

**BINOLARDA ISSIQLIK ENERGIYASI SAMARADORLIGINI  
OSHIRISHDA RADIATOR TIZIMLARINING ULANISH USULLARINI  
TERMOGIDRAVLIK TAHLIL QILISH: NUMERIK  
MODELLASHTIRISH VA EMPIRIK VALIDATSIYA**

*Karimov Umidjon Bahrom o'g'li*

*Andijon davlat texnika instituti*

*Qurilish muhandisligi va elektroenergetika fakulteti*

*Energiya tejamkorligi va energoaudit*

*yo'nalishi 4-kurs talabasi*

*Tel: +998886980028*

*Ilmiy rahbar: U. Ahmadaliyev*

**Annotatsiya**

Ushbu tezisda binolarning issiqlik energiyasi samaradorligini oshirishda radiator tizimlarining ulanish usullarini termogidravlik tahlil qilish masalasi chuqur o'rganilgan. Tadqiqotda diagonal, bir tomonlama yondosh, egarsimon pastdan-yuqoriga va egarsimon pastdan-pastga ulanish sxemalarining issiqlik quvvati degradatsiyasi, gidravlik qarshilik koeffitsiyenti, sirt haroratining bir jinsliliigi va yillik energiya iste'moliga ta'siri raqamli modellashtirish (CFD) va empirik validatsiya asosida miqdoriy baholangan. Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, diagonal ikki tomonlama ulanish sxemasi maksimal eksergik samaradorlikni ta'minlab, bazaviy ko'rsatkich sifatida qabul qilingan, egarsimon pastdan-pastga ulanishda esa issiqlik quvvati degradatsiyasi 20,5% gacha yetib, yillik energiya iste'moli 22,8% ga ortishi aniqlangan. Ishda O'zbekiston sharoitidagi ko'p qavatli turar-joy binosida o'tkazilgan energoaudit natijalari hamda xalqaro EN 442 va ASHRAE standartlariga asoslangan qiyosiy tahlil keltirilgan. Tadqiqot yakunida har bir ulanish sxemasi uchun tuzatish koeffitsiyentlari va texnik tavsiyalar ishlab chiqilgan bo'lib, ular yangi qurilish



va mavjud bino fondini modernizatsiya qilishda issiqlik energiyasi iste'molini optimallashtirishga xizmat qiladi.

**Kalit soʻzlar:** issiqlik energiyasi samaradorligi, radiator, ulanish sxemasi, diagonal ulanish, bir tomonlama yondosh ulanish, egarsimon ulanish, termogidravlik tahlil, issiqlik quvvati degradatsiyasi koeffitsiyenti, energoaudit, EN 442.

#### **Аннотация**

В данной диссертационной работе проведён углублённый термогидравлический анализ способов подключения радиаторных систем отопления с целью повышения тепловой энергоэффективности зданий. В исследовании количественно оценены деградация тепловой мощности, коэффициент гидравлического сопротивления, однородность температуры поверхности и влияние на годовое потребление энергии для четырёх конфигураций подключения: диагональной, односторонней боковой, седловидной снизу-вверх и седловидной снизу-вниз. Оценка выполнена на основе численного моделирования (CFD) и эмпирической валидации. Полученные результаты показывают, что диагональная двусторонняя схема обеспечивает максимальную эксергетическую эффективность и принята за эталон, тогда как при седловидном подключении снизу-вниз деградация тепловой мощности достигает 20,5%, а годовое потребление энергии возрастает на 22,8%. В работе представлены результаты энергоаудита многоэтажного жилого здания в условиях Узбекистана, а также сравнительный анализ на основе международных стандартов EN 442 и ASHRAE. По итогам исследования разработаны корректирующие коэффициенты и технические рекомендации для каждой схемы подключения, способствующие оптимизации потребления тепловой энергии при новом строительстве и модернизации существующего здания.

**Ключевые слова:** тепловая энергоэффективность, radiator, схема подключения, диагональное подключение, одностороннее боковое

подключение, седловидное подключение, термогидравлический анализ, коэффициент деградации тепловой мощности, энергоаудит, EN 442.

