értékét rendszeresen le kell olvasni, és össze kell hasonlítani ajánlott vagy normális üzemben meghatározott értékkel.

Folyamatos számítógépes ellenőrzés

A kondenzátor csöveiben keletkezett vízkő- vagy más lerakódás, levegő beszivárgása a rendszerbe vagy a hűtővíz áramlásának korlátozása a kondenzált gőz hőmérsékletének és a kilépő hűtővíz hőmérsékletének különbségét növeli. A kondenzátor jellemző adataival kapcsolatos problémák azonban rejtve maradhatnak, mert a csövek állapota sokszor csak folyamatosan változik. A változások követésére több számítógépprogram használható.

Ilyen program lépéseit a *2.* és a *3. táblázat* foglalja össze, egyszerűen elkészíthető jelentéslapot is tartalmazó táblázat formájában. A számításokhoz az alábbi, egyszerűen meghatározható adatok szükségesek:

2. táblázat

A kondenzátor paramétereit felügyelő táblázatkezelő programhoz szükséges számítások

Logaritmikus átlagos hőmérséklet-különbség a kondenzátorban: DTLM = (TOUT – TIN) LOG (TSAT - TIN)/(TSAT-TOUT)	(1)
Hőátadás a kondenzátorban: $Q = K_1 * FLOW * (TOUT – TIN)$	(2)
Aktuális hőátadási tényező: U_a = Q/(DTLM*[3,14159*(OD/12)]*L*NT	(3)
Hűtővíz lineáris sebessége: $V_L = (K_2*FLOW)/((3{,}141\ 59*(ID/24)^2)*(NT/NP))$	(4)
Ideális hőátadási tényező: $U_i = C* (V_L)^{0,5}$	(5)
Tervezési hőátadási tényező: $U_d = U_i$*CWCF*CTCF	(6)
Tisztasági tényező: $CF = (U_a/U_d)*100$	(7)
Megjegyzések: a (2) egyenletben szereplő K_1 állandó a víz sűrűségének, hőkapacitásának, térfogat-átszámítási tényezőjének és a 60 min/h értéknek a szorzata; A (4) egyenletben szereplő K_2 állandó a víz térfogat-átszámítási tényezőjének és a 60 s/min értéknek a szorzata	

- a hűtővíz sűrűsége,
- a hűtővíz hőkapacitása,
- a belépő hűtővíz hőmérséklete (TIN),
- a kilépő hűtővíz hőmérséklete (TOUT),
- a kondenzált gőz hőmérséklete (TSAT),
- a hűtővíz áramlási sebessége (FLOW),
- a hűtővíz korrekciós tényezője (CWCF, a 3. táblázatból),
- a kondenzátorcső korrekciós tényezője (CTCF, a 3. táblázatból),
- a (nem bedugaszolt) kondenzátorcsövek száma (NT),
- a csőátáramlások száma (NP),
- a cső belső átmérője (ID),
- a cső külső átmérője (OD),
- a cső hossza (L),
- C állandó (a 3. táblázatból).

3. táblázat

Alkalmazott korrekciós tényezők (CWCF)

T, °C	CWCF	T, °C	CWCF	T, °C	CWCF	T, °C	CWCF
0	0,574	10,0	0,810	20,0	0,986	30,0	1,063
0,56	0,586	10,6	0,822	20,6	0,993	30,6	1,066
1,11	0,601	11,1	0,833	21,1	1,000	31,1	1,069
1,67	0,615	11,7	0,844	21,7	1,005	31,7	1,072
2,22	0,628	12,2	0,855	22,2	1,010	32,2	1,075
2,78	0,641	12,8	0,865	22,8	1,015	32,8	1,078
3,33	0,655	13,3	0,875	23,3	1,020	33,3	1,080
3,89	0,668	13,9	0,885	23,9	1,025	33,9	1,083
4,44	0,683	14,4	0,895	24,4	1,029	34,4	1,085
5,00	0,694	15,0	0,905	25,0	1,033	35,0	1,088
5,56	0,707	15,6	0,915	25,6	1,037	35,6	1,090
6,11	0,720	16,1	0,925	26,1	1,041	36,1	1,092
6,67	0,733	16,7	0,934	26,7	1,045	36,7	1,095
7,22	0,747	17,2	0,942	27,2	1,048	37,2	1,097
7,78	0,760	17,8	0,951	27,8	1,051	37,8	1,100
8,33	0,772	18,3	0,960	28,3	1,054		
8,89	0,785	18,9	0,970	28,9	1,057		
9,44	0,797	19,4	0,978	29,4	1,060		

