

IES LARNING PAST POTENSIALLI ISSIQLIK OQIMLARINI ISSIQLIK NASOSLARI ORQALI UTILIZATSIYALASH USULLARI TAHLILI

Soxibova Maftuna Toxir qizi

Annotatsiya. Issiqlik elektr stansiyalari (IES) – qiyin va ko‘p komponentli tizim hisoblanib, ko‘p sonli osttizim va qurilmalardan tashkil topgan. IESni loyihalash va ekspluatatsiya qilishda bir nechta qurilmalarga yetarlicha e‘tibor qaratilmaydi, ularning issiqlik yo‘qotishlari tabiiy sanaladi. Bunday qurilma va tizimlarga IESning turbogeneratorlari va transformatorlarini, turbina va turbogenerator vali podshipniklarini moylash tizimi, qozonni uzluksiz puflab tozalash tizimini kiritish mumkin. Ko‘pgina ishchi jismlar, masalan turbinada ishlatib bo‘lingan bug‘ bilan issiqlik yo‘qotilishi, yo‘qotilayotgan issiqlik potensialini past ekanligi sababli inobatga olinmaydi, lekin past potensialli issiqlik yo‘qotilishlarining mavjudligi hisobiga IESning energetik samaradorligi sezilarli pasayadi.

Kalit so‘zlar. Issiqlik elektr stansiya, turbogenerator, transformator, turbina, podshipnik, moylash tizimi, energetik samaradorligi.

Аннотация. Тепловые электростанции (ТЭС) - сложная и многокомпонентная система, состоящая из множества подсистем и устройств. При проектировании и эксплуатации ТЭС не уделяется достаточного внимания нескольким установкам, потери их тепла считаются естественными. К таким устройствам и системам относятся системы смазки турбогенераторов и трансформаторов ТЭС, подшипников турбин и валов турбогенераторов, системы непрерывной продувки котлов. Потери тепла со многими рабочими телами, такими как отработанный пар в турбине, не учитываются из-за низкого теплового потенциала потерь, но энергетическая эффективность ТЭС значительно снижается из-за наличия низкопотенциальных потерь тепла.

Ключевые слова. тепловая электростанция, турбогенератор, трансформатор, турбина, подшипник, система смазки, энергетическая эффективность.

Abstract. Thermal power plants (TPPs) are complex and multi-component systems, consisting of a large number of subsystems and devices. In the design and operation of thermal power plants, insufficient attention is paid to several devices, and their heat losses are considered natural. Such devices and systems include turbogenerators and transformers of thermal power plants, lubrication systems for turbine and turbogenerator shaft bearings, and continuous boiler purging systems. Heat losses with many working bodies, for example, spent steam in a turbine, are not taken into account due to the low potential of heat losses, but the energy efficiency of a

thermal power plant is significantly reduced due to the presence of low potential heat losses.

Keywords. Thermal power plant, turbogenerator, transformer, turbine, bearing, lubrication system, energy efficiency.

Kirish. Hozirgi vaqtda IESlarda yoqilg'i-energetik resurslarini tejash muammosi dolzarb masalalardan biri hisoblanadi. IESlarning tarmoq qizdirgichlariga uzatiladigan qaytish tarmoq suvining harorati IES sikliga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Qaytish tarmoq suvining haroratini mumkin bo'lgan minimal haroratgacha pasayishi issiqlik iste'molida elektr energiyasini ishlab chiqarishni oshiradi, ya'ni qaytish suvining issiqligi foydali ishlatiladi, masalan issiqlik nasoslari yordamida [16-18]. Issiqlik iste'molida elektr energiyasini solishtirma ishlab chiqarish teplofikatsion rejimda ishlayotgan turbina qurilmasining takomillashganligini xarakterlaydi. Isitish otborlaridan qanchalik ko'p foydalanilsa, kondensatorga uzatilayotgan bug' miqdori shuncha kam bo'ladi, natijada IES siklida yoqilg'gan yoqilg'ining issiqlik energiyasidan foydalanish darajasi ham shuncha yuqori bo'ladi.

Ko'pgina yirik markazlashtirilgan issiqlik ta'minoti tizimlari IESlarga ulangan bo'lib, IESlarda dunyodagi elektr energiya taxminan 75% ishlab chiqariladi [19]. Yoqilg'i-energetika resurslari narxlarini doimiy ortib borishi resurslardan oqilona foydalanish yo'llarini izlash va IESlarning sxemalarini takomillashtirishni taqozo etmoqda.

