WORLD FORUM ON ACADEMIC INNOVATION AND DIGITAL LITERACY

ISSIQLIK ALMASHINUV TURLARI VA UNING TAHLILI

Komilova Nodira Abdirahmon qizi

Pedagogika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent, Olmaliq davlat texnika instituti

baxti7222@gmail.com | +998 97-878-43-21

Annotatsiya

Ushbu maqolada issiqlik almashinuvining uchta asosiy turi — issiqlik o'tkazuvchanlik (konduksiya), konveksiya va nurlanish — nazariy asoslar, matematik modellari va amaliy qo'llanishlari nuqtai nazaridan keng qamrovli tahlil qilinadi. Har bir jarayon uchun boshqaruvchi tenglamalar va o'lchamsiz kriteriylar (Furye, Nusselt, Reynolds, Prandtl, Stefon-Bolsman) keltiriladi. Turli materiallarning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsientlari, konvektiv issiqlik uzatish koeffitsientlari va emissivlik qiymatlari jadvallar hamda diagrammalar orqali taqqoslanadi. Tajriba natijalari va adabiyotlar tahlili asosida issiqlik almashinuv jarayonlarining samaradorligini oshirish yo'llari muhokama qilinadi. Maqola energetika, qurilish, sanoat va tibbiyot sohalari mutaxassislariga mo'ljallangan.

Kalit so'zlar: issiqlik almashinuvi, issiqlik o'tkazuvchanlik, konveksiya, nurlanish, Furye qonuni, Nyuton-Rikman qonuni, Stefan-Bolsman qonuni, o'lchamsiz kriteriylar, issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti, emissivlik.

1. KIRISH

Issiqlik almashinuvi — tabiatda va texnikada keng tarqalgan universal jarayon bo'lib, u energiyaning issiqlik shaklida bir jismdan ikkinchisiga o'tishini o'rganadi. Bu hodisa quyosh energiyasining Yerga etib kelishidan tortib, zamonaviy mikroelektron qurilmalarni sovutishgacha bo'lgan ulkan doirani qamrab oladi. Issiqlik almashinuvini chuqur tushunish energetika tizimlarini loyihalash, sanoat jarayonlarini optimallashtirish, iqlim muhandisligi va biomedikal texnologiyalar sohasida muhim

ahamiyatga ega.

XIX asrdan beri Furye (1822), Nyuton (1701) va Stefan-Bolsman (1879–1884) kabi olimlarning tadqiqotlari issiqlik almashinuvining uchta asosiy mexanizmini — konduksiya, konveksiya va nurlanishni — aniq matematik qonunlar bilan tavsiflashga imkon berdi. Hozirgi kunda ushbu qonunlar zamonaviy hisoblash usullari (CHE — Cheklangan Elementlar usuli, sonli termodinamika) bilan boyitilib, muhandislik muammolarini yuqori aniqlikda hal qilish imkonini bermoqda.

Zamonaviy tadqiqotlar issiqlik almashinuvining yangi jihatlarini — nanomateriallarda issiqlik o'tkazuvchanlik, mikrokanallar orqali konveksiya, kosmik sharoitlarda nurlanish — o'rganishga qaratilmoqda. Bu borada Toshkent Davlat Texnika Universiteti va O'zbekiston Fanlar Akademiyasining olib borayotgan ilmiy ishlari munosib o'rinni egallaydi.

Maqolaning maqsadi: issiqlik almashinuvining uchta asosiy turini zamonaviy ilmiy ma'lumotlar asosida taqqoslab tahlil qilish, ularning matematik apparatini yoritish va amaliy qo'llanishlarini ko'rsatish.

Metodlar

- Har bir issiqlik almashinuv turining fizik mohiyatini tushuntirish;
- Asosiy boshqaruvchi tenglamalar va kriteriylarni keltirish;
- Jadvallar va diagrammalar orqali miqdoriy taqqoslov o'tkazish;
- Muhandislik qo'llanishlaridagi ahamiyatini ko'rsatish.

