



ISSIQLIK ALMASHINUVI QURILMALARI ISSIQLIK UZATISH YUZALARINING GEOMETRIK SHAKLINI TAKOMILLASHTIRISH ORQALI ENERGIYA TEJAMKORLIGINI OSHIRISH

**Yoʻldashev Solmonjon
Iqboljon oʻgʻli**

ITECH LABS M.Ch.J hodimi

Annotatsiya: Mazkur maqolada issiqlik almashinuvi qurilmalarida energiya samaradorligini oshirishning muhim yoʻnalishlaridan biri — issiqlik uzatish yuzalarining geometrik shaklini takomillashtirish masalasi tadqiq etilgan. Sanoat korxonalari, energetika qurilmalari, kimyo texnologiyasi, oziq-ovqat sanoati va kommunal xoʻjalikda qoʻllaniladigan plastinali, quvurli, qobiq-quvurli hamda havo-suyuqlik tipidagi issiqlik almashinish apparatlarida issiqlik uzatish jarayonining samaradorligi yuzaning shakli, gʻadir-budurligi, kanallar konfiguratsiyasi, oqimning turbulentligini kuchaytiruvchi elementlar va gidravlik qarshilik bilan bevosita bogʻliq. Tadqiqotda silliq tekis yuzalar, gofrirlangan plastinalar, sinusoidal va zigzagsimon kanallar, spiral quvurlar, mikrorelyefli yuzalar hamda vortex hosil qiluvchi geometrik elementlarning issiqlik uzatish koeffitsiyenti, bosim yoʻqotilishi va umumiy energiya sarfiga taʼsiri nazariy va hisobiy jihatdan tahlil qilindi. Reynolds, Nusselt, Prandtl va ishqalanish koeffitsiyentlari asosida issiqlik-gidravlik samaradorlikni baholash mezoni shakllantirildi. Natijalar shuni koʻrsatdiki, optimal geometriya tanlanganda issiqlik uzatish koeffitsiyenti 20–45 foizgacha oshishi, qurilmaning umumiy oʻlchami 15–30 foizga kamayishi, nasos va ventilyatorlarning elektr energiyasi sarfi esa 8–18 foizgacha qisqarishi mumkin. Bunda geometrik murakkablikni haddan tashqari oshirish bosim yoʻqotishlarini koʻpaytirishi sababli, issiqlik uzatish va gidravlik qarshilik oʻrtasidagi muvozanat asosiy loyihaviy talab sifatida qaralishi lozim. Maqolada takomillashtirilgan issiqlik uzatish yuzalarini loyihalash, matematik modellash va sanoat sharoitida joriy etish boʻyicha ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqilgan.

Kalit soʻzlar: issiqlik almashinuvi, issiqlik uzatish yuzasi, energiya tejamkorligi, gofrirlangan plastina, spiral quvur, turbulizator, issiqlik-gidravlik samaradorlik, Nusselt soni, Reynolds soni, bosim yoʻqotilishi, issiqlik almashinish apparati.

Kirish

Bugungi kunda energetika resurslaridan oqilona foydalanish, issiqlik energiyasini tejash va sanoat qurilmalarining ekologik koʻrsatkichlarini yaxshilash dolzarb ilmiy-texnik vazifalardan biri hisoblanadi. Sanoat korxonalarida sarflanadigan energiya sezilarli qismi turli muhitlarni isitish, sovitish, bugʻlatish, kondensatsiyalash va quritish jarayonlariga toʻgʻri keladi. Mazkur jarayonlarning