IESlarning teplofikatsion qurilmalarini ishlash rejimlarini aniqlovchi uchta asosiy parametr mavjud: tarmoq suvining sarfi G , uzatish τ_{01} va qaytish τ_{02} tarmoq suvlarining haroratlari. Birinchi ikkita parametrlarning talab etilgan qiymatlarini ta'minlash IESning boshqaruv tizimi tomonidan ta'minlanadi. Qaytish tarmoq suvining harorati boshqarilmaydigan parametr hisoblanadi va abarcha issiqlik ta'minoti tizimlarining ishlash rejimidan aniqlanadi.

Har bir G , τ_{01} va τ_{02} parametrlarni o'zgarishi har ikkala isitish otborlaridagi bosimni o'zgarishiga va otborlar orasidagi yuklamani notekis taqsimlanishiga olib keladi, bu eas o'z navbatida bug' turbina qurilmasining issiqlik yuklamasiga va issiqlik iste'molida elektr energiyasini solishtirma ishlab chiqarishga sezilarli ta'sir ko'rsatadi [20].

IESga qaytayotgan tarmoq suvining haroratini ortishi teplofikatsion otborlardagi bosimni ortishiga olib keladi. Isitish yuklamasi uchun otbordagi bosimni minimal bo'lishi asosiy tarmoq qizdirgichlarida tarmoq suvini qizdirishning boshlang'ich haroratidan, suvni qizdirish haroratida, otborni uzatish quvuridagi yo'qotilishdan va issiqlik almashinuv qurilmasida chala qizishdan aniqlanadi. Turbina elektrik grafik bo'yicha ishlaganda teplofikatsion otbordagi issiqlik yuklamasini kamayishi past bosim pog'ona orqali o'tayotgan bug' miqdori ortadi, natijada turbina qurilmasining

tejamkorligi va energetik samaradorligi kamayadi.

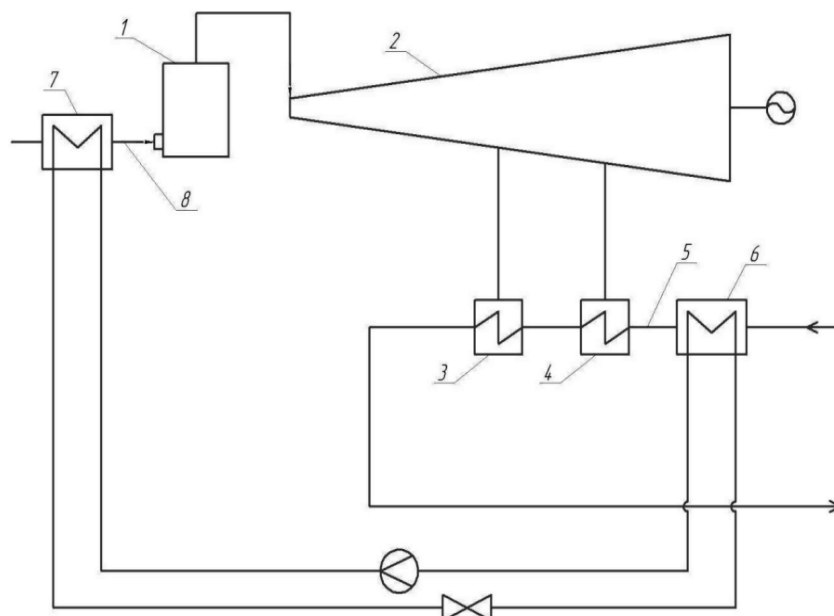
IESlarning energetik samaradorligini oshirish yoʻnalishlaridan biri issiqlik isteʼmolida elektr energiyasi ishlab chiqarish ulushini oshirishga, kondensatorida yoʻqotilishni kamaytirishga va harakatdagi stansiyaning issiqlik sxemasini modernizatsiyalashga koʻp investitsiya talab etmaydigan yuqori tejamkor texnologiyalarni ishlab chiqish hisoblanadi.