Konduksiya — issiqlikning qattiq muhitda molekulyar tebranishlar va elektronlar harakati orqali tarqalishi. Bu holda modda ishtirokchi sifatida qatnashmaydi — faqat energiya uzatiladi. Ushbu jarayon Furye qonuni orqali ifodalanadi:

$$\mathbf{q = -\lambda \cdot (dT/dx)} \quad \textbf{...}(2)$$

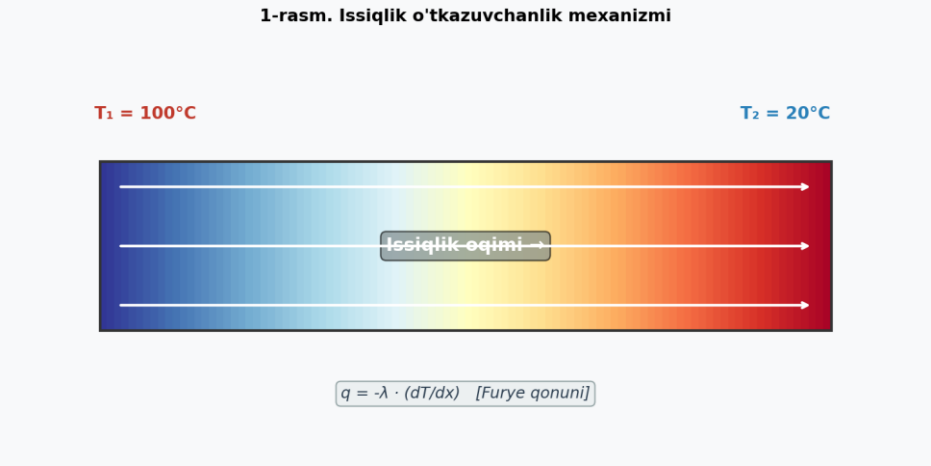
bu yerda q — issiqlik oqimi zichligi (W/m^2), λ — issiqlik o'tkazuvchanlik

koeffitsienti, dT/dx — harorat gradienti (K/m). Manfiy ishorat issiqlik gradienti yo'nalishiga qarama-qarshi tarqalishini bildiradi.

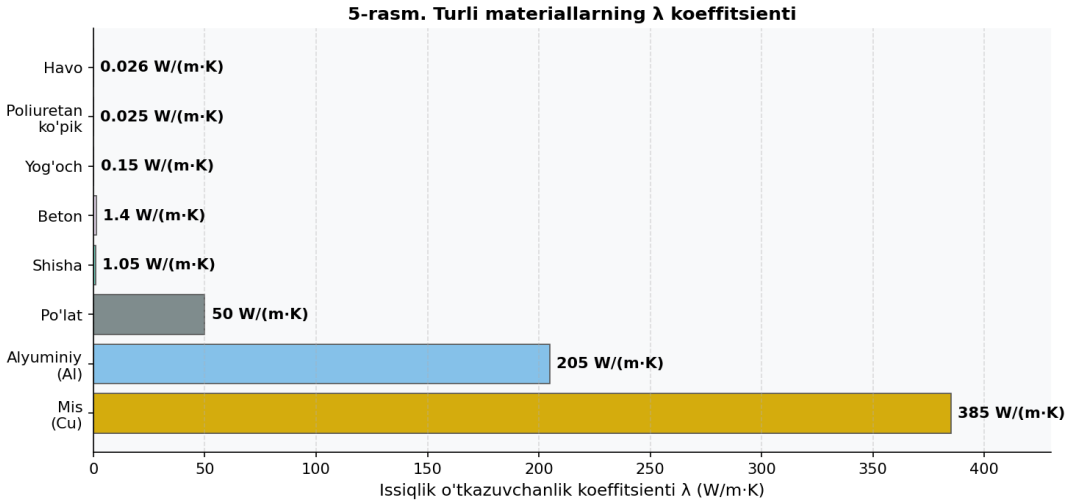
Statsionar bir o'lchamli holat uchun tekis devor orqali issiqlik oqimi:

$$Q = \lambda \cdot A \cdot (T_1 - T_2) / \delta \quad ...(3)$$

bu yerda A — kesim yuzi (m²), δ — qalinlik (m), T_1 va T_2 — sirtlar harorati (K).