Kondenzátorcső korrekciós tényezője (CTCF)				**Korrekciós tényező (C)**	
Csőfal mérete, BWG				**Cső külső átmérője, mm**	**C**
Anyag	22	20	18	15,875 és 19,05	267
Tengerészbronz	1,04	1,02	1,00	22,225 és 25,4	263
90-10 Cu-Ni	0,97	0,94	0,90	28,575 és 31,75	259
70-30 Cu-Ni	0,90	0,87	0,82	34,925 és 38,1	255
304 és 316 SS	0,79	0,75	0,69	41,275 és 44,45	251
Titán	0,81	0,77	0,71	47,625 és 50,8	247

Mivel a kondenzátor csöveinek méretei állandók, a program egyszerűsíthető a csövek számára, hosszára, belső és külső átmérőjére, az átáramlások számára állandó értékeket felvéve. Mivel a víz sűrűsége a 4 °C…32 °C tartományban 0,5%-on belül állandó, így a számítások pontosságának jelentős romlása nélkül állandó értékűnek vehető. Ugyanez érvényes a hűtővíz hőkapacitására is. A hűtővíz korrekciós tényе-

zőjének, a kondenzátorcsövek korrekciós tényezőjének és a „C” korrekciós tényező megválasztásában a 3. táblázat nyújt segítséget. A „C” értéke és a kondenzátorcsövek korrekciós tényezőjének értéke adott kondenzátorra állandó, és így a programban változtatás nélkül használható.

A program ideális (U_i) hőátadási tényezőt számít, amelyet azután összehasonlít egy számított, tényleges (U_a) hőátadási tényezővel. Ennek az értéknek az inverzét százzal szorozva adódik a tisztasági tényező.

A kondenzátorcsöveken használatba vételük után gyorsan oxidréteg képződik. Ez a réteg korrózió ellen védi az alapfémet, azonban gátolja a hőátadást. Ezért az ásványi vagy mikrobiológiai lerakódásoktól mentes kondenzátor az ideális hőátadási tényezőnek csak kb. 85%-át éri el. 85% értékű tisztasági tényező lerakódások nélküli kondenzátorcsöveket jelez.

A program a kondenzátor jellemzőinek vízkövesedés, mikrobiológiai lerakódások vagy többletlevegő beszivárgása által okozott változásait érzékeli. Így például az 1. táblázatban vizsgált kondenzátornak az első oszlopban megadott adatai 70,3% értékű, a második oszlopban megadott adatai 43,7% értékű tisztasági tényezőnek felelnek meg. Ez összhangban volt a kondenzált gőz hőmérséklete és a kilépő hűtővíz hőmérséklete különbségének változásával, valamint a csövek használat előtti és utáni szemrevételezéses ellenőrzésének eredményeivel.

A programmal kapcsolatban lényeges a hőmérsékletek pontos mérése. Az irodalomban felmerült az, hogy a beáramló és a kiáramló hűtővíz a csövekben rétegeződhet, és így a cső falánál más hőmérséklet mérhető, mint a cső közepében. Ez ugyan befolyásolhatja az abszolút értékeket, a program azonban ennek ellenére eredményesen használható trendek azonosítására.

Az eredmények akkor a legpontosabbak és következetesek, ha a rendszer nagy teljesítménnyel működik. Ez kis változási trendek megfigyelését is lehetővé teszi. Amint azonban az egyik következő példában is látható, a program kis terhelésű működésnél is felismer problémákat.

Alkalmazások

A programot eredetileg három villamos erőmű kondenzátorainak felügyeletére alkalmazták ötéves időtartamra. Az eredmények kezdeti bemutatása után a programot más szolgáltatók is átvették.

1. példa. Egy energiaszolgáltató legnagyobb, 395 t/h teljesítményű kondenzátorát hetenként háromszor vizsgálták. A mért értékek több hónapig egyenletesen 70% és 80% között voltak, majd hirtelen 45%-ra csökkentek. Vízoldali kazánkő- vagy más lerakódások csak ritkán okoznak ilyen gyors változásokat. Ilyen drasztikus változások inkább többletlevegőszivárgást jeleznek.

A karbantartó személyzet átvizsgálta a kondenzátort, és a kondenzátor köpenyén, egy cső bevezetésénél repedést fedeztek fel. Ezt a repedést elzárva a tisztasági tényezők korábbi értékükre tértek vissza, majd két hónap múlva ismét hirtelen csökkentek. A repedés elzárása hibás volt. Ezután a karbantartók a repedést teljesen elzáró karimát hegesztettek a bevezető cső köré, és ezzel megoldották a problémát.