Ushbu masalani eng qulay yechimlaridan biri IES sxemalarida issiqlik nasosi qurilmalaridan (INQ) foydalanish hisoblanadi. INQ – bu issiqlik transformatori boʻlib, bugʻlatgich, kompressor, drosselovchi ventil va kondensator moslamalaridan tashkil topgan. Ushbu qurilmalar issiqlik energiyasini past potensialli manbadan yuqori potensialli issiqlik energiyasi isteʼmolchilariga uzatish vazifasini bajaradi [21, 22]. Issiqlik nasoslari IESlarda ishlatilganda IESlarning samaradorligini sezilarli darjada oshiradi [23].

Quyida keltirilgan IES sxemasida (1.2-rasm) issiqlik nasoslarini qoʻllash qaytish tarmoq suvini turbinaning pastki tarmoq qizdirgichlaridan oldin haroratini oshirish va qozon gorelkasida yoqilgʻini yoqish uchun uzatiladigan havoni qizdirishga issiqlik sarfini kamayishini taʼminlaydi [24].

Keltirilgan sxemaga muvofiq, qozonda ishlab chiqarilgan bugʻ teplofikatsion turbinaga kiritiladi, keyin bugʻ turbinaning isitish otborlari orqali tarmoq suvini qizdirgichlariga uzatiladi. Isteʼmolchidan qaytayotgan tarmoq suvi teplofikatsion turbinaning isitish otborlari yordami yuqori va quyi qizdirgichlarda qizdiriladi.

INQ bugʻlatgichi quyi tarmoq qizdirgichidan oldin tarmoq suvini qaytish uzatish quvuriga ulangan. Unda tarmoq suvini sovitish amalga oshiriladi. INQ kondensatorida esa INQ bugʻlatgichida olingan issiqlik hisobiga qozon oʻtxonasiga uzatilayotgan havo 90°C gacha qizdiriladi. Natijada dastlab bugʻ-havoli kaloriferda havoni qizdirishga sarflangan issiqlik qaytish tarmoq suvining issiqligidan qoplanadi, shuningdek qaytish tarmoq suvining haroratini pasayishi issiqlik isteʼmolida elektr energiyasi ishlab chiqarilishini ortishiga olib keladi. Demak qurilmaning FIK ortadi va IESning ishlash tejamkorligi ham ortadi. Maʼlumki qaytish tarmoq suvining haroratini 1°C ga pasayganda issiqlik isteʼmolida elektr energiyasini ishlab chiqarish oʻrtacha 2-2,5% gacha ortadi [25].

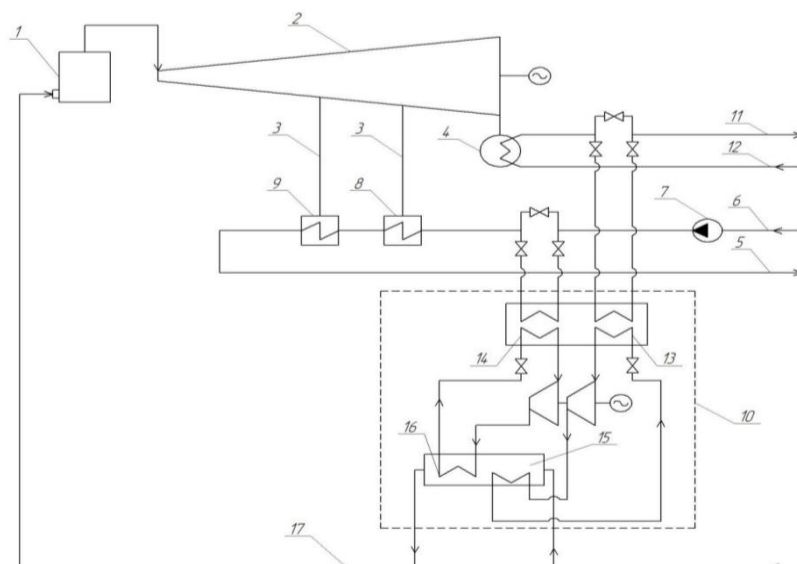


1.1-rasm. INQ yordamida qaytish tarmoq suvi havo bilan qizdiriluvchi issiqlik elektr stansiyasining sxemasi:

1-qozon; 2-teplofikatsion turbina; 3, 4-yuqori va quyi tarmoq qizdirgichlari; 5-tarmoq suvini uzatish quvuri; 6-INQ bug‘latgichi; 7-INQ kondensatori; 8-havo uzatish quvuri.