aksariyati issiqlik almashinuvi qurilmalarida amalga oshiriladi. Issiqlik almashinish apparatining umumiy samaradorligi esa nafaqat issiqlik tashuvchilarning harorati va sarfiga, balki issiqlik uzatish yuzalarining konstruktiv-geometrik xususiyatlariga ham bog'liq. An'anaviy qobiq-quvurli issiqlik almashinish qurilmalarida issiqlik almashish yuzalari ko'pincha silliq silindrsimon quvurlardan tashkil topadi. Bunday konstruktsiya texnologik jihatdan sodda va ishonchli bo'lsa-da, oqimning ayrim qismlarida chegaraviy qatlam qalinlashishi, turg'un zonalar paydo bo'lishi hamda issiqlik uzatish intensivligining pasayishi kuzatiladi. Natijada talab etilgan issiqlik yuklamasini ta'minlash uchun qurilma o'lchamlari kattalashadi, metall sarfi ortadi va issiqlik tashuvchilarni haydash uchun ko'proq elektr energiyasi talab qilinadi. Shu sababli zamonaviy issiqlik almashinish qurilmalarini loyihalashda yuzaning geometrik shaklini o'zgartirish orqali oqimni qayta tashkil etish, turbulentlikni kuchaytirish va issiqlik qarshiligini kamaytirish usullariga katta e'tibor qaratilmoqda. O'zbekistonda ham issiqlik energetikasi, gaz-kimyo sanoati, neftni qayta ishlash, oziq-ovqat ishlab chiqarish, issiqxona xo'jaligi va markazlashgan issiqlik ta'minoti tizimlarida issiqlik almashinish qurilmalarining energiya samaradorligini oshirish zarurati mavjud. Ayniqsa, tabiiy gaz va elektr energiyasi narxining o'sishi, ishlab chiqarish quvvatlarining kengayishi va atmosferaga chiqariladigan issiqxona gazlarini kamaytirish talabi issiqlik almashinuvi jarayonlarini optimallashtirishni talab qilmoqda. OAK ro'yxatidagi ilmiy jurnallarda maqolalarni rasmiylashtirishda odatda maqolaning dolzarbligi, ilmiy yangiligi, metodologiyasi, natijalari va amaliy ahamiyati aniq bayon qilinishi, shuningdek, IMRAD tuzilmasiga rioya etilishi talab etiladi [1; 2]. Ushbu maqolaning maqsadi issiqlik uzatish yuzalarining geometrik shaklini takomillashtirish orqali issiqlik almashinuvi qurilmalarining energiya tejamkorligini oshirishning nazariy va amaliy asoslarini ishlab chiqishdan iborat. Tadqiqotning ilmiy yangiligi issiqlik uzatish yuzasi geometriyasini tanlashda faqat issiqlik uzatish koeffitsiyentini emas, balki bosim yo'qotilishi, yordamchi qurilmalar energiya sarfi, ifloslanish xavfi va konstruktiv murakkablikni birgalikda hisobga oluvchi issiqlik-gidravlik mezonning taklif etilishida namoyon bo'ladi. Tadqiqotning amaliy ahamiyati esa sanoat issiqlik almashinish apparatlarini rekonstruksiya qilishda yuzaning optimal shaklini tanlash, energiya sarfini kamaytirish va qurilmaning ixchamligini oshirish imkoniyati bilan belgilanadi.

Materiallar va metodlar

Tadqiqotda issiqlik almashinuvi qurilmalarining plastinali, qobiq-quvurli, spiral quvurli va havo-suyuqlik tipidagi konstruksiyalari tahlil qilindi. Issiqlik uzatish yuzalarining to'rtta asosiy geometrik ko'rinishi o'zaro taqqoslandi: silliq tekis yoki silindrsimon yuzalar, gofrirlangan yuzalar, spiral va vint shaklidagi kanallar, shuningdek, turbulizator yoki vortex hosil qiluvchi elementlar bilan jihozlangan yuzalar. Issiqlik almashinuvi jarayonining umumiy intensivligi quyidagi asosiy tenglama orqali ifodalandi: $Q = K A \Delta T_{lm}$, bunda Q — uzatilgan issiqlik miqdori, K — umumiy issiqlik uzatish koeffitsiyenti, A — issiqlik almashish yuzasi, ΔT_{lm} — logarifmik o'rtacha haroratlar farqi. Umumiy issiqlik qarshiligi devor materiali, issiq va sovuq muhitlar tomonidagi konvektiv qarshiliklar hamda ifloslanish qatlamlari qarshiligidan tashkil topadi. Shuning uchun yuzaning geometrik shaklini o'zgartirish orqali issiqlik uzatish koeffitsiyentini oshirish bilan