### **Annotation**

This thesis presents an in-depth thermohydraulic analysis of radiator connection configurations aimed at enhancing the thermal energy efficiency of buildings. The study quantitatively evaluates the heat output degradation factor, hydraulic resistance coefficient, surface temperature uniformity, and impact on annual energy consumption for four connection topologies: diagonal, single-side same-end, bottom-up saddle, and bottom-bottom saddle. The assessment is based on numerical CFD modeling and empirical validation. The results demonstrate that the diagonal two-sided connection scheme provides maximum exergy efficiency and is adopted as the baseline, whereas the bottom-bottom saddle connection results in a heat output degradation of up to 20.5% and increases annual energy consumption by 22.8%. The work incorporates the results of an energy audit conducted in a multi-story residential building under the climatic conditions of Uzbekistan, along with a comparative analysis based on the international standards EN 442 and ASHRAE. The study concludes with the development of correction factors and technical recommendations for each connection scheme, aimed at optimizing thermal energy consumption in new construction and in the modernization of existing building stock.

**Keywords:** thermal energy efficiency, radiator, connection configuration, diagonal connection, single-side same-end connection, saddle connection, thermohydraulic analysis, heat output degradation factor, energy audit, EN 442.

Binolarning energiya balansida isitish tizimlari dominant komponent bo'lib, sovuq iqlim zonalarida bu ulush umumiy energiya iste'molining 55-70% gacha yetadi. Shu sababli, issiqlik energiyasi samaradorligini oshirishning har qanday strategiyasi faqatgina issiqlik manbaining foydali ish koeffitsiyentini oshirish bilan cheklanib qolmasdan, balki issiqlik uzatish traktining barcha bo'g'inlarida, jumladan terminal qurilmalar – radiatorlarda sodir bo'ladigan

termodinamik jarayonlarni ham optimallashtirishni taqozo etadi. Radiatorlarning nominal issiqlik quvvati laboratoriya sinovlarida ideal gidravlik sharoitlarda o'lchansa-da, real ekspluatatsion sharoitlarda ushbu ko'rsatkich ulanish sxemasining topologik xususiyatlari, oqim rejimi va harorat bosimi bilan chambarchas bog'liq bo'lib, noto'g'ri tanlangan konfiguratsiya issiqlik berish qobiliyatining 22% gacha degradatsiyasiga sabab bo'lishi eksperimental tasdiqlangan. Ushbu tezisning ilmiy maqsadi quyidagilardan iborat: birinchidan, to'rtta asosiy ulanish topologiyasi – bir tomonlama yondosh, ikki tomonlama diagonal, egarsimon pastdan-pastga va egarsimon pastdan-yuqoriga – bo'yicha issiqlik uzatish samaradorligini miqdoriy solishtirish; ikkinchidan, har bir konfiguratsiyaning termogidravlik samaradorlik koeffitsiyentlarini raqamli modellashtirish (CFD) va empirik ma'lumotlar asosida aniqlash; uchinchidan, turli tashqi harorat va ta'minot liniyasi parametrlari sharoitida energiya iste'moliga ta'sirini integral baholash. Tadqiqot metodologiyasi ANSYS Fluent dasturiy muhitida 10-seksiyali po'lat panel radiatorning uch o'lchamli sonli modelini yaratish, Reynolds soni 800-4500 oralig'ida o'zgaruvchi laminar va o'tish rejimida Nusselt soni va ishqalanish koeffitsiyenti korrelyatsiyalarini aniqlash, hamda olingan natijalarni EN 442 standarti bo'yicha o'tkazilgan laboratoriya sinovlari bilan validatsiya qilishga asoslanadi.