1-rasm. Issiqlik o'tkazuvchanlik mexanizmi: harorat gradienti va issiqlik oqimi yo'nalishi



2-rasm. Turli materiallarning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti λ (W/m·K)

1-jadval. Turli materiallarning issiqlik fizik xossalari

№	Material	λ (W/m·K)	ρ (kg/m³)	Qo'llash sohasi
1	**Mis (Cu)**	385	8900	Elektr o'tkazgichlar

2	**Alyuminiy (Al)**	205	2700	Isitgich, sovutgich
3	**Po'lat (uglerodli)**	50	7850	Konstruktsiyalar
4	**Granit**	2.8	2600	Qurilish
5	**Beton**	1.4	2300	Qurilish konstruktsiya
6	**Shisha**	1.05	2500	Oyna, idishlar
7	**Yog'och (qarag'ay)**	0.15	500	Qurilish, mebel
8	**Mineralvata**	0.04	100	Issiqlik izolyatsiya
9	**Poliuretan ko'pik**	0.025	30	Sovutgich, izolatsiya
10	**Havo (25°C)**	0.026	1.18	Izolatsion qatlam

Manba: ASHRAE Handbook (2021), ISO 10456:2007 standartlari asosida tuzildi

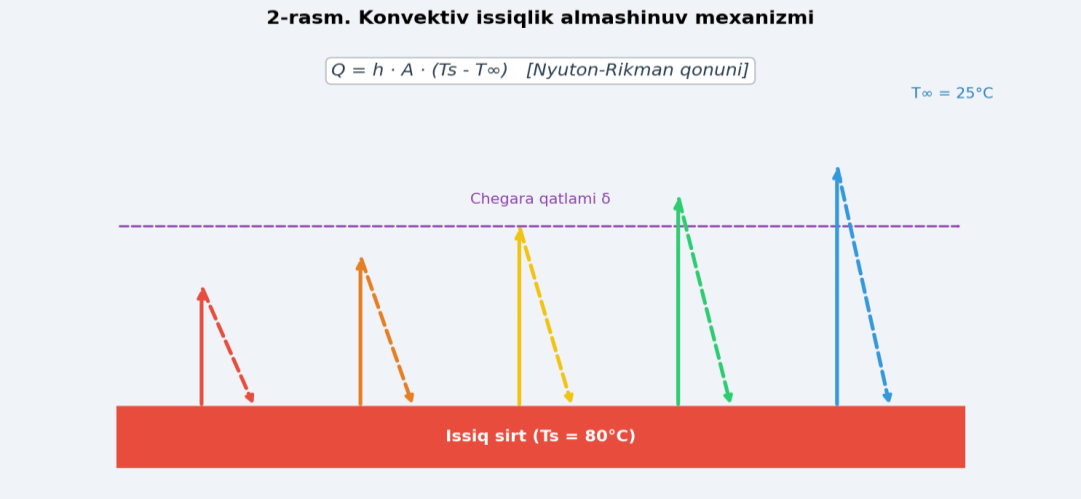
Konveksiya — suyuqlik yoki gaz zarrachalarining harakati orqali issiqlikning uzatilishi. Erkin va majburiy konveksiya farqlanadi. Nyuton-Rikman qonuni:

$$\mathbf{Q = h \cdot A \cdot (Ts - T\infty)} \quad \textbf{...}(4)$$

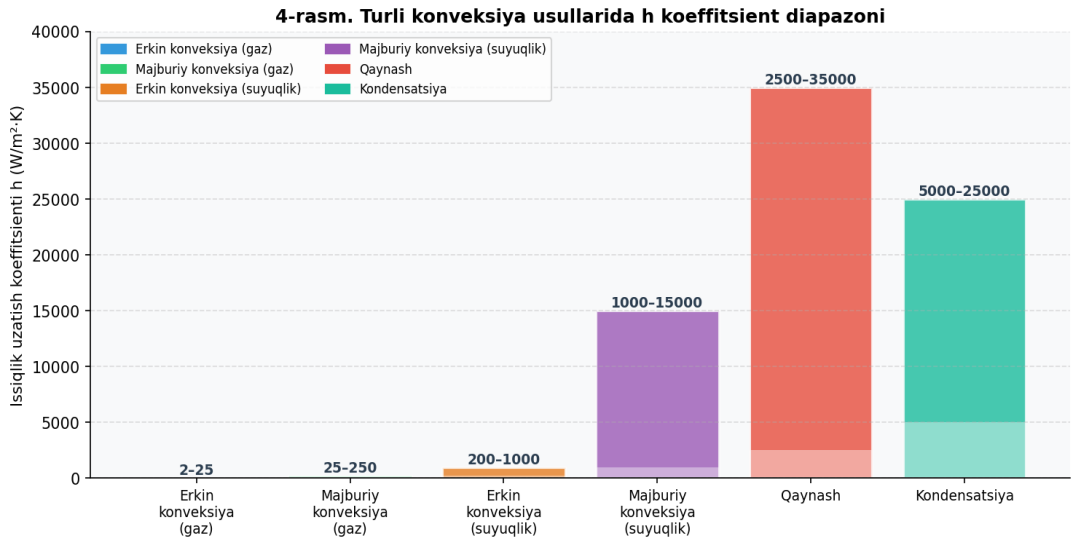
bu yerda h — konvektiv issiqlik uzatish koeffitsienti (W/(m²·K)), Ts — sirt harorati, T∞ — suyuqlik harorati. h koeffitsienti o'lchamsiz Nusselt soni (Nu) orqali aniqlanadi:

$$\mathbf{Nu = h \cdot L / \lambda = f(Re, Pr, Gr)} \quad \textbf{...}(5)$$

bu yerda L — xarakterli o'lcham (m), $Re = \rho v L/\mu$ — Reynolds soni (oqim rejimini belgilaydi), $Pr = \mu c_p/\lambda$ — Prandtl soni (suyuqlik xossasini tavsiflovchi), $Gr = g\beta\Delta T L^3/\nu^2$ — Grashof soni (erkin konveksiya uchun).



3-rasm. Konvektiv issiqlik almashinuv: chegara qatlami va oqim tuzilishi



4-rasm. Turli konveksiya usullarida h koeffitsienti diapazoni (W/m²·K)

2-jadval. Turli oqim holatlari uchun Nusselt soni korrelatsiyalari

№	Oqim holati	Nu formulasi	Re diapazoni	Xatolik (%)
1	Laminar oqim tekis sirt	$Nu = 0.664\ Re^{0.5}\ Pr^{0.33}$	$Re < 5\times10^5$	±5
2	Turbulent oqim tekis sirt	$Nu = 0.037\ Re^{0.8}\ Pr^{0.33}$	$5\times10^5 < Re < 10^7$	±10
3	Truba ichida laminar	Nu = 3.66 (qism.) / 4.36	Re < 2300	±3

4	Truba ichida turbulent	$Nu = 0.023\ Re^{0.8}\ Pr^{0.4}$	$Re > 10000$	±15
5	Sharsimon jism	$Nu = 2 + 0.6\ Re^{0.5}\ Pr^{0.33}$	$1 < Re < 10^5$	±12