IESda ikki pog‘onali INQlaridan foydalanish texnologiyasi ham mavjud bo‘lib (1.3-rasm), uning birinchi pog‘onasi sirkulyatsiyalanuvchi suvning uzatish quvuri bilan ulangan, ikkinchi pog‘onasi esa qaytish suvining uzatish quvuri bilan ulangan. Bu nafaqat tarmoq suvining haroratini quyi tarmoq qizdirgichidan oldin pasayishini ta‘minlaydi, balki issiqlik iste‘molida elektr energiyasi ishlab chiqarishni ortishiga olib keladi.

IESlarda bug‘ turbina kondensatorini va boshqa agregatlarni sovitish uchun xizmat qiladigan sirkulyatsiyalanuvchi suv past potentsialli issiqlikning katta manbai bo‘lib xizmat qiladi. Sirkulyatsiyalanuvchi suv qabul qilgan issiqlik yoki gradirnyada yoki purkagich-sovitgichlarda atrof-muhitga tashlab yuboriladi, bu katta issiqlik yo‘qotilishiga sabab bo‘ladi. Sirkulyatsiyalanuvchi suvning issiqligidan stansiya ehtiyojlari uchun to‘g‘ridan-to‘g‘ri foydalanishni imkoniyati yo‘q, buning sababi suvning haroratini pastligi hisoblanadi (yozda 30-32°C, qishda 10-15°C) [26-28]. Ushbu muammoni yechishning imkoniyati va IESning energetik samaradorligini oshirishning asosiy zahirasi issiqlik nasoslarini qo‘llash hisoblanadi (1.3-rasm).



1.2-rasm. Havoni dastlabki qizdirish uchun ikki pog'onali INQ qo'llanilgan IES sxemasi:

1-qozon; 2-teplofikatsion turbina; 3-bug'ning isitish otborlari; 4-turbina kondensatori; 5, 6-uzatish va qaytish tarmoq uzatish quvurlari; 7-tarmoq nasosi; 8, 9-quyi va yuqori tarmoq qizdirgichlari; 10-INQ;

11, 12-sirkulyatsiyalanuvchi suvni bosimli va to'kish uzatish quvurlari;

13-INQ bug'latgichining birinchi pog'onasi; 14-INQ bug'latgichning ikkinchi pog'onasi; 15-INQ kondensatorining birinchi pog'onasi; 16-INQ kondensatorining ikkinchi pog'onasi; 17-havo uzatish quvuri.

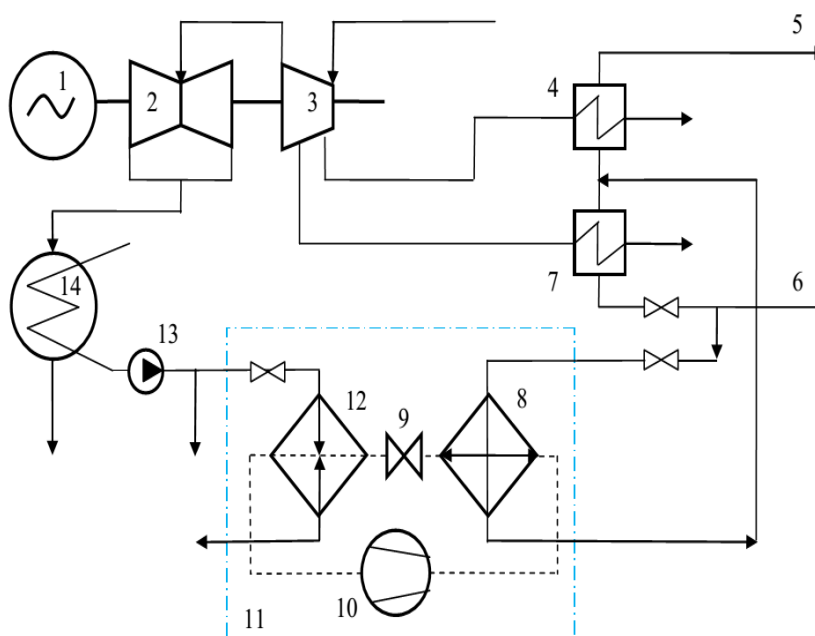
O'tgan asrning 70-yillaridan boshlab IESlar o'zining termodinamik takomillashganlik chegarasiga yetib kelib ishlay boshladi, bunday chegaralanishning asosiy sababi jihozlarni tayyorlashda materiallar xususiyatini cheklanganligi bilan baholandi. Keyingi vazifa esa IESning texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarini oshirish uchun yangi noan'anaviy yo'llarni qidirish zaruriyati edi. Ushbu vazifaning yechimlaridan biri tashlab yuborilayotgan past haroratli oqimlarning energetik potensialini regeneratsiya qilishda INQlaridan foydalanish hisoblanadi.

