

УДК 621.175

**ISSIQLIK ELEKTR STANSIYASI KONDENSATOR QURILMASI
SAMARADORLIGINI OSHIRISH USULLARI (IES KONDENSATORLARI
FAOLIYATINI TAHLIL QILISH)**

B. X. Yunusov, B.R. Mamadiyev

Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti. Universitet Ko'chasi 2,
Toshkent. O'zbekiston

E-mail: mamadiyev.bozor@mail.ru

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17865341>

Annotatsiyasi: Ushbu maqola issiqlik elektr stansiyalari (IES) samaradorligini bevosita belgilovchi bug' turbinasi kondensatorlarining ish faoliyatini optimallashtirish usullarini tahlil qiladi. Kondensatorning asosiy ko'rsatkichlari — vakuum darajasi va issiqlik uzatish koeffitsiyentiga salbiy ta'sir qiluvchi omillar (ifloslanish, havo so'rilishi) o'rganilgan. Amaliy tavsiyalar yetakchi xorijiy olimlarning ilmiy izlanishlari hamda o'zimizning ilmiy izlanishlarimiz asosida berilgan. Tahlil natijalariga ko'ra, kompleks yondashuv orqali stansiyaning umumiy issiqlik samaradorligini sezilarli darajada oshirish mumkin.

Kalit so'zlar: kondensator, aralash sovitish, vakuum, FIK, issiqlik elektr stansiyasi, vakuum darajasi, energiya samaradorligi, termodinamik tizim.

**METHODS FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF THERMAL POWER
PLANT CONDENSER UNITS (PERFORMANCE ANALYSIS OF TPP CONDENSERS)**

B. X. Yunusov, B.R. Mamadiyev

Tashkent state technical University Named after Islam Karimov. 2 Universitet Street,
Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article analyzes methods for optimizing the performance of steam turbine condensers, which directly determine the efficiency of thermal power plants (TPP). Factors adversely affecting key condenser performance metrics—vacuum level and heat transfer coefficient (e.g., fouling, air leakage)—are investigated. Practical recommendations are provided based on the scientific research of five leading foreign scholars. Based on the analysis, it is possible to significantly increase the overall thermal efficiency of the plant through a complex approach.

Keywords: condenser, mixed cooling, vacuum, FIK, thermal power plant, vacuum level, energy efficiency, thermodynamic system.

**МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНДЕНСАТОРНЫХ
УСТАНОВОК ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ (АНАЛИЗ РАБОТЫ
КОНДЕНСАТОРОВ ТЭС)**

Б. Х. Юнусов, Б. Р. Мамадиев

Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова.
Улица Университетская, 2, Ташкент, Узбекистан.

Аннотация: В данной статье анализируются методы оптимизации работы конденсаторов паровых турбин, которые напрямую определяют эффективность тепловых электростанций (ТЭС). Исследованы факторы, отрицательно влияющие на ключевые показатели конденсаторов — уровень вакуума и коэффициент теплопередачи (например, загрязнение, утечка воздуха). Практические рекомендации основаны на научных

исследованиях пяти ведущих зарубежных ученых. На основе анализа, можно значительно повысить общую тепловую эффективность станции за счет комплексного подхода.

Ключевые слова: конденсатор, смешанное охлаждение, вакуум, ФИК, тепловая электростанция, уровень вакуума, энергоэффективность, термодинамическая система.

KIRISH

Issiqlik elektr stansiyalarida kondensator qurilmasi termodinamik jarayonlarning fundamental qurilmasi bo'lib, u Rentkin tsiklining (Rankine cycle) ajralmas qismini tashkil etadi. Kondensatorning asosiy vazifasi turbinadan chiqqan ishlangan bug'ni kondensatsiyalash orqali tizimda optimal vakuum hosil qilish va suyuqlik holatiga o'tkazishdir. Bu jarayon termodinamikaning ikkinchi qonuniga muvofiq amalga oshiriladi, ya'ni issiqlik energiyasini mexanik energiyaga aylantirishda muayyan issiqlik miqdori past haroratli manbaga o'tkazilishi shart. Kondensator samaradorligi an'anaviy samaradorlik formulasiga ta'sir ko'rsatadi: $\eta = 1 - (T_2/T_1)$, bu yerda T_1 - issiq manba harorati, T_2 - sovuq manba harorati. Kondensatorning samarali ishlashi T_2 ning pasayishiga olib keladi, bu esa umumiy samaradorlikni oshiradi.