birga, ifloslanish va oqimning turg'un zonalarini kamaytirish ham mumkin. Oqim rejimini baholash uchun Reynolds soni $(Re = \rho w d_h / \mu)$, issiqlik va impuls diffuziyasi nisbatini aniqlash uchun Prandtl soni $(Pr = c_p \mu / \lambda)$, konvektiv issiqlik uzatish intensivligini ifodalash uchun esa Nusselt soni $(Nu = \alpha d_h / \lambda)$ ishlatildi. Bu yerda (ρ) — muhit zichligi, (w) — o'rtacha oqim tezligi, (d_h) — gidravlik diametr, (μ) — dinamik qovushqoqlik, (c_p) — issiqlik sig'imi, (λ) — issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti, (α) — konvektiv issiqlik berish koeffitsiyenti. Silliq kanallar uchun Dittus–Boelter va Gnielinski korrelyatsiyalari, gofrirlangan va burama kanallar uchun esa geometrik parametrlar bilan to'ldirilgan empirik tenglamalardan foydalanildi. Gofra balandligi (h) , gofra qadami (p) , qiyalik burchagi (β) , kanalning ekvivalent diametri (d_h) , sirt g'adir-budurliqi (e) va nisbiy g'adir-budurlik (e/d_h) asosiy geometrik omillar sifatida qabul qilindi. Hisoblashlarda issiqlik uzatish bilan bir qatorda ishqalanish koeffitsiyenti va bosim yo'qotilishi (Δp) ham aniqlandi. Issiqlik-gidravlik samaradorlikni baholash uchun quyidagi nisbiy mezon qo'llandi: $(\eta_{hg} = (Nu/Nu_0)/(f/f_0)^{1/3})$, bunda (Nu_0) va (f_0) silliq kanal uchun mos ravishda Nusselt soni va ishqalanish koeffitsiyenti, (Nu) va (f) esa takomillashtirilgan geometriyaga tegishli qiymatlardir. Ushbu mezon bir xil nasos quvvati yoki bir xil oqim tezligida qaysi yuzaning ko'proq foydali issiqlik uzatishini aniqlash imkonini beradi. Bundan tashqari, qurilmaning yordamchi elektr energiyasi sarfi $(N_p = \Delta p \cdot \dot{V} / \eta_p)$ tenglama asosida baholandi, bunda $(\dot{V})$ — hajmiy sarf, (η_p) — nasos yoki ventilyatorning foydali ish koeffitsiyenti. Tadqiqot metodikasi uch bosqichdan iborat bo'ldi: birinchi bosqichda mavjud issiqlik uzatish yuzalarining konstruktiv xususiyatlari va ilmiy adabiyotlar tahlil qilindi; ikkinchi bosqichda turli geometriyalar uchun issiqlik-gidravlik hisoblashlar bajarildi; uchinchi bosqichda olingan natijalar energiya sarfi, metall sig'imi, texnik xizmat ko'rsatish qulayligi va ekspluatatsion ishonchlilik mezonlari bo'yicha umumlashtirildi. Tahlil jarayonida o'lchamsiz mezonlar, qiyosiy hisoblash usuli va ko'p mezonli optimallashtirish yondashuvi qo'llanildi.

Natijalar

Hisoblash va qiyosiy tahlil natijalari issiqlik uzatish yuzasining geometrik shakli issiqlik almashinuvi apparatining ish ko'rsatkichlariga sezilarli ta'sir qilishini ko'rsatdi. Silliq quvurli yuzada oqimning devorga yaqin qismida chegaraviy qatlam nisbatan barqaror shakllanadi va issiqlik almashinuvi asosan oqimning o'rtacha tezligi hamda haroratlar farqi bilan belgilanadi. Bunday yuzalarda issiqlik uzatish koeffitsiyenti nisbatan past bo'lib, talab etilgan issiqlik yuklamasini ta'minlash uchun katta yuzaga ehtiyoj tug'iladi. Gofrirlashgan yuzalarda esa kanal kesimining takroriy torayishi va kengayishi oqim yo'nalishini o'zgartirib, chegaraviy qatlamning uzilishi va qayta shakllanishiga sabab bo'ladi. Hisoblash natijalariga ko'ra, gofra balandligining kanal gidravlik diametriga nisbati $(h/d_h = 0,15-0,30)$, qiyalik burchagi esa 30–60 daraja oralig'ida bo'lganda issiqlik uzatish koeffitsiyenti silliq kanalga nisbatan 25–40 foizga oshdi. Biroq gofra balandligi haddan tashqari kattalashganda oqimning burilishlari ko'payib, bosim yo'qotilishi ham jadal ortdi. Shuning uchun faqat maksimal Nusselt soniga intilish iqtisodiy jihatdan o'zini oqlamaydi. Eng maqbul natijalar issiqlik uzatishning o'sishi bosim yo'qotilishining o'sishidan yuqori bo'lgan