Ma'lumki, IESning iqtisodiy samaradorligini baholashda bug' turbinasining kondensatorida issiqlik yo'qotilishi eng ahamiyatli hisoblanadi. Suv sirkulyatsiyalanuvchi kondensatsion IESlarda atrof-muhitga turbina qurilmasi umumiy issiqligining 60-70% qismi tashlab yuboriladi. Teplofikatsion turbinalarning kondensatorlaridagi yo'qotilish ishlash rejimi va grafigiga bog'liq holda 20-60% ni tashkil etadi.

Elektr generatorini, podshipnik moylarini va rostlash tizimini sovitishda olingan issiqlikning harorat darajasi past bo'lganligi sababli, ushbu issiqlik atrof-muhitga tashlab yuboriladi. Elektr energiyasi va issiqlik energiyasini bitta siklda ishlab chiqaruvchi issiqlik elektr markazlari (IEM) yoqilg'ining issiqligidan foydalanish nuqtai nazaridan ancha samarali hisoblanadi.

INQsini joriy etishning issiqlik va texnologik sxemasini ishlab chiqishda turbina kondensatoridan chiqqan sirkulyatsiyalanuvchi suvning tashlandiq issiqligidan qo'shimcha suvni yoki qaytish uzatish quvuridan kelayotgan tarmoq suvini pog'onali qizdirishda foydalanish istiqbolli hisoblanadi. Bug' turbinasi kondensatoridan chiqqan sirkulyatsiyalanuvchi suvning tashlandiq issiqligini utilizatsiya qilish va uni qaytish uzatish quvuridagi tarmoq suviga uzatish sxemasi 1.4-rasmda ko'rsatilgan.

Sirkulyatsiyalanuvchi suvning tashlandiq issiqligi INQning bug'latgichiga uzatiladi, INQda o'zgartirilgan energiya INQ kondensatori orqali qaytish tarmoq suviga uzatiladi. [29] da keltirilgan metodika bo'yicha baholangan hisoblashlar natijasida quyidagiga erishilgan: qish vaqtida uchta blokga minimal harorati 14°C bo'lgan sirkulyatsiyalanuvchi suv sarfi 30000 t/soat bo'lganda va suv 2°C ga sovitilganda iNQ bug'latgichgida tejab qolingani issiqlik 88 Gkal/soat ni tashkil etadi. Agar bu issiqlik tarmoq suviga uzatilsa 12,6 t.sh.yo/soat tejab qolinishiga erishish mumkin.



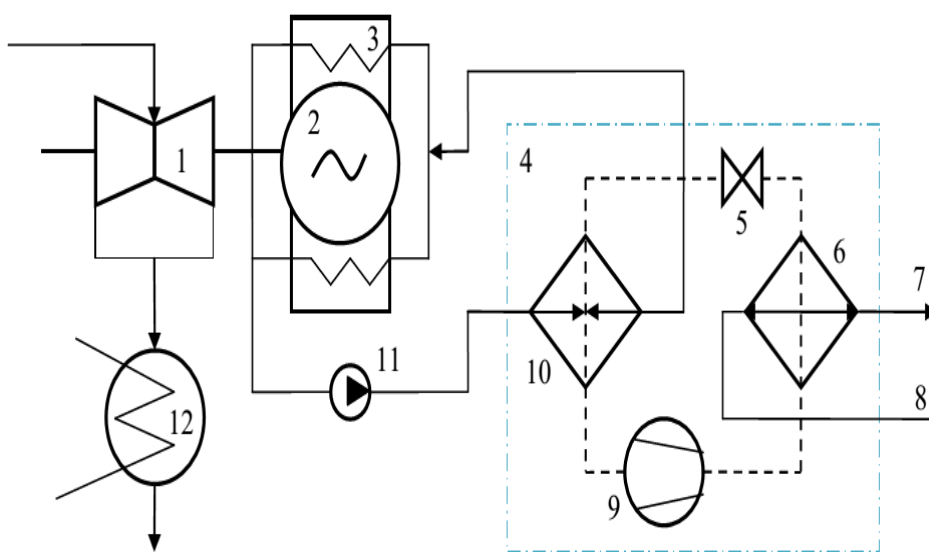
1.3-rasm. IEMda tarmoq suvini qizdirish uchun INQsidan foydalanishning prinsipial sxemasi:

1-blokning elektr generatori; 2-turbina YUBS; 3-turbina O'BS; 4-2-chi pog'ona tarmoq qizdirgichi; 5-iste'molchiga qaynoq tarmoq suvni uzatilishi; 6-iste'molchidan qaytgan sovuq tarmoq suvi; 7-1-chi pog'ona tarmoq qizdirgichi; 8-INQ kondensatori; 9-INQ termorostlovchi ventili; 10-INQ kompressori; 11-issiqlik nasosi; 12-INQ bug'latgichi; 13-sirkulyatsion nasos; 14-turbina kondensatori.

Shuningdek stansiyaning energetik jihozlarini sovitishda olib ketilgan tashlandiq issiqlikni utilizatsiyalash imkoniyati ham mavjud. 1.3-rasmda turboelektrogeneratorni cho'lg'ami va metalini sovitishda olib ketilgan issiqlikni qo'shimcha kimyoviy

tozalangan suvni qizdirish uchun regeneratsiya qilish sxemasi ko'rsatilgan.

"Mosenergo" OAJ TETS-28 da energetikada INQlarini qo'llash sxemalarini aprobatsiyasi bo'yicha laboratoriya stendi ishlab chiqilgan [30]. INQ uchun past potentsialli energiya manbai sifatida turbina kondensatoridan chiqqan sirkulyatsiyalanuvchi suvning issiqligidan foydalanilgan. Sinov ishlari muvaffaqiyatli o'tgan bo'lib, Kiyev shahridagi TETS-5 da umumiy quvvati 5 MVt bo'lgan INQ o'rnatilgan. Bunda bug' turbina kondensatorini sovituvchi sirkulyatsiyalanuvchi suvning past potentsialli issiqligidan foydalanilgan [31]. Mualliflarning ma'lumotiga ko'ra qo'shimcha 200 Gkal/soat issiqlik ishlab chiqarilgan.



1.4-rasm. Elektrogeneratorni sovitishda olib ketilgan issiqlikni utilizatsiya qilishda INQsidan foydalanishning prinsipial sxemasi:

1-trubinaning YUBS; 2-blokning elektrogeneratori; 3-elektrogeneratorni sovitish tizimi; 4-issiqlik nasosi; 5-INQning termorostlovchi ventili;

6-INQ kondensatori; 7-qizdirilgan qo'shimcha suv; 8-sovuq qo'shimcha suv;

9-INQ kompressori; 10-INQ bug'latgichi; 11-elektrogeneratorni sovitish tizimining issiqlik tashuvchisi; 12-turbina kondensatori.

IESning termodinamik samaradorligi birinchi o'rinda siklning termik FIKdan, u esa boshlang'ich va oxirgi parametrlardan aniqlanadi. Oxirgi parametrlar kondensatordagi bosimga bog'liq bo'lib, hozirgi kunda kondensatordagi bosim 3 dan 7 kPa gacha va ta'minot suvining kondensatordan chiqishdagi harorati 20-32°C.

Amaliyotdan ma'lum bo'lishicha ta'minot suvining haroratini ortishi bilan termik FIK dastlab ortadi, keyin esa pasayishni boshlaydi, demak suvning optimal harorti mavjud. Ta'minot suvini regenerativ qizdirishda regenerativ kondensatsion siklning eng yuqori FIK ga mos keluvchi harorat ta'minot suvining nazariy eng qulay harorati deb ataladi. Suvni pog'onali regenerativ qizdirishda nazariy eng yaxshi harorat bug'ning boshlang'ich parametrlariga (boshlang'ich bosim) va qizdirish pog'onasining