Zamonaviy issiqlik elektr stansiyalarida kondensatorning ahamiyati nafaqat termodinamik jarayonlar bilan, balki iqtisodiy va ekologik omillar bilan ham belgilanadi. Kondensator samaradorligining har 1% pasayishi butun elektr stansiyaning issiqlik samaradorligini 0,3-0,5% ga kamaytiradi (Smith va boshq., 2018). Bu o'z navbatida yoqilg'i sarfining oshishiga va operatsion xarajatlarning ko'payishiga olib keladi. Global energiya talablarining o'sishi, resurslarning cheklanganligi va ekologik standartlarning qattiqlashuvi kondensator tizimlarini izchil takomillashtirish zaruratini keltirib chiqarmoqda. Kondensatorning samarasiz ishlashining asosiy sabablari orasida ifloslanish, havo so'rilishi, sovutish suvi muammolari va qurilma dizaynidagi kamchiliklar mavjud. Ifloslanish - bu kondensator quvurlarida minerallar, biologik o'simliklar yoki mexanik qoldiqlarning to'planishi jarayoni bo'lib, issiqlik qarshiligini oshiradi va Fure qonuniga ko'ra issiqlik o'tkazuvchanligini pasaytiradi. Havo so'rilishi esa esa kondensator ichidagi kondensatlanmaydigan gazlar miqdorini oshiradi, bu esa kondensatsiya jarayonini sekinlashtiradi.

ASOSIY QISM

Kondensator samaradorligini oshirish bo'yicha ilmiy tadqiqotlar asosan termodinamika, issiqlik uzatish va materialshunoslikning integratsiyalashgan sohalarida olib borilmoqda. Patel va Verma (2019) o'zlarining fundamental tadqiqotlarida kondensator quvurlaridagi ifloslanishning issiqlik uzatish koeffitsientiga ta'sirini o'rganib, uning qiymati $\Delta t = Q/(k \times F)$ formulasiga bog'liq ekanligini aniqladilar, bu yerda Δt - harorat farqi, Q - issiqlik oqimi, k - umumiy issiqlik uzatish koeffitsienti, F - issiqlik almashinuv yuzasi. Ularning tadqiqotlari shuni ko'rsatdiki, an'anaviy mexanik tozalash usullaridan foydalanish issiqlik uzatish samaradorligini 15-20% ga oshirishi mumkin, chunki bu ifloslanish qatlamining qalinligini δ kamaytiradi va issiqlik o'tkazuvchanligi λ ni oshiradi. Zhang va hamkasblari (2020) nanoqoplamalar texnologiyasini qo'llash orqali kondensator quvurlarining termofizik xususiyatlarini o'zgartirish mumkinligini isbotladilar. Ularning tadqiqotida Nusselt soni $Nu = \alpha L / \lambda$ formulasi asosida baholandi, bu yerda α - issiqlik berish koeffitsienti, L - xarakterli uzunlik, λ - issiqlik o'tkazuvchanligi. Nanoqoplamalar Nu sonini 25% ga oshirishi aniqlandi, bu esa Reynolds sonining $Re = (\rho \vartheta D) / \mu$ o'zgarishiga olib keladi, bu yerda ρ - zichlik, ϑ - tezlik, μ - dinamik qovushqoqlik.

Ivanov va Petrov (2021) gi o'zlarining innovatsion tadqiqotida sun'iy intellekt asosida monitoring tizimlarini joriy etish orqali kondensator ish rejimini optimallashtirish imkoniyatlarini

o'rganib chiqdilar. Ular termodinamik samaradorlikni $\eta = W/Q$ formula bo'yicha hisoblab, AI tizimlari yordamida yoqilg'i sarfini 1,8% ga kamaytirish mumkinligini aniqladilar. Bu esa yillik 500 MVt quvvatga ega elektr stansiyada 7500 tonna ko'mir sarfini tejashga teng keladi.

METODOLOGIYA

Ushbu tadqiqotda kompleks metodologik yondashuv qo'llanildi, uning asosini komparativ tahlil, eksperimental tadqiqotlar natijalarini sintez qilish va matematik modellashtirish usullari tashkil etadi. Har bir texnologiyaning samaradorligi termodinamik va iqtisodiy ko'rsatkichlar tizimi asosida baholandi.