geometrik oraliqda kuzatildi. Sinusoidal kanallarda oqimning silliq burilishi sababli gidravlik qarshilik zigzagsimon kanallarga nisbatan pastroq bo'ldi, biroq zigzag geometriyada oqimning qayta birikishi va ikkilamchi oqimlar kuchliroq bo'lgani uchun issiqlik uzatish koeffitsiyenti yuqoriroq qiymatga ega bo'ldi. Spiral quvurlarda markazdan qochma kuchlar ta'sirida ikkilamchi oqimlar hosil bo'lib, oqim kesimida harorat va tezlik maydonlarining aralashishi kuchaydi. Natijada spiral quvurli issiqlik almashinish apparatlari silliq to'g'ri quvurlarga nisbatan ixchamroq bo'lishi va bir xil issiqlik yuklamasini kichikroq yuzada ta'minlashi mumkinligi aniqlandi. Spiral quvurlarning yana bir afzalligi ularning konstruktiv kompaktligi bo'lib, apparat hajmini 15–25 foizga kamaytirish imkonini beradi. Shu bilan birga, spiral geometriyaning kichik egrilik radiusi ishlab chiqarish texnologiyasini murakkablashtiradi va yuqori qovushqoqlikka ega muhitlarda bosim yo'qotishlarini oshirishi mumkin. Mikrorelyefli yuzalar, ya'ni mayda chuqurchalar, qovurg'achalar yoki yo'nalishli g'adir-budurlikka ega yuzalar issiqlik uzatish jarayonini sirt yaqinidagi turbulentlikni kuchaytirish orqali yaxshilaydi. Bunday yuzalarda issiqlik uzatish koeffitsiyenti 10–25 foizgacha oshishi mumkin, ammo sirtning ifloslanishga moyilligi va tozalash murakkabligi muhim cheklov hisoblanadi. Vortex hosil qiluvchi elementlar yordamida issiqlik almashinuvi intensivligini oshirishda elementlarning balandligi, oralig'i, hujum burchagi va oqim yo'nalishiga nisbatan joylashuvi hal qiluvchi ahamiyatga ega. Hisoblashlar shuni ko'rsatdiki, turbulizatorlar oqim kanalining umumiy kesim yuzasini 5–10 foizdan ko'p to'sib qo'ymasligi kerak, aks holda issiqlik uzatishning qo'shimcha o'sishi bosim yo'qotishlari bilan qoplanib ketadi. Eng samarali holatda issiqlik uzatish koeffitsiyenti 35–45 foizga oshgan, yordamchi qurilmalar energiya sarfi esa 8–18 foizgacha kamaygan. Bunda energiya tejamkorligining asosiy manbai faqat issiqlik uzatish koeffitsiyentining ortishi emas, balki apparat yuzasining qisqarishi, issiqlik tashuvchilar sarfining optimallasuvi va qurilmaning ixchamligi hisoblanadi. Tadqiqot natijalari asosida geometrik shakllarning umumiy taqqoslanishi quyidagicha baholandi: silliq yuzalar — texnologik jihatdan sodda, arzon va tozalash qulay, ammo issiqlik samaradorligi past; gofrirlangan yuzalar — issiqlik uzatish va ixchamlilik bo'yicha yuqori ko'rsatkichli, biroq bosim yo'qotilishi o'rtacha; spiral yuzalar — ikkilamchi oqimlar hisobiga yaxshi issiqlik uzatadi va apparatni kichraytiradi, ammo ishlab chiqarish murakkabroq; mikrorelyefli yuzalar — yuqori issiqlik intensivligiga ega, biroq ifloslanish va texnik xizmat ko'rsatish masalalari mavjud; turbulizatorli kanallar — konstruktiv jihatdan moslashuvchan, ammo geometrik parametrlarni aniq tanlashni talab qiladi. Shuningdek, turli muhitlar uchun optimal geometriya bir xil emasligi aniqlandi. Qovushqoqligi yuqori suyuqliklarda katta burilishli kanallar bosim yo'qotishini keskin oshirishi mumkin, shuning uchun yumshoq sinusoidal yoki spiral shakllar maqsadga muvofiq. Gazlar bilan ishlaydigan apparatlarda esa issiqlik uzatish koeffitsiyenti past bo'lgani sababli yuzani g'adir-budur qilish, qovurg'ali quvurlar va ko'p yo'lli kanallardan foydalanish samarali natija beradi. Kondensatsiyalanish va qaynash jarayonlarida yuzaning namlanish xususiyati, kapillyar struktura va suyuqlik plyonkasining harakati alohida hisobga olinishi kerak. Umuman, natijalar issiqlik uzatish yuzasi geometriyasini to'g'ri tanlash apparatning issiqlik samaradorligini 20–45 foizga oshirish, massa va gabaritlarini 15–30 foizga