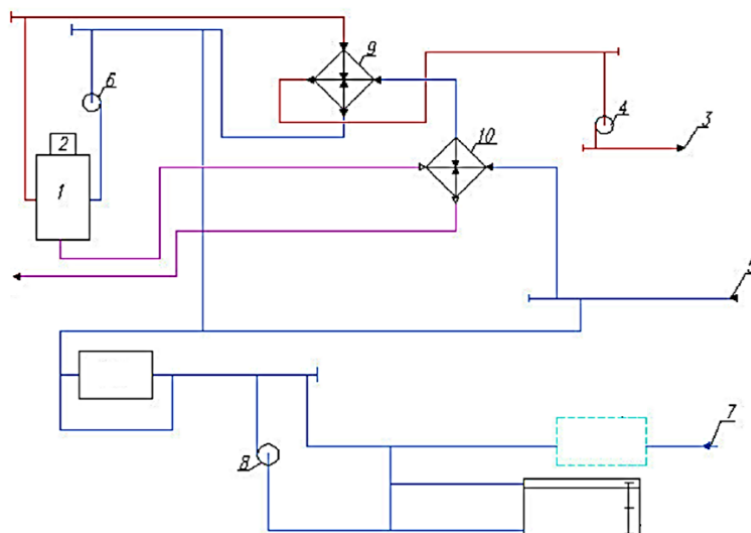
soniga bog'liq.

Turbina qurilmasini ekspluatatsiya qilishda ta'minot suvining tavsiya etilgan harorati qurilma pasportida ko'rsatiladi, biroq ekspluatatsiya jarayonida haqiqiy optimal harorat pasportdagi haroratdan anchagina farq qiladi. K-300-235 turbina qurilmasining asosiy parametrlarini ta'minot suvining haroratiga bog'liqligini hisoblash natijalari tahlili shuni ko'rsatdiki, ta'minot suvining haroratini ortishi elektr energiyasini ishlab chiqarish bo'yicha FIKni biroz ortishiga olib keldi, masalan ta'minot suvining harorati 275°C bo'lganda elektr energiyasini ishlab chiqarish bo'yicha FIK 0,473, harorat 278°C bo'lganda 0,475 ni tashkil etdi, ya'ni elektr energiyasini ishlab chiqarish bo'yicha FIKni ortishini nisbiy qiymati 0,42% ga teng bo'ldi. Ta'minot suvining haroratini yanada ortishi FIKni pasayishiga olib keldi. Misol uchun ta'minot suvining harorati 295°C gacha oshganda elektr energiyasini ishlab chiqarish bo'yicha FIK 0,466 ni tashkil etdi. Ta'minot suvining haroratini pasportdagi qiymatidan pasayishi ham elektr energiyasini ishlab chiqarish bo'yicha FIKni pasayishiga olib keladi, misol uchun ta'minot suvining harorati 215°C gacha pasayganda elektr energiyasini ishlab chiqarish bo'yicha FIKning absolyu qiymati 0,438 ni tashkil etadi. Ushbu keltirilgan namunalarni son qiymatlarida ifodalasak quyidagicha: ta'minot suvining harorati 275°C dan 295°C gacha ortganda turbina qurilmasining quvvati 300 MVt dan 279 MVt gacha, ya'ni 7% ga kamayadi. Ta'minot suvining harorati 275°C dan 215°C gacha pasayganda turbinaning quvvati 300 MVt dan 333 MVt gacha, ya'ni 11% ga ortadi [32].

IESlarning qozon qurilmalarini texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarini oshirish uchun tutun gazlarining past potentsialli issiqligini utilizatsiya qilish usuli qo'llaniladi. Biroq ushbu masalaga yetarlicha e'tibor qaratilmaydi. Qozon qurilmalarida chiqib ketuvchi gazlar bilan yo'qotilayotgan issiqlik energiyasi 20% gacha yetishi mumkin [33]. Tutun gazlarining issiqligidan foydalanishning eng samarali usullaridan birini ko'rib chiqamiz. Ushbu usul yoqilg'i sarfini va atrof-muhitga zararli chiqindilarni kamaytiradi.

Qozon qurilmalaridan chiqib ketayotgan tutun gazlarining harorati 140-160°C bo'lib, bu issiqlik energiyasini yo'qotilishi qozon qurilmasining umumiy balansini 15-20% ni tashkil etadi. qozon qurilmasidan chiqishda qizdirgichlarni o'rnatish nafaqat issiqlik energiyasi yo'qotilishini kamaytiradi, balki atrof-muhitga tashlab yuborilayotgan zararli tashlamalar miqdorini ham kamaytiradi [33].