Radiator ichidagi issiqlik almashinuvi murakkab konjugat masala bo'lib, unda suyuqlik oqimining konvektiv issiqlik uzatishi, metall devorning issiqlik o'tkazuvchanligi va tashqi havo bilan erkin konveksiya va nurlanish birgalikda kechadi. Ulanish sxemasi oqim yo'lining gidravlik qarshiligini, o'lik zonalarning hajmini va seksiyalar bo'yicha harorat taqsimotining bir jinsliligini belgilovchi asosiy parametrdir. Ushbu ta'sirni miqdoriy ifodalash uchun "issiqlik quvvati degradatsiyasi koeffitsiyenti" (Ingliz: Heat Output Degradation Factor, HODF) tushunchasi kiritiladi, u quyidagicha ifodalanadi:  $HODF = (1 - Q_{real} / Q_{nominal}) \times 100\%$ , bunda  $Q_{nominal}$  diagonal ulanishdagi o'lchangan issiqlik quvvati. Quyidagi jadvalda turli ulanish sxemalari bo'yicha raqamli

modellashtirish va laboratoriya tajribalari asosida olingan asosiy termogidravlik ko'rsatkichlar va energiya samaradorligining qiyosiy tahlili keltirilgan.

**1-jadval. Turli ulanish sxemalari bo'yicha radiatorning termogidravlik xarakteristikalarini va energiya samaradorligini ko'rsatkichlarining qiyosiy tahlili (Ta'minot harorati 75°C, Qaytish harorati 55°C, Ichki havo harorati 20°C, Radiator turi: 10-seksiyali, balandligi 600 mm bo'lgan po'lat panel)**

Ulanish sxemasi	Issiqlik quvvati degradatsiyasi koeffitsiyenti, HODF (%)	Gidravlik qarshilik koeffitsiyenti, $\zeta$	Sirt haroratining standart og'ishi, $\sigma_T$ (°C)	Yillik energiya iste'molidagi nisbiy o'zgarish (%)	Qo'lash bo'yicha tavsiya sinfi (EN 442 asosida)
Diagonal (ikki tomonlama)	0.0 (bazaviy)	3.2	1.8	0.0 (bazaviy)	A – Yuqori samarador
Bir tomonlama yondosh	8.5	2.8	5.4	+9.3	B – Qoniqarli
Egarsimon (pastdan-yuqoriga)	12.0	2.5	6.9	+13.6	C – Cheklangan



Egars	20.5	2.4	9.2	+2	D –
imon (pastdan- pastga)				2.8	Tavsiya etilmaydi

*Izoh:* Jadvalda keltirilgan qiymatlar 10-seksiyali po'lat panel radiator uchun o'rtacha qiymatlarni aks ettiradi. Seksiyalar soni ortishi bilan bir tomonlama va egarsimon sxemalardagi degradatsiya darajasi logarifmik bog'liqlikda oshib boradi. Masalan, 20-seksiyali radiatorda bir tomonlama yondosh ulanishdagi HODF ko'rsatkichi 15.2% gacha, egarsimon (pastdan-pastga) sxemada esa 27.8% gacha yetishi eksperimental aniqlangan. Yillik energiya iste'molidagi nisbiy o'zgarish Toshkent shahri iqlimiy ma'lumotlari (2286 daraja-kun isitish davri) asosida hisoblangan.

Jadvaldagi ma'lumotlarning fizik interpretatsiyasi quyidagicha. Diagonal ulanishda issiqlik tashuvchi yuqori kirish va pastki chiqish shtutserlari joylashuvi tufayli zichlik farqi va majburiy sirkulyasiya bosimi birgalikda ta'sir qilib, suyuqlikning barcha vertikal kanallar bo'ylab ketma-ket va bir xil tezlikda oqishini ta'minlaydi. Natijada sirt haroratining standart og'ishi  $\sigma_T = 1.8^\circ\text{C}$  ni tashkil etib, sirt bo'ylab amalda bir jinsli harorat maydoni shakllanadi; bu esa radiatsion va konvektiv issiqlik uzatishning maksimal integral qiymatini beradi. Bir tomonlama yondosh ulanishda esa gidravlik qisqa tutashuv effekti yuzaga keladi: suv asosan birinchi 3-4 seksiya orqali harakatlanib, qolgan qismda sirkulyasiya tezligi eksponentsial kamayib boradi. CFD simulyatsiyasi shuni ko'rsatadiki, 5-seksiyadan boshlab mahalliy oqim tezligi kirish tezligining 18-22% gacha pasayadi, bu esa oxirgi seksiyalarda o'rtacha sirt haroratining  $10-13^\circ\text{C}$  ga pasayishiga va nurlanish oqimi zichligining 25-30% kamayishiga olib keladi.

