



UO'K 697.1:621.577:620.9

doi.10.70769/2181-2284.ME.1(22).2026.8

PAST HARORATLI GIDRONIK ISSIQ POL TIZIMLARINING RIVOJLANISHI VA ZAMONAVIY ENERGIYA SAMARADOR KONSTRUKTIV YECHIMLARI

Xamrayev Sardor Ilxomovich - PhD, dotsent,

<https://orcid.org/0000-0002-0847-9488> e-mail: xamrayevs@bk.ru

Kamolov Behzodjon Ilhomovich - assistant,

<https://orcid.org/0009-0005-2119-3010> e-mail: behzod0288@mail.ru

Qaxromonov Ruslan Aliyevich - bakalavr talabasi

<https://orcid.org/0009-0001-1157-2966> ruslanqaxramonov34@gmail.com

Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

Annotatsiya. Kirish. Uy-joy va jamoat binolarida umumiy energiya iste'molining katta qismi isitish tizimlariga to'g'ri keladi. An'anaviy radiatorli isitish tizimlarida yuqori haroratli issiqlik tashuvchilardan foydalanish issiqlik yo'qotishlarining ortishiga va energiya samaradorligining pasayishiga olib keladi. Shu sababli past haroratli suvli issiq pol tizimlarini qo'llash energiya resurslaridan oqilona foydalanish va issiqlik komfortini oshirish nuqtayi nazaridan dolzarb hisoblanadi. Biroq ushbu tizimlarning isitish samaradorligini baholash issiqlik almashinuv jarayonlarini hisobiy asosda tahlil qilishni talab etadi.

Materiallar va usullar. Tadqiqotda suvli issiq pol tizimining isitish samaradorligini baholash uchun energiya balansi tenglamalari va issiqlik uzatish qonunlariga asoslangan hisobiy-tahliliy usullar qo'llanildi. Issiqlik tashuvchining berish harorati va pol konstruksiyasi orqali uzatiladigan issiqlik oqimlari matematik model yordamida aniqlanib, hisoblashlarda issiqlik o'tkazuvchanlik, konvektiv va radiatsion issiqlik almashinuv jarayonlari inobatga olindi.

Natijalar. Hisoblash natijalari issiqlik tashuvchining issiqlik berish harorati oshishi bilan suvli issiq pol tizimi orqali uzatiladigan issiqlik oqimi deyarli chiziqli qonuniyat asosida ortishini ko'rsatdi. Shu bilan birga, past haroratli ish rejimlarida ham talab etiladigan issiqlik berish quvvatiga yuqori energiya samaradorligi sharoitida erishish mumkinligi aniqlandi.

Xulosa. O'tkazilgan hisobiy baholash suvli issiq pol tizimlarini past haroratli va energiya samarador isitish texnologiyasi sifatida qo'llash maqsadga muvofiqligini tasdiqlaydi. Taklif etilgan hisobiy yondashuv suvli issiq pol tizimlarini loyihalash va optimal ish rejimlarini tanlashda amaliy ahamiyatga ega bo'lib, energiya va resurslarni tejash masalalarini hal etishga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: suvli issiq pol tizimi, isitish samaradorligi, issiqlik oqimi, hisobiy baholash, past haroratli isitish, energiya tejamkorlik.

Дата поступления: 24.02.2026. После обработки: 27.02.2026 Принято печать: 24.03.2026

For citation: Khamrayev S.I., Kamolov B.I., Kakhromonov R.A. Development of Low-Temperature Hydronic Radiant Floor Heating Systems and Modern Energy-Efficient Structural Solutions. *Alternative Energy*. 2026. 1(22). pp. 65-73. (In Uz.)

УДК 697.1:621.577:620.9

РАЗВИТИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГИДРОННЫХ СИСТЕМ ТЁПЛОГО ПОЛА И СОВРЕМЕННЫЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ

Хамраев Сардор Илхомович - PhD, доцент,

<https://orcid.org/0000-0002-0847-9488> e-mail: xamrayevs@bk.ru





Камолов Бехзоджон Илхомович – ассистент,
<https://orcid.org/0009-0005-2119-3010> e-mail: behzod0288@mail.ru

Кахрамонов Руслан Алиевич-студент
<https://orcid.org/0009-0001-1157-2966> e-mail: ruslanqaxramonov34@gmail.com

Каршинский государственный технический университет, Карши, Узбекистан

Аннотация. Введение. Значительная часть общего энергопотребления в жилых и общественных зданиях приходится на системы отопления. Использование традиционных радиаторных систем с высокотемпературным теплоносителем приводит к увеличению тепловых потерь и снижению энергетической эффективности. В этой связи применение низкотемпературных водяных систем тёплого пола рассматривается как актуальное направление рационального использования энергетических ресурсов и повышения теплового комфорта. Однако оценка эффективности таких систем требует расчетного анализа процессов теплообмена.

Материалы и методы. В работе для оценки эффективности водяной системы тёплого пола применены расчетно-аналитические методы, основанные на уравнениях теплового баланса и законах теплопередачи. Тепловые потоки, передаваемые через конструкцию пола, определялись с использованием математической модели с учетом температуры подачи теплоносителя. В расчетах учитывались процессы теплопроводности, конвективного и лучистого теплообмена.

Результаты. Результаты расчетов показали, что увеличение температуры подачи теплоносителя приводит к почти линейному росту теплового потока, передаваемого системой тёплого пола. Установлено, что даже при низкотемпературных режимах работы возможно обеспечение требуемой тепловой мощности при высокой энергетической эффективности.

Выводы. Проведенная расчетная оценка подтверждает целесообразность применения водяных систем тёплого пола в качестве низкотемпературной и энергоэффективной технологии отопления. Предложенный расчетный подход имеет практическую значимость при проектировании систем тёплого пола и выборе оптимальных режимов их эксплуатации, способствуя снижению энергопотребления и рациональному использованию ресурсов.

Ключевые слова: водяной тёплый пол, эффективность отопления, тепловой поток, расчетная оценка, низкотемпературное отопление, энергосбережение.

<https://orcid.org/>

DEVELOPMENT OF LOW