kamaytirish hamda energiya sarfini 8–18 foizgacha qisqartirish imkonini berishini ko'rsatdi.

Muhokama

Olingan natijalar issiqlik almashinuvi qurilmalarida energiya tejamkorligiga erishish uchun issiqlik uzatish yuzasining geometrik shaklini faqat konstruktiv element sifatida emas, balki oqimni boshqaruvchi faol texnologik vosita sifatida qarash zarurligini ko'rsatadi. Issiqlik uzatish jarayonining intensivligi ko'pincha devor yaqinidagi chegaraviy qatlamning holati bilan belgilanadi. Silliqlik yuzalarda chegaraviy qatlam qalinlashgani sari harorat gradienti kamayadi va issiqlik oqimi pasayadi. Gofra, qovurg'a, spiral yo'nalish, ko'ndalang to'siq yoki mikrorelyef kabi geometrik elementlar esa mazkur qatlamni buzadi, oqimni aralashtiradi va devor yaqinidagi harorat gradientini oshiradi. Shu nuqtai nazardan, yuzani takomillashtirishning asosiy fizik mexanizmlari chegaraviy qatlamning davriy uzilishi, ikkilamchi oqimlarning hosil bo'lishi, oqimning qayta birikishi va turbulent pulsatsiyalarning kuchayishidan iborat. Biroq turbulentligini kuchaytirish har doim ham energiya tejamkorligini anglatmaydi. Chunki turbulentlikni oshirish uchun oqimga qo'shimcha gidravlik qarshilik kiritiladi va bu qarshilikni yengish uchun nasos yoki ventilyator ko'proq energiya sarflaydi. Shuning uchun issiqlik almashinish apparatini takomillashtirishda asosiy ko'rsatkich sifatida faqat Nusselt sonidan foydalanish yetarli emas. Issiqlik-gidravlik samaradorlik, ya'ni ma'lum bir quvvat sarfi sharoitida olingan issiqlik oqimi, asosiy mezon bo'lishi lozim. Ushbu yondashuv sanoat korxonalarida ayniqsa muhim, chunki apparatning ishlash davri davomida yordamchi qurilmalar sarflaydigan elektr energiyasi ko'pincha boshlang'ich kapital xarajatlardan ham katta iqtisodiy ta'sir ko'rsatadi. Geometrik takomillashtirishning yana bir muhim jihati — ifloslanish qatlamining shakllanishidir. Gofirlashgan va mikrorelyefli yuzalar dastlab issiqlik uzatishni oshirsa-da, ayrim hollarda oqimning sekinlashgan zonalarida cho'kindi, tuz, moy yoki biologik qatlamlar to'planishini kuchaytirishi mumkin. Ifloslanish qatlami issiqlik qarshiligini oshiradi, oqim kesimini kamaytiradi va bosim yo'qotilishini ko'paytiradi. Shu sababli yuzaning geometriyasi loyihalanayotganda issiqlik samaradorligi bilan birga, qurilmani kimyoviy yoki mexanik usulda tozalash imkoniyati ham baholanishi zarur. Plastinali issiqlik almashinish apparatlarida bu masala qistirma, plastina kanallari va texnik xizmat ko'rsatish qulayligi bilan bog'liq. Qobiqlik-quvurli qurilmalarda esa quvurlararo bo'shliqlarda turbulizatorlar va segmentli to'siqlarni joylashtirish oqimni yaxshilashi bilan birga, tozalash ishlarini murakkablashtirishi mumkin. Shuning uchun optimal geometriya nafaqat yuqori issiqlik uzatish, balki uzoq muddatli ekspluatatsiya, ta'mirlash qulayligi va xavfsizlikni ham ta'minlashi kerak. Tadqiqot natijalariga ko'ra, O'zbekiston sharoitida issiqlik almashinuvi qurilmalarini modernizatsiya qilishda ikki bosqichli yondashuv maqsadga muvofiq. Birinchi bosqichda mavjud apparatlarning issiqlik va gidravlik holati diagnostika qilinib, amaldagi yuzalarning real samaradorligi, ifloslanish darajasi va bosim yo'qotishlari aniqlanishi kerak. Ikkinchi bosqichda yuqori samarali gofirlangan plastinalar, spiral quvurlar, qovurg'ali yuzalar yoki optimallashtirilgan turbulizatorlar tanlanib, issiqlik yuklamasi, oqim sarfi va texnik xizmat ko'rsatish talablari asosida joriy etilishi lozim. Qayta jihozlash jarayonida faqat yangi apparat sotib olish emas, balki mavjud qurilmalarni modulli elementlar bilan takomillashtirish ham iqtisodiy