Alohida e'tiborga molik holat – bu egarsimon pastdan-pastga ulanish sxemasi. Ushbu konfiguratsiyada issiq suv pastki kollektorga kiradi, lekin Arximed kuchi ta'sirida yuqoriga ko'tarilish o'rniga, gidravlik qarshilikning

nisbiy pastligi tufayli qisqa yo'l orqali chiqish shtutseriga yo'naladi. Bu hodisa "termal bypass effekti" deb ataladi va radiator hajmining 40-55% qismi sust sirkulyasiya zonasiga aylanishiga sabab bo'ladi. Infraqizil termografiya tasvirlari tahlili shuni ko'rsatadiki, radiatorning yuqori qismida delta shaklidagi sovuq zona ( $\Delta T \approx 15-18^\circ\text{C}$  ta'minot haroratiga nisbatan) shakllanib, umumiy issiqlik oqimining sezilarli darajada pasayishiga olib keladi. Ushbu noeffektivlikni kompensatsiya qilish uchun issiqlik manbaining ta'minot haroratini oshirish talab qilinadi, bu esa qozon yoki issiqlik nasosining ish sikliga salbiy ta'sir qiladi. Jumladan, kondensatsion qozonlarda qaytish suvi haroratining shudring nuqtasidan (taxminan  $54^\circ\text{C}$  yuqori) oshib ketishi latent issiqlikni utilizatsiya qilish imkoniyatini bartaraf etadi, bu esa mavsumiy foydali ish koeffitsiyentini (SCOP) 12-16% ga kamaytiradi.

O'zbekiston Respublikasining ko'p qavatli uy-joy fondi va jamoat binolarida tarixan bir tomonlama yondosh va egarsimon ulanish sxemalari keng qo'llanilgan. Farg'ona vodiysi iqlim zonasida joylashgan 120 xonadonli 9 qavatli turar-joy binosida o'tkazilgan energoaudit tekshiruv natijalari yuqoridagi raqamli ma'lumotlarni amaliy jihatdan tasdiqladi. Binoda mavjud bo'lgan bir tomonlama yondosh ulanish sxemasi radiatorlarning haqiqiy issiqlik quvvati pasport ko'rsatkichlaridan o'rtacha 10.3% ga kamligini ko'rsatdi. Hidravlik muvozanatlashtirish klapanlari va termostat boshchalari o'rnatilib, tizim diagonal ulanish sxemasiga rekonstruksiya qilingandan so'ng (yoki mavjud quvurlarni saqlab qolgan holda, radiatorlarning ichki gidravlik ulanish konfiguratsiyasi optimallashtirilgandan so'ng), xonadonlarning o'rtacha harorat rejimi  $21.5^\circ\text{C}$  dan  $22.8^\circ\text{C}$  ga ko'tarilgan holda, issiqlik energiyasi iste'moli 11.7% ga kamaydi. Texnik-iqtisodiy asoslash shuni ko'rsatadiki, yangi qurilish loyihalarida diagonal ulanish sxemasini joriy etish qo'shimcha quvur uzunligini atigi 3-5% ga oshirish evaziga amalga oshiriladi, bu esa energiya tejash hisobiga 2.5-3.5 yil ichida o'zini qoplaydi.

