

QUVURDA LAMINAR REJIMDA TRANSFORMATOR MOYINING ISSIQLIK BERISH KOEFFITSIENTI VA BOSIM YO‘QOTISHLARINI HISOBIY TAHLIL QILISH

Ibrohimov Abdulloh Rustamjon o‘g‘li

Toshkent davlat texnika universiteti magistr

ibrohimovabdulloh0222@gmail.com

Annotatsiya

Ushbu tadqiqotda diametri 8 mm bo‘lgan trubada 80°C haroratdagi transformator moyining laminar rejimdagi majburiy harakati uchun issiqlik berish ko‘effitsienti va bosim yo‘qotishlari hisoblab chiqildi. Moyning qovushqoqligi haroratga bog‘liq bo‘lgan suyuqlik turi bo‘lgani sababli oddiy laminar oqim formulalari yetarli aniqlik bermaydi. Shu boisdan o‘zgaruvchan qovushqoqlikka ega suyuqliklar uchun mo‘ljallangan korrelyatsiya qo‘llanildi. Natijalar issiqlik berish ko‘effitsienti tezlik oshishi bilan sekin ortishini, bosim yo‘qotilishi esa kvadrat qonun bo‘yicha keskin ko‘payishini ko‘rsatdi.

Kalit so‘zlar: issiqlik berish ko‘effitsienti; bosim yo‘qotilishi; laminar oqim; majburiy konveksiya; transformator moyi; haroratga bog‘liq qovushqoqlik; o‘zgaruvchan qovushqoqlik; konvektiv issiqlik almashinuvi; Reynolds soni; Nusselt soni.

Annotation

In this study, the heat transfer coefficient and pressure losses were calculated for forced laminar flow of transformer oil at a temperature of 80 °C inside a tube with a diameter of 8 mm. Since transformer oil is a fluid whose viscosity strongly depends on temperature, conventional correlations for laminar flow do not provide sufficient accuracy. Therefore, a correlation developed for fluids with variable viscosity was applied. The results show that the heat transfer coefficient increases gradually with increasing flow velocity, whereas the pressure loss rises sharply following a quadratic relationship.

Keywords: heat transfer coefficient; pressure loss; laminar flow; forced convection; transformer oil; variable viscosity; convective heat transfer; thermal and hydraulic performance; pressure loss analysis; Reynolds number; Nusselt number.

Kirish

Issiqlik almashinish jarayonlari ko‘plab texnologik tizimlarning ajralmas qismidir. Xususan, elektr energetikasi, mexanik muhandislik, kimyo sanoati va sovutish tizimlarida turli suyuqliklar orqali issiqlikni tashish, uzatish yoki olib chiqib tashlash talab qilinadi. Bunday jarayonlarning samaradorligi suyuqlikning fizik

xossalari, quvur geometriyasi, oqim rejimi va issiqlik almashinuvi yuzasining holati bilan bevosita bog‘liqdir. Transformator moyi amaliyotda keng qo‘llanadigan issiqlik tashuvchi suyuqliklardan biri bo‘lib, u elektr transformatorlarida sovutish vazifasini bajaradi, ya‘ni issiqlikni elektr o‘ramlaridan tashqi muhitga olib chiqib tashlaydi. Moyning yuqori qovushqoqlik darajasi, haroratga sezgir xossalari va issiqlik o‘tkazuvchanligining nisbatan pastligi uning quvurdagi harakatini suv yoki boshqa yengil suyuqliklarga nisbatan jiddiy farqlaydi. Quvurda suyuqlikning majburiy harakatlanishi jarayonida oqimning laminar yoki turbulent rejimda bo‘lishi issiqlik almashinuvi intensivligiga sezilarli ta‘sir ko‘rsatadi. Laminar oqimda issiqlikning o‘tishi asosan molekulyar o‘tish hisobiga amalga oshadi, natijada issiqlik berish darajasi yuqori bo‘lmaydi. Ko‘pgina klassik darsliklarda silliq quvurdagi laminar oqim uchun Nusselt soni doimiy $Nu=3,66$ deb beriladi [3]. Ammo transformator moyi kabi qovushqoqligi haroratga sezilarli darajada bog‘liq bo‘lgan suyuqliklarda bu oddiy ifoda aniq natija bermaydi, chunki devor haroratida moyning qovushqoqligi keskin ortadi va issiqlik berish jarayonini sezilarli darajada sekinlashtiradi. Shu sababli transformator moyi uchun issiqlik almashinuvi masalalarini hisoblashda qovushqoqlikning harorat bo‘yicha o‘zgarishini hisobga oluvchi maxsus korrelyatsiyalar qo‘llaniladi. Tadqiqot natijalari issiqlik almashinish apparatlari, transformator sovutish tizimlari va yopiq konturli moy aylantirish tizimlari uchun amaliy ahamiyatga ega.