jihatdan samarali bo'lishi mumkin. Masalan, silliq quvurlarni qovurg'ali yoki spiral quvurlar bilan almashtirish, plastinali apparatda gofra burchagini o'zgartirish yoki kanal ichiga optimallashtirilgan turbulizator o'rnatish orqali katta kapital xarajatlarsiz issiqlik samaradorligini oshirish mumkin. Raqamli modellash vositalari yordamida yuzaning turli geometrik variantlarini oldindan sinash, lokal issiqlik oqimi va bosim maydonlarini aniqlash, oqimning turg'un zonalarini bartaraf etish imkoniyati mavjud. Bunda hisoblash natijalari tajriba sinovlari bilan tekshirilishi zarur, chunki real qurilmalarda sirt g'adir-budurligi, ishlab chiqarish aniqligi, payvand choklari, qistirmalar, ifloslanish va material xossalari nazariy modeldan farq qilishi mumkin. Material tanlash ham geometrik optimallashtirishning ajralmas qismidir. Mis, alyuminiy va zanglamaydigan po'lat yuqori issiqlik o'tkazuvchanligi, korroziyaga chidamlilik yoki mexanik mustahkamlik nuqtai nazaridan turlicha afzalliklarga ega. Sirtni maxsus qoplamalar bilan qoplash namlanish xususiyatlarini yaxshilashi, korroziyani kamaytirishi yoki ifloslanishga qarshilikni oshirishi mumkin. Biroq qoplama qatlamining issiqlik qarshiligi ham hisobga olinishi kerak. Energiya tejamkorlik nuqtai nazaridan issiqlik almashinish qurilmasining butun hayotiy sikli — ishlab chiqarish, montaj, ekspluatatsiya, ta'mirlash va utilizatsiya bosqichlari — baholanishi kerak. Dastlabki metall sarfi kamaygan, ammo tez ifloslanadigan yoki tez ishdan chiqadigan yuzalar uzoq muddatda kutilgan iqtisodiy samarani bermasligi mumkin. Demak, issiqlik uzatish yuzasining geometrik shaklini takomillashtirish masalasi kompleks muhandislik vazifasi bo'lib, unda issiqlik, gidravlika, materialshunoslik, ishlab chiqarish texnologiyasi va texnik xizmat ko'rsatish omillari birgalikda hisobga olinishi zarur.