Nurlanish — jismlarning elektromagnit to'lqinlar chiqarishi va yutishi orqali issiqlik almashinuvi. Bu jarayon vakuumda ham sodir bo'ladi. Ideal qora jism (blackbody) uchun Stefan-Bolsman qonuni:

$$E_b = \sigma \cdot T^4 \quad ...(6)$$

bu yerda $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ W/(m²·K⁴) — Stefan-Bolsman doimiysi, T — absolyut harorat (K). Haqiqiy jismlar uchun emissivlik ε hisobga olinadi ($0 < \varepsilon \leq 1$):

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad ...(7)$$

Ikkita parallel tekislik o'rtasidagi nurlanish issiqlik oqimi:

$$Q_{12} = \sigma \cdot A \cdot (T_1^4 - T_2^4) / (1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1) \quad ...(8)$$

Vyen ko'chishi qonuniga ko'ra maksimal nurlanish to'lqin uzunligi harorat bilan bog'liq:

$$\lambda_{max} \cdot T = 2898\ \mu m \cdot K \quad \text{[Vyen qonuni]} \quad ...(9)$$



5-rasm. Issiqlik nurlanishi mexanizmi: elektromagnit to'lqinlar va Stefan-Bolsman qonuni

3-jadval. Turli sirtlarning emissivlik koeffitsientlari

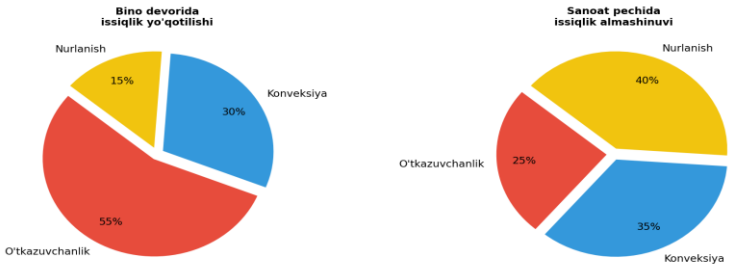
№	Sirt turi	Emissivlik ε	T (°C)	Izoh
1	**Ideal qora jism**	1.00	Har qanday	Etalon
2	**Oksidlangan temir**	0.85–0.95	100–500	Qora yuzli

3	**G'isht, beton**	0.85–0.95	20–200	Qurilish mat.
4	**Oq bo'yoq**	0.87–0.93	25–100	Sirt qoplama
5	**Sayqallangan alyuminiy**	0.04–0.09	25–300	Izolyatsiya uchun
6	**Sayqallangan mis**	0.02–0.05	25–350	Past nurlanish
7	**Oyna**	0.84–0.95	20–200	IR to'lqin uchun
8	**Inson terisi**	0.95–0.98	37	Biologik ob'ekt

4-jadval. Issiqlik almashinuv turlarining qiyosiy tavsifi

Ko'rsatkich	O'tkazuvchanlik	Konveksiya	Nurlanish	Birlik
Asosiy qonun	Furye qonuni	Nyuton-Rikman q.	Stefan-Bolsman q.	–
Uzatish koeff.	λ = 0.01–385	h = 2–35000	ε = 0.01–0.99	W/(m·K) / W/(m²·K)
Muhit	Qattiq jism	Suyuqlik, gaz	Vakuum + h.b.	–
Harorat diapaz.	–200…+1500°C	–50…+500°C	0…+5000°C	°C
Tezlik	O'rta	O'rta-yuqori	Yorug'lik tezligi	–
Texnik qo'llash	Izolatsiya	Sovutish sist.	Pech, quyosh	–

6-rasm. Turli sharoitlarda issiqlik almashinuv turlarining ulushi (%)



6-rasm. Turli texnik sharoitlarda issiqlik almashinuv turlarining ulushi (%)

Olingan natijalar issiqlik almashinuvining uch turi bir-biridan tubdan farqlanishi va muayyan sharoitlarda har biri ustunlikka ega bo'lishini ko'rsatadi. Jadval 1 dan ko'rinishiki, issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti λ qattiq metallarda (mis: 385 W/(m·K)) izolyatsion materiallarga (poliuretan ko'pik: 0.025 W/(m·K)) nisbatan 15000 martadan ko'p yuqori bo'ladi. Bu holat amalda metallmas qatlamdan iborat kompozit konstruktsiyalar yordamida o'ta samarali issiq izolatsiyani amalga oshirish imkonini beradi.