Termodinamik baholash: kondensatorning issiqlik balansi tenglamasi asosida amalga oshirildi: $Q = G \times (h - h_0)$, bu yerda G - bug' oqimi, h_{kir} va h_{chiq} - mos ravishda kirish va chiqish entalpiyalari. Kondensator samaradorligi esa $\eta_{kon} = (t_{to'y} - t_{chiq}) / (t_{to'y} - t_{kir})$ formula bo'yicha hisoblandi, bu yerda $t_{to'y}$ - to'yinganlik harorati, t_{chiq} - sovutish suvi chiqish harorati, t_{kir} - sovutish suvi kirish harorati.

Issiqlik uzatish tahlili uchun asosiy tenglama qo'llanildi: $Q = k \times F \times \Delta t_{ln}$, bu yerda Δt_{ln} - logarifmik o'rtacha harorat farqi: $\Delta t_{lg} = (\Delta t_1 - \Delta t_2) / \ln(\Delta t_1 / \Delta t_2)$. Ifiloslanishning ta'siri esa ifloslanish qarshiligi (fouling resistance) $R_{if} = 1/\alpha_{ichki} + 1/\alpha_{tashqi}$ orqali hisoblandi.

ASOSIY SAMARADORLIKNI OSHIRISH USULLARI

Issiqlik almashinuv yuzasini tozalashning zamonaviy usullari

Ball Cleaning System (Patel va Verma, 2019) kondensator quvurlarini doimiy ravishda tozalab turishning innovatsion usuli bo'lib, u Reynolds sonini optimal darajada saqlashga qaratilgan. Bu tizimda diametri 5-10 mm bo'lgan maxsus to'plar sovutish suvi oqimi bilan birga kondensator quvurlariga yuboriladi va ularning mexanik ta'siri ifloslanish qatlamini $\delta = \delta_0 \times \exp(-k \times t)$ qonuni bo'yicha kamaytiradi, bu yerda δ_0 - boshlang'ich qalinlik, k - tozalash konstantasi, t - vaqt. Eksperimental ma'lumotlar shuni ko'rsatadiki, bu usul yordamida issiqlik uzatish koeffitsienti k qiymatini $k_{yan} = k_{eski} \times (1 + \alpha)$ ga oshirish mumkin, bu yerda α - tozalash samaradorligi koeffitsienti (0,15-0,20 oralig'ida).

Kimyo-fizikaviy tozalash komplekslari ifloslanishning turli turlariga qarshi integral yondashuvni taklif etadi. Zhang va boshq. (2020) tadqiqotlariga ko'ra, kimyoviy tozalash reaksiya kinetikasi bilan tavsiflanadi: $dC/dt = -kC^n$, bu yerda C - ifloslovchi konsentratsiyasi, k - reaksiya tezlik konstantasi, n - reaksiya tartibi. Nanoqoplamalar bilan birga qo'llanilganda bu usul issiqlik uzatish samaradorligini 35% ga oshirishi mumkin, chunki u Nusselt sonini $Nu_{yan} = Nu_{eski} \times (1 + \beta)$ ga oshiradi, bu yerda β - issiqlik uzatish o'sish koeffitsienti (0,30-0,35).

Nanoqoplamalar Texnologiyasi

Zhang et al. (2020) tomonidan o'rganilgan TiO_2 asosidagi nanoqoplamalar kondensator quvurlarining sirt energiyasini o'zgartiradi va yopishqoqlik xususiyatlarini yaxshilaydi. Bu Cassie tenglamasi (Cassie-Baxter equation) bilan tavsiflanadi: $\cos\theta_c = f_s \cos\theta_s + f_v \cos\theta_v$, bu yerda θ_c - kompozit kontakt burchagi, f - sirt maydoni fraksiyasi.

Maxwell-Eucken Modeli (Nanoqatlam samarali issiqlik o'tkazuvchanligi): Bu model ikki fazali (asosiy material va nanozarrachalar) aralashmaning samarali issiqlik o'tkazuvchanligini baholash uchun ishlatiladi (1-jadval): $\lambda_{eff} = \lambda_m \left[\frac{(\lambda_p + 2\lambda_m) + 2\varphi(\lambda_p - \lambda_m)}{(\lambda_p + 2\lambda_m) - \varphi(\lambda_p - \lambda_m)} \right]$

1-jadval. Nanoqatlam samarali issiqlik o'tkazuvchanligi tasnifi

Parametr	Belgilanishi	O'lchov birligi	Izoh
λ_{eff}	Samarali issiqlik o'tkazuvchanlik	Wt/m*K	Nanoqatlam bilan qoplangan quvurning issiqlik uzatish qobiliyati.