Biroq bunday sxemani samarali ishlashi uchun chiqib ketuvchi gazlarning issiqlik almashinuv qurilmasidan chiqishdagi haroratni inobatga olish kerak, ya'ni ushbu harorat to'yinish nuqtasi haroratidan past bo'lmasligi kerak. Chunki haroratni pasayib ketishi kondensatni hosil bo'lishiga va tutun mo'risini zararlanishiga olib keladi. Tabiiy gaz yoqilganda yonish mahsulotlarining to'yinish nuqtasi 55-60°C ni tashkil etadi.



1.5-rasm. Chiqib ketuvchi tutun gazlarining issiqlik energiyasi hisobiga qaytish tarmoq suvi qizdiriluvchi suv qizdirish qozonxonasining prinsipial sxemasi:

1-suv qizdirish qozoni; 2-gazli gorelka; 3-tarmoq suvini uzatish quvuri;
4-tarmoq nasosi; 5-tarmoq suvining qaytish quvuri; 6-qozon konturi nasosi;
7-qo'shimcha suv uzatish quvuri; 8-qo'shimcha suv nasosi; 9-tarmoq suvini qizdirgich; 10-tutun gazlarini sovitgichi.

Qozon qurilmalaridan chiqib ketuvchi gazlarning issiqligidan foydalanishning eng keng tarqalgan usuli kontaktli va yuzaviy turdagi qizdirgichlardan foydalanish hisoblanadi. 1.6-rasmda suv qizdirish qozonxonasining prinsipial sxemasi keltirilgan bo'lib, u yerda chiqib ketuvchi tutun gazlarining past potentsialli issiqlikdan foydalanish usullari ko'rsatilgan. Qaytish tarmoq suvining uzatish quvurida yuzaviy turdagi qizdirgich o'rnatilgan (tutun gazlarini sovitgich), u tarmoq suvini asosiy qizdirgichidan oldin issiqlik tashuvchining haroratini ko'tarib berishni ta'minlaydi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1.Егоров М.А. повышение экономичности ТЭС путем использования вторичных энергоресурсов для подогрева дутьевого воздуха котла / Электронный ресурс.

2.Шарапов В.И., Орлов М.Е. Технология обеспечения пиковой нагрузки систем теплоснабжения. – М.: Изд. Новости теплоснабжения, 2006. – 208 с.

3.Кубашов С.Е., Шарапов В.И., Кузьмин А.В. Использование тепловых насосов в схеме ТЭС для регенерация теплоты циркуляционной воды. Теплоэнергетика и теплоснабжение. Сборник научных трудов научно-исследовательской лаборатории «Теплоэнергетические системы и установки». Выпуск 6. – Ульяновск: УлГТУ, 2009. – с. 97-99.

4.Салихов А.А., Япаров И.В., Замалеев М.М. Повышение эффективности

ТЭС за счет полезного использования теплоты охлаждающей воды конденсаторов турбин // Новые технологии в теплоснабжении и строительстве. Сборник работ аспирантов и студентов-сотрудников научно-исследовательской лаборатории «Теплоэнергетические системы и установки». Выпуск 11. – Ульяновск: УлГТУ, 2013. – с. 323-333.

5.Япаров И.В., Замалеев М.М. Технологии полезного использования «сбросной» теплоты на ПГУ-ТЭС // Новые технологии в теплоснабжении и строительстве. Сборник работ аспирантов и студентов-сотрудников научно-исследовательской лаборатории «Теплоэнергетические системы и установки». Выпуск 13. – Ульяновск: УлГТУ, 2015. – с. 389-397.

6.Молодкина М.А. Повышение технико-экономических показателей парогазовых тепловых электростанций путем утилизации низкопотенциальной теплоты с использованием тепловых насосов // Автореф. дис. к.т.н. – Спб, 2012. – 16 с.

7.Девянин Д.Н. Разработка и испытание на ТЭС-28 ОАО «Мосэнерго» лабораторного стенда по апробации схем использования теплонасосных установок в энергетике // Новости теплоснабжения. – 2000. №1. – с. 31-34.

8.Басок Б.И. Проект использования мощных тепловых насосов на объектах большой энергетики // Тепловые насосы в странах СНГ: сб. тез. докл. МК. 14-16 мая, 2013 г. – Алушта.

9.Буров В.Д. Тепловые электрические станции: Учебник для вузов / В.Д. Буров, Е.В. Дорохов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 466 с.

10.Жданов Н.В. Повышение энергоэкологической эффективности сжигания газообразного топлива в водогрейных газотурбинных котлах: Дис. канд. техн. наук. – Омск, 2010. – 184 с.