Mavjud bino fondida esa to'liq rekonstruksiya har doim ham iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq emas. Shu sababli, bir tomonlama yoki egarsimon ulanish sxemasida ishlayotgan tizimlar uchun adaptiv kompensatsion strategiyalar taklif qilinadi: (1) radiator uzunligini termogidravlik hisob-kitob bilan aniqlangan tuzatuvchi koeffitsiyentga (masalan, egarsimon pastdan-pastga uchun  $k=1.25$ ) ko'paytirish; (2) majburiy konveksiyani kuchaytiruvchi past voltli ventilyatorli termoaktivatorlarni o'rnatish, bu issiqlik berishni 15% gacha oshirishi mumkin; (3) ta'minot harorati past bo'lgan issiqlik nasosi tizimlarida past haroratli radiatorlardan foydalanish, chunki ularning ichki gidravlik tuzilishi (ko'pincha parallel oqim kanallari bilan) egarsimon ulanish ta'siriga nisbatan kamroq sezgir.

Xulosa qilib aytganda, radiatorlarning ulanish sxemasi binoning umumiy energiya samaradorligiga sezilarli ta'sir ko'rsatuvchi, loyihalash bosqichida e'tibordan chetda qolmasligi kerak bo'lgan fundamental parametrdir. Ishda keltirilgan raqamli modellashtirish va empirik validatsiya natijalari shuni isbotlaydiki, diagonal ikki tomonlama ulanish sxemasi har qanday ekspluatatsion sharoitda eng yuqori eksregik samaradorlikni ( $HODF = 0\%$ ) ta'minlaydi va A sinfiga loyiq yagona yechim hisoblanadi. Egarsimon pastdan-pastga ulanish sxemasining 20.5% gacha yetuvchi issiqlik quvvati degradatsiyasi uni zamonaviy energotejamkor binolarda qo'llashni ilmiy jihaidan asossiz qiladi. O'zbekiston sharoitida qurilish me'yorlari va standartlarini (QMQ) xalqaro EN 442 va ASHRAE talablariga muvofiqlashtirish, loyiha tashkilotlari uchun ulanish sxemalarining majburiy termogidravlik hisobi bo'yicha qat'iy reglament ishlab chiqish, va mavjud binolarni modernizatsiya qilishda yuqoridagi jadvalda keltirilgan tuzatish koeffitsiyentlarini hisobga olish issiqlik energiyasi iste'molini kamaytirish va uglerod izini qisqartirish bo'yicha milliy maqsadlarga erishishda muhim instrumental ahamiyat kasb etadi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. O'zbekiston Respublikasi Qurilish me'yorlari va qoidalari (QMQ 2.04.05-20). Isitish, ventilyatsiya va konditsiyalash.
2. ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment, Chapter 11: Hydronic Heating and Cooling System Design. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2020.
3. EN 442-1:2014. Radiators and convectors – Part 1: Technical specifications and requirements. European Committee for Standardization, Brussels.
4. Petitjean R. Total Hydronic Balancing: A Handbook for Design and Troubleshooting of Hydronic Systems. Tour & Andersson AB, Ljung, Sweden, 2012. – 410 p.
5. Beck S.B.M., Grinsted J., Ulanicki B. A Numerical Study of the Effect of Connection Configuration on the Thermal Performance of Panel Radiators. Applied Thermal Engineering, 2021, Vol. 182, Article 116073. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2020.116073.
6. Myhren J.A., Holmberg S. Flow Patterns and Thermal Comfort in a Room with Panel Radiators Connected in Different Configurations. Energy and Buildings, 2019, Vol. 199, pp. 264-274.
7. Abdullayev B.X., Tursunov M.N. Issiqlik ta'minoti tizimlarida energiya samaradorligini oshirishning innovatsion yechimlari. – Toshkent: "Fan va texnologiya", 2022. – 186 b.
8. Hasan A., Kurnitski J., Jokiranta K. A Combined Low Temperature Water Heating System with Radiators: A Field Study. Energy and Buildings, 2020, Vol. 209, Article 109678.
9. International Energy Agency (IEA). Energy Efficiency 2023: Buildings Sector Deep Dive. IEA Publications, Paris, 2023.
10. Karimov Sh.A., Xolmirzayev S.A. Binolarning issiqlik himoyasi va energiya pasportlash asoslari. – Toshkent: TAQI, 2023. – 245 b.