2. példa. Egy másik esetben két, 216 t/h teljesítményű kondenzátort hetenként háromszor leolvasva kedvező értékeket kaptak. Egyszerre csak az egyik kondenzátor rendszertelenül kezdett viselkedni. A tisztasági tényező teljes terhelésen 70% és 75% közé esett, kis terheléseken azonban 18%-ra csökkent. Ilyen ingadozások sem lehetnek vízoldali szennyeződés következményei.

Tömítésvizsgáló vállalkozást kértek fel rések felderítésére, amelyeken át levegő szivároghat be. Az ellenőrök héliumos lyukkeresőt használtak a kondenzátor és a turbina kisnyomású oldalának teljes átvizsgálására. Egy tucatnál is több, nagy-, közepes és kisméretű lyukat fedeztek fel, köztük két nagy lyukat is. Az egyik a turbina kiömlőcsöve és a kondenzátor közötti, hőtágulást kiegyenlítő csatlakozásnál volt. A karbantartók valamennyi szivárgási helyet javították, de ez nem oldotta meg a problémát.

Végül az egyik dolgozó fedezte fel, hogy a fáradt gőzt a főkondenzátorhoz vezető vezeték tömszelencéjén levő elzárószelep kis terheléseken nyitott állapotban beragadt. A szerelvényen nem kondenzálódó gázok kiengedésére szolgáló kivezetőnyílás is volt. Amikor az elzárószelep nyitott állapotban beragadt, akkor a főkondenzátorban levő nagy vákuum kívülről levegőt szívott be a nyíláson keresztül. A kondenzátorral kapcsolatos probléma megszűnt, miután a karbantartók kicserélték az elzárószelepet.

3. példa. Az 1. példában említett, 395 t/h teljesítményű kondenzátor tíz éve működik, azonban vízkő okozta problémák még soha nem léptek fel. Ez egyszeri átáramlásos kondenzátor, és a hűtővíz egy tóból származik. Egy nagyon száraz nyáron a tó vízmennyisége drámai mértékben csökkent, és a vegyészek kiszámították, hogy a tó vizében a normális értékek négyszeresére nőtt az oldott szilárd anyagok mennyisége.

Azonban senki sem számított arra, hogy kazánkő képződhet. A nyár folyamán a tisztasági tényező lassan, de szemmel láthatóan kb. 80%-ról 45%-ra csökkent. Az egység őszi leállásakor a vizsgálócsoport azt találta, hogy a csövek vízoldali felületét 1 mm-nél vékonyabb kalcium-karbonát-réteg teljesen befedte. A lerakódás a szárazság közvetlen következménye volt.

A program hasonló adatokat generál, ha a kondenzátor csövein mikrobiológiai eredetű lerakódások gyűlnek össze, így a program nagyon hasznos lehet ezek keletkezése kezdetének detektálására és lökésszerű klóros kezelések tervezésére. Tudni kell azonban azt, hogy ha már egyszer mikrobiológiai telepek jöttek létre, akkor lökésszerű klóros kezeléssel nem lehet mindig teljesen megtisztítani a csöveket. A 395 t/h teljesítményű kondenzátor tisztasági tényezője az egyik évben a kora tavaszi 80% körüli értékről a nyár kezdetére 40%-ra csökkent. Régebbi tapasztalatok mikrobiológiai szennyeződésre utaltak, és ez be is bizonyosodott. A karbantartók a nyár közepén lökésszerű klórozással kezelték a kondenzátort, azonban ennek hatására a tisztasági tényező csak kb. 65%-ra nőtt. Amikor a karbantartók az őszi leálláskor megnyitották a kondenzátort, az iszapszerű lerakódás még szemmel látható volt. A karbantartóknak mechanikai módszerrel le kellett kaparniuk a kondenzátor csöveit, hogy helyreállítsák az optimális körülményeket. Ez igazolta a mikrobiológiai lerakódások szívós jellegét.

Összeállította: Pálinkás János

Buecker, B.: Track condenser performance. = Chemical Engineering Progress, 99. k. 2. sz. 2003. p. 40–43.

Mantzavinos, D.; Hodgkiess, T.; Lai, S. I. C.: Corrosion of condenser tube materials in distilled water. = Desalination, 138. k. 1–3. sz. 2001. szept. 20. p. 365–370.

Paquin, P. R.; Santore, R. C. stb.: Revisiting the aquatic impacts of copper discharged by water-cooled copper alloy condensers used by power and desalinations plants. = Environmental Science & Policy, 3. k. 1. sz. 2000. szept. 1. p. 165–174.

Muñoz, A.; Sanz-Bodi, M. A.: An incipient fault detection system based on the probabilistic radial basis function network: Application to the diagnosis of the condenser of a coal power plant. = Neurocomputing, 23. k. 1–3. sz. 1998. dec. p. 177–194.