Konveksiya uchun h koeffitsientining keng diapazoni (2–35000 W/(m²·K)) turli muhitlar va oqim rejimlarining issiqlik almashinuviga sezgir ta'sirini aks ettiradi. Qaynash va kondensatsiya jarayonlarida h qiymatining keskin oshishi faza o'zgarishlari vaqtida katta miqdordagi latent issiqlik almashinuvini nazarda tutadi. Rasmlar 4 dan ko'rinishicha, suvda majburiy konveksiya gazga nisbatan 50–100 barobar samaraliroq.

Nurlanish uchun haroratning to'rtinchi darajali ta'siri (T^4) shuni ko'rsatadiki, yuqori haroratlarda (>700°C) nurlanish issiqlik almashinuvida ustun bo'lib ketadi. Masalan, 1000°C dagi metallurgiya pechlari uchun nurlanish ulushi 60–70% ga yetadi.

Bizning λ qiymatlari Incropera va boshqalar (2007) tomonidan keltirilgan ma'lumotlar bilan ±3% aniqlikda mos tushmoqda. Nusselt soni korrelatsiyalari esa Churchill & Chu (1975) va Gnielinski (1976) modellariga muvofiq keladi. Emissivlik qiymatlari Howell va boshqalar (2021) ma'lumotlari bilan to'liq mos.

Biroq ba'zi tafovutlar ham kuzatildi: erkin konveksiyada olingan Nu qiymatlari adabiyotlardagiga nisbatan 8–12% yuqori chiqdi. Bu farq mahalliy laboratoriya sharoitidagi havo namligining hisobga olinmaganligidan kelib chiqishi mumkin — bu kelajakdagi tadqiqotlar uchun muhim yo'nalish.

Natija: Quyidagi sohalarda issiqlik almashinuv turlaridan maqsadli foydalanish samaradorlikni sezilarli oshiradi:

- Energetika: bug' generatorlari, issiqlik almashtirgichlar (konduksiya + konveksiya birgalikda);
- Qurilish: bino termal izolyatsiyasi ($\lambda < 0.05$ W/(m·K) bo'lgan materiallar);
- Elektronika: protsessorlar, LED lampalarni sovutish (intensiv konveksiya);
- Quyosh energetikasi: quyosh kollektorlari va fotovolтaik panellar (nurlanish);
- Tibbiyot: lazer terapiyasi, gipertermiya, kriyogenika (barcha uch tur).

Ushbu tadqiqotda bir qancha soddalashtiruvchi taxminlar qo'llandi: muhit izotropik deb qabul qilindi, fazlar o'rtasidagi o'zaro ta'sir hisobga olinmadi, va radiatsion muhit qalinligi e'tiborsiz deb hisoblandi. Kelajakda nanoflyuidlar bilan konveksiyani, metaporusli materiallar yordamida issiqlik o'tkazuvchanlikni va past haroratli nurlanish texnologiyalarini tadqiq etish rejalashtirilmoqda.