Tadqiqotning maqsadi

Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi transformator moyining tor diametrli quvurda laminar rejimdagi majburiy harakati jarayonida issiqlik o‘tishi va bosim yo‘qotilishining o‘zaro bog‘liqligini hisobiy usulda aniqlash va tahlil qilishdan iborat. Transformator moyi yuqori qovushqoqlikka ega bo‘lgan suyuqlik bo‘lgani sababli uning oqimdagi va devor yaqinidagi fizik xossalari keskin farq qiladi. Bu holat issiqlik almashinuvi jarayoniga sezilarli ta‘sir ko‘rsatadi. Shuning uchun ushbu ishda moyning issiqlik va gidravlik xatti-harakati an‘anaviy soddalashtirilgan formulalar bilan emas, balki haroratga bog‘liq qovushqoqlikni hisobga oluvchi maxsus korrelyatsiya yordamida aniqlanadi.

Tadqiqotning yana bir muhim maqsadi — oqim tezligining o‘zgarishi issiqlik berish koeffitsienti va bosim yo‘qotilishiga qanday ta‘sir qilishini baholashdir. Chunki amaliy qurilmalarda oqim tezligini oshirish issiqlik almashinish jarayonini ma‘lum darajada yaxshilasa-da, shu bilan birga bosim yo‘qotilishi va nasos quvvati keskin ortib ketadi. Demak, tizimning umumiy samaradorligi oqim tezligining optimal tanlanishiga bog‘liq bo‘ladi. Shu nuqtayi nazardan tadqiqot quyidagi vazifalarni o‘z ichiga oladi:

- Trubada harakatlanayotgan transformator moyi uchun Reynolds, Pekle va Gragof sonlarini aniqlash orqali oqim rejimi va issiqlik o‘tishi sharoitlarini baholash.

- Moyning oqim markazidagi va quvur devoridagi qovushqoqlik farqini inobatga oluvchi korrelyatsiya yordamida Nusselt sonini aniqlash.
- Olingan Nusselt soni asosida issiqlik berish koeffitsientini hisoblash va uning fizik mazmunini yoritish.
- Darsi-Veysbax tenglamasi orqali laminar rejimda bosim yo‘qotilishlarini aniqlash va ularning oqim tezligiga qanday bog‘liqligini tahlil qilish.
- Oqim tezligi 0,2–1,0 m/s oraliqda o‘zgarganda issiqlik berish koeffitsienti va bosim yo‘qotilishining nisbatini baholash, hamda issiqlik almashinish samaradorligi nuqtayi nazaridan eng maqbul tezlik diapazonini aniqlash.

Shuningdek, tadqiqotning amaliy maqsadi — transformator moyi bilan ishlaydigan sovutish tizimlarida oqim tezligini tanlash bo‘yicha ilmiy asoslashni taqdim etishdir. Chunki energiya tejamkorligi, qurilma barqarorligi, moyning qizishi va nasos quvvatiga bo‘lgan talab aynan issiqlik almashinuvi va gidravlik yo‘qotishlar orasidagi muvozanatni to‘g‘ri ta‘minlashga bog‘liqdir. Shu bois tadqiqot natijalari trubali issiqlik almashinish apparatlari, transformator sovutish tizimlari va umumiy moy aylantirish tizimlarini loyihalash jarayonida muhim ilmiy-amaliy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Transformator moyining trubadagi laminar oqimdagi issiqlik almashinuvi jarayonini hisoblash uchun uning haroratga bog‘liq fizik xossalarini aniq ko‘rsatib olish talab etiladi. Moyning qovushqoqligi, zichligi, issiqlik o‘tkazuvchanligi va issiqlik sig‘imi trubadagi oqimning shakllanishi va issiqlikning devor orqali o‘tish jarayoniga bevosita ta‘sir ko‘rsatadi. Ayniqsa qovushqoqlikning devor haroratida keskin ortishi issiqlik almashinuv jarayonini sezilarli darajada cheklaydi. Bizga 1-jadvaldan transformator moyining 80°C haroratdagi fizik xossalari kerak.

Hisoblash usuli va natijalar

Diametri 8 mm va uzunligi 1 m bo‘lgan quvurda transformator moyining majburiy oqimi ko‘rib chiqildi. Moyning o‘rtacha harorati 80°C, quvur devorining harorati 20°C, moyning kinematic qovushqoqligi $\nu_r = 3,66 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, oqim tezligi esa 0,6 m/s deb qabul qilindi [2].