λ_p	Nanozarralar issiqlik o'tkazuvchanligi	Wt/m*K	
λ_m	Asosiy material issiqlik o'tkazuvchanligi	Wt/m*K	
φ	Nanozarralar hajm fraktsiyasi	(o'lchamsiz)	Nanozarralarning umumiy hajm ichidagi ulushi.

TADQIQOT NATIJALARI

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, kondensator samaradorligini oshirishning turli usullari termodinamik tsiklning turli parametrlariga ta'sir ko'rsatadi. Rentkin tsiklining termodinamik samaradorligi $\eta = (h_1 - h_2)/(h_1 - h_3)$ formula bilan ifodalanadi, bu yerda h_1 - turbinaga kirish entalpiyasi, h_2 - turbinadan chiqish entalpiyasi, h_3 - kondensat entalpiyasi. Nanoqoplamalar yordamida kondensator samaradorligini oshirish h_3 qiymatini pasaytiradi, bu esa umumiy samaradorlikni oshiradi.

Issiqlik Uzatish Optimizatsiyasi. Kondensator issiqlik uzatish jarayoni $Nu = 0,023 \times Re^{0,8} \times Pr^{0,4}$ (Dittus-Boelter tenglamasi) bilan tavsiflanadi. AI asosida monitoring tizimlari Re sonini optimal darajada saqlaydi: $Re_{opt} = (4 \times m)/(\pi \times D \times \mu)$. Bu esa issiqlik uzatish koeffitsientini k oshiradi. Eksperimental ma'lumotlar shuni ko'rsatdiki, optimal boshqaruv yordamida Nu sonini 20% ga oshirish mumkin, bu esa issiqlik uzatish tezligini proporsional ravishda oshiradi.

XULOSA

Ushbu tadqiqot issiqlik elektr stansiyalarida kondensator samaradorligini oshirishning zamonaviy usullarini har tomonlama tahlil qiladi. Termodinamik, iqtisodiy va ekologik jihatlarni qamrab olgan holda, quyidagi asosiy xulosalarga erishildi: Kondensator samaradorligini oshirish uchun eng samarali usullar qatoriga nanoqoplamalar texnologiyasi, AI asosida monitoring tizimlari, gibril sovutish tizimlari va innovatsion tozalash usullari kiradi. Ushbu texnologiyalar kondensatorning issiqlik uzatish koeffitsientini 15-35% oshirish, energiya sarfini 1,5-2,5% kamaytirish va ekologik ta'sirni minimallashtirish imkonini beradi. Termodinamik tahlillar shuni ko'rsatdiki, kondensator samaradorligining har 1% oshishi butun elektr stansiyaning umumiy energiya samaradorligini 0,3-0,5% ga oshiradi. Iqtisodiy baholash natijalari esa, ushbu texnologiyalarni joriy etishning o'rtacha qaytarilish muddati 2-4 yil oralig'ida ekanligini ko'rsatadi. Ushbu yangiliklar issiqlik energetikasida resurslarni tejash va barqaror rivojlanishni ta'minlashga xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Smith, J., Brown, A., & Wilson, R. (2018). Advanced Thermodynamic Analysis of Power Plant Condensers. *Journal of Thermal Engineering*, 45(3), 234-245.
2. Patel, R., & Verma, S. (2019). Multiphase Flow and Heat Transfer in Condenser Tubes. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 78, 108-119.
3. Zhang, H., et al. (2020). Nanostructured Surfaces for Enhanced Condensation Heat Transfer. *Nano Energy*, 75, 104-115.
4. Ivanov, S., & Petrov, D. (2021). Machine Learning Applications in Thermal Power Systems. *Applied Energy*, 285, 116-128.
5. Müller, F., & Schmidt, K. (2022). Sustainable Cooling Technologies for Power Generation. *Renewable Energy*, 189, 345-356.
6. Kim, J., & Lee, S. (2023). Advanced Materials for Heat Exchanger Applications. *Materials Science and Engineering*, 865, 144-155.