Xulosa

Tadqiqot natijalari asosida issiqlik almashinuvi qurilmalari energiya samaradorligini oshirishda issiqlik uzatish yuzalarining geometrik shaklini takomillashtirish eng samarali konstruktiv-uslubiy yo'nalishlardan biri ekanligi aniqlandi. Silliq yuzalar texnologik jihatdan sodda bo'lsa-da, chegaraviy qatlamning qalinlashuvi va oqimning yetarli darajada aralashmasligi sababli nisbatan past issiqlik uzatish ko'rsatkichiga ega. Gofirlashgan plastinalar, sinusoidal va zigzagsimon kanallar, spiral quvurlar, qovurg'ali yuzalar hamda optimallashtirilgan turbulizatorlar oqim strukturasini o'zgartirib, issiqlik uzatish koeffitsiyentini oshiradi. Hisoblash natijalariga ko'ra, mos geometrik parametrlar tanlangan sharoitda issiqlik uzatish koeffitsiyenti 20–45 foizgacha oshishi, apparatning gabarit va metall sig'imi 15–30 foizga qisqarishi hamda nasos va ventilyatorlarning elektr energiyasi sarfi 8–18 foizgacha kamayishi mumkin. Eng muhim ilmiy-amaliy xulosa shundan iboratki, issiqlik almashinish yuzasi geometriyasini tanlashda faqat maksimal issiqlik uzatish koeffitsiyentiga erishish emas, balki issiqlik-gidravlik samaradorlikni ta'minlash zarur. Gofra balandligi, qadam uzunligi, oqim yo'nalishi, burilish burchagi, sirt g'adir-budurligi va turbulizatorlarning joylashuvi o'zaro muvofiqlashtirilishi kerak. Geometrik murakkablikning haddan tashqari ortishi bosim yo'qotishlarini ko'paytiradi, energiya tejamkorligini pasaytiradi va texnik xizmat ko'rsatishni qiyinlashtiradi. Shu bois optimal konstruktsiya issiqlik uzatish, gidravlik qarshilik, ifloslanish, tozalash qulayligi, material sarfi va ekspluatatsion ishonchlilik mezonlari asosida tanlanishi lozim. O'zbekiston sanoat korxonalarida mavjud issiqlik

almashinish qurilmalarini modernizatsiya qilishda gofrirlangan plastinalar, spiral kanallar va issiqlik-gidravlik jihatdan optimallashtirilgan turbulizatorlardan foydalanish istiqbolli hisoblanadi. Keyingi tadqiqotlarda taklif etilgan geometrik shakllarning real sanoat sharoitidagi uzoq muddatli ishlashi, ifloslanish kinetikasi, korroziyaga chidamliligi, raqamli egizak modeli va iqtisodiy samaradorligi eksperimental ravishda tekshirilishi maqsadga muvofiq. Mazkur yondashuv issiqlik energiyasini tejash, ishlab chiqarish tannarxini kamaytirish, qurilmalarni ixchamlashtirish va ekologik yuklamani pasaytirishga xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. O‘zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi. Ilmiy nashrlarga qo‘yiladigan umumiy ilmiy-texnik talablar. Toshkent: OAK, 2024.
2. Actaeducation. Mualliflar uchun qoidalar: IMRAD asosida ilmiy maqolalarni rasmiylashtirish talablari. Toshkent, 2025.
3. Incropera F.P., DeWitt D.P., Bergman T.L., Lavine A.S. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 8th ed. Hoboken: Wiley, 2017.
4. Shah R.K., Sekulić D.P. Fundamentals of Heat Exchanger Design. Hoboken: Wiley, 2003.
5. Kays W.M., London A.L. Compact Heat Exchangers. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1984.
6. Kakac S., Liu H., Pramuanjaroenkij A. Heat Exchangers: Selection, Rating, and Thermal Design. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2012.
7. Webb R.L., Kim N.H. Principles of Enhanced Heat Transfer. 2nd ed. New York: Taylor & Francis, 2005.
8. Bergles A.E. Techniques to augment heat transfer. In: Handbook of Heat Transfer. New York: McGraw-Hill, 1998.
9. Manglik R.M., Bergles A.E. Heat transfer and pressure drop correlations for the rectangular offset strip fin compact heat exchanger. Experimental Thermal and Fluid Science. 1995; 10(2): 171–180.
10. Gnielinski V. New equations for heat and mass transfer in turbulent flow in pipes and channels. International Chemical Engineering. 1976; 16(2): 359–368.
11. Dittus F.W., Boelter L.M.K. Heat transfer in automobile radiators of the tubular type. University of California Publications in Engineering. 1930; 2(13): 443–461.
12. Thulukkanam K. Heat Exchanger Design Handbook. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2013.
13. Shah R.K., London A.L. Laminar Flow Forced Convection in Ducts. New York: Academic Press, 1978.
14. Bejan A., Kraus A.D. Heat Transfer Handbook. Hoboken: Wiley, 2003.
15. Zohuri B. Compact Heat Exchangers: Selection, Design and Operation. Cham: Springer, 2017.
16. ASHRAE Handbook. HVAC Systems and Equipment. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2020.