Reynolds soni bilan oqim rejimi aniqlandi:

$$Re = \frac{wd}{\nu} = \frac{0,6 \cdot 0,008}{3,66 \cdot 10^{-6}} = 1310 \quad (1)$$

$Re < 2300$ bo‘lgani uchun oqim laminar rejimda.

Issiqlik berishda suyuqlikning qovushqoqligi, issiqlik o‘tkazuvchanligi va boshqa xossalari haroratga bog‘liq bo‘ladi. Moyning quvurdagi haqiqiy harorati esa 80°C va devor harorati 20°C orasida yotadi. Shuning uchun fizik xossalar qaysi haroratga qarab olinishi kerakligini aniqlash lozim:

$$t_r = 0,5 \cdot (80 + 20) = 50 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2)$$

Issiqlik almashinuvi nafaqat majburiy oqim, balki tabiiy konveksiyaga ham bog‘liq bo‘lishi mumkin. Agar tabiiy konveksiya kuchli bo‘lsa, alohida korrelyatsiya tanlanadi. Buni tekshirish uchun Grasgof–Prandtl ko‘paytmasi hisoblanadi [1]:

$$GrPr = g\beta_r(t_m - t_c)d^3 \frac{Pr_r}{\nu_r^2} =$$

$$= 9,81 \cdot 7,05 \cdot 10^{-4} \frac{(80 - 20)(0,008)^3}{(7,58 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 111 = 3,6 \cdot 10^5 \quad (3)$$

Bu yerda: β_r –kengayish koefitsienti,

Pr_r –issiqlik tarqalishining qovushqoqlikka nisbati.

$$GrPr = 3,6 \cdot 10^5 < 8 \cdot 10^5$$

Tabiiy konveksiya sezilarli emas, shuning uchun faqat majbu (4) qim korrelyatsiyasi ishlatiladi [6].

Doimiy devor haroratida ($t_s = \text{const}$) quvurlar ichida qovushqoqlik ta’siri sezilarli bo‘lgan suyuqlik harakati uchun o‘rtacha issiqlik berishni quyidagi formula bo‘yicha hisoblash mumkin [1]:

$$Nu_r = 1,55 \cdot (Pe_r \frac{d}{l})^{\frac{1}{3}} \cdot (\frac{\mu_{\text{ж}}}{\mu_c})^{0,14} \varepsilon \quad (5)$$

Bu yerda:

$$Nu_r = \frac{\alpha d}{\lambda_r}; \quad Pe_r = \frac{4Gc_{pr}}{\pi d \lambda_r}; \quad \alpha = \frac{q}{t_{\text{ж}} - t_c};$$

“c” va “r” indeksleri mos ravishda suyuqlik xossalari qovur devori haroratida t_c va o‘rtacha haroratda $t_r = 0,5 \cdot (t_{\text{ж}} + t_c)$ o‘lchanishini bildiradi. ε — gidrodinamik stabilizatsiya uchastkasini hisobga oluvchi tuzatma koefitsienti [2]:

$$\varepsilon = 0,6 \cdot (\frac{1}{Re_{\text{ж}}} \cdot \frac{l}{d})^{-1/7} \cdot (1 + 2,5 \frac{1}{Re_{\text{ж}}} \cdot \frac{l}{d}) \quad (6)$$

Agar qizdirilayotgan quvur uchastkasidan oldin yetarlicha stabilizatsiya bo‘lgan oqim zonasi mavjud bo‘lmasa, va quyidagi shartlar bajarilgan bo‘lsa:

$$\frac{1}{Re_{\text{ж}}} \cdot \frac{l}{d} < 0,1$$

Tuzatma shu holatda qo‘llaniladi.

(7)

Yuqoridagi (5) formula quyidagi sharoitlarda qo‘llanadi [3]:

$$Re_{\text{ж}} < 2300$$

$$\frac{1}{Pe_{\text{ж}}} \cdot \frac{l}{d} \leq 0,05 \quad (GrPr)_r = 8 \cdot 10^5 \quad 0,07 \leq \frac{\mu_c}{\mu_{\text{ж}}} \leq 1500$$

Ko‘rib chiqilayotgan holatda:

$$t_{\text{ж}} = 80 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad t_c = 20 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad t_r = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Moyning massaviy sarfi [1]:

$$G = \rho_m \cdot \omega \frac{\pi d^2}{4} = 844 \cdot 0,6 \frac{\pi \cdot (8 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 2,53 \cdot 10^{-2} \text{ kg/s} \quad (8)$$

Pekle soni [2]

$$Pe_r = \frac{4Gc_{pr}}{\pi d \lambda_r} = \frac{4 \cdot 2,53 \cdot 10^{-2} \cdot 1,846 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 1 \cdot 0,108} = 550 \quad (9)$$

Shu qiymat bo'yicha [2]:

$$\frac{1}{Pe_r} \frac{l}{d} = \frac{1}{550} \cdot \frac{1}{0,008} = 0,0955 < 0,05$$

Demak (5) formulani qo'llash mumkin.

Gidrodinamik boshlang'ich uchastka uchun tuzatma:

$$\frac{1}{Pe_{ж}} \frac{l}{d} = \frac{1}{1310} \cdot \frac{1}{0,008} = 0,0955 < 0,1$$

Demak, gidrodinamik boshlang'ich uchastkani hisobga oluvchi tuzatma kiritiladi va u quyidagicha aniqlanadi [5]:

$$\varepsilon = 0,6(0,0955)^{-\frac{1}{7}} \cdot (1 + 2,5 \cdot 0,0955) = 1,05$$

Nusselt soni

$$Nu_r = 1,55 \cdot (550)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{30,8}{198,2}\right)^{0,14} \cdot 1,05 = 10,2$$

Issiqlik berish koeffitsienti [2]

$$\alpha = Nu_r \frac{\lambda_r}{d} = 10,2 \cdot \frac{0,108}{0,008} = 138 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Berilgan sharoit va kattaliklarda issiqlik berish koeffitsientini aniqladik, endi esa tezlikni 0,2-1,0 m/s oralig'ida o'zgartirib qaysi holatda issiqlik berish koeffitsienti eng yuqori va bosim yo'qotilishi eng past bo'lishini quyidagi hisoblangan grafikda ko'rib chiqamiz.

Tezlik, w (m/s)	Reynolds soni, Re	Issiqlik berish koeffitsienti, α ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)	Bosim yo'qotilishi, Δp (Pa)
0,2	437	92	305
0,4	874	116	610
0,6	1310	138	920
0,8	1749	150	1230
1,0	2186	162	1540

Jadval tahlili shuni ko'rsatdiki, oqim tezligi 0,6 m/s gacha oshirilganda issiqlik berish koeffitsienti sezilarli darajada ortadi, biroq undan keyingi tezliklarda issiqlik berishning o'sishi keskin sekinlashadi, bosim yo'qotilishi esa tez ortadi. Shu sababli

issiqlik almashinuvi samaradorligi va gidravlik yo'qotishlar o'rtasidagi eng maqbul muvozanat 0,6 m/s tezlikda kuzatiladi.

Xulosa

Ushbu tadqiqotda diametri 8 mm bo'lgan quvurda 80 °C haroratdagi transformator moyining laminar rejimdagi majburiy oqimi uchun issiqlik berish koeffitsienti va bosim yo'qotilishlari hisoblab chiqildi. Transformator moyining qovushqoqligi haroratga sezilarli darajada bog'liq bo'lgani sababli klassik laminar oqim formulalarining qo'llanilishi cheklangan ekanligi ko'rsatildi va o'zgaruvchan qovushqoqlikka ega suyuqliklar uchun tavsiya etilgan korrelyatsiyadan foydalanildi. Hisob-kitob natijalari oqim tezligi oshishi bilan issiqlik berish koeffitsienti sekin ortishini, bosim yo'qotilishi esa tezlikning kvadrati bo'yicha keskin ko'payishini ko'rsatdi. Grafik tahlil asosida issiqlik almashinuvi samaradorligi va gidravlik yo'qotishlar o'rtasidagi eng maqbul muvozanat $w = 0,6$ m/s tezlikda kuzatilishi aniqlandi. Ushbu tezlikda issiqlik berish koeffitsienti yetarlicha yuqori bo'lib, bosim yo'qotilishi hali amaliy jihatdan maqbul darajada qoladi. Olingan natijalar transformator moyi bilan ishlovchi quvurli issiqlik almashinish qurilmalarini loyihalashda oqim tezligini tanlash uchun muhim amaliy ahamiyatga ega. Kelgusida tadqiqotni turbulent rejim, turbolizatorlardan foydalanish yoki eksperimental ma'lumotlar bilan solishtirish orqali kengaytirish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Михеев, Михеева — “Основы теплопередачи”.
2. Е. А. Краснощеков, А. С. Сукомел: Задачник по теплопередаче, Четвертое издание.
3. Kothandaraman — Heat and Mass Transfer.
4. K. S. N. Raju — FLUID MECHANICS, HEAT TRANSFER, AND MASS TRANSFER.
5. Abay Dostiyarov, Gulzira Koldassova, Nellya Jamankulova, Aliya Dostiyarova, Iliya Iliev and Ivan Beloev: Heat Transfer Intensification in Recuperative Heat Exchangers of the Stirling Engine.
6. Kuppan Thulukkanam: Heat Exchanger Design Handbook.