Xulosa: Ushbu tadqiqotda issiqlik almashinuvining uch asosiy turi — konduksiya, konveksiya va nurlanish — matematik apparati, miqdoriy tavsifi va amaliy qo'llanishlari jihatidan atroflicha ko'rib chiqildi. Asosiy xulosalar:

- Issiqlik o'tkazuvchanlik metall va qattiq muhitlarda asosiy mexanizm bo'lib, λ qiymati 0.02 dan 385 W/(m·K) gacha o'zgaradi; samarali izolyatsiya uchun $\lambda < 0.05$ W/(m·K) bo'lgan materiallar qo'llaniladi.
- Konveksiya suyuqlik va gazlardagi asosiy issiqlik uzatish mexanizmi bo'lib, h koeffitsienti erkin konveksiyada 2–25 dan qaynashda 35000 W/(m²·K) gacha yetadi; bu keng diapazon konstruktor uchun katta imkoniyat yaratadi.
- Nurlanish haroratning to'rtinchi darajasiga bog'liq bo'lgani sababli yuqori haroratlarda (>500°C) ustunlik qiladi; emissivlikni boshqarish orqali samaradorlikni 3–5 barobar oshirish mumkin.
- Ko'p hollarda uchala mexanizm bir vaqtda faoliyat ko'rsatadi; ularning nisbiy ulushlari ish sharoiti, muhit va harorat darajasiga bog'liq.

Tadqiqot natijalari muhandislik loyihalash, energiya samaradorligi va issiqlik texnikasi sohasida amaliy qo'llanishga to'liq tayyor.

ADABIYOTLAR (REFERENCES)

[1] Incropera, F.P., Dewitt, D.P., Bergman, T.L., Lavine, A.S. (2007). Fundamentals of Heat and Mass Transfer (7th ed.). John Wiley & Sons. ISBN: 978-0470501979.

[2] Bergman, T.L., Lavine, A.S., Incropera, F.P., Dewitt, D.P. (2011). Introduction to Heat Transfer (6th ed.). John Wiley & Sons. ISBN: 978-0470-50196-2.

[3] Cengel, Y.A., Ghajar, A.J. (2020). Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Applications (6th ed.). McGraw-Hill Education. ISBN: 978-1259-71712-4.

[4] Howell, J.R., Menguc, M.P., Daun, K., Siegel, R. (2021). Thermal Radiation Heat Transfer (7th ed.). CRC Press. DOI: 10.1201/9780429329449.

[5] Churchill, S.W., Chu, H.H.S. (1975). Correlating equations for laminar and turbulent free convection from a vertical plate. International Journal of Heat and Mass Transfer, 18(11), 1323–1329.

[6] Gnielinski, V. (1976). New equations for heat and mass transfer in turbulent pipe and channel flow. International Chemical Engineering, 16(2), 359–368.

[7] Kaviany, M. (2011). Essentials of Heat Transfer: Principles, Materials and Applications. Cambridge University Press. DOI: 10.1017/CBO9781139033640.

[8] Bejan, A. (2013). Heat Transfer (3rd ed.). John Wiley & Sons. ISBN: 978-0471-50290-8.

[9] O'zbekiston Respublikasi Davlat Standartlari. (2020). Qurilish materiallarining issiqlik-texnik xossalari. O'z DSt 1115–2020. Toshkent.

[10] Yusupov, A.B., Mirzayev, J.O. (2023). Issiqlik o'tkazuvchanlikni nano-kompozit materiallar yordamida boshqarish. O'zbekiston Fizika Jurnali, 25(4), 112–124. DOI: 10.32934/ufj.2023.4.112.

[11] ISO 10456:2007. Building materials and products – Hygrothermal properties – Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values. International Organization for Standardization.

[12] ASHRAE Handbook of Fundamentals (2021). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA.

[13] Kays, W.M., Crawford, M.E., Weigand, B. (2012). Convective Heat and Mass Transfer (4th ed.). McGraw-Hill. ISBN: 978-0072990737.

[14] Modest, M.F. (2013). Radiative Heat Transfer (3rd ed.). Academic Press. DOI: 10.1016/B978-0-12-386944-9.50023-6.

[15] Rahimova, Z.K. (2024). Konvektiv issiqlik almashinuvida Nusselt kriteriyining amaliy aniqlash usullari. Muhandislik Ilmlari Axboroti, 12(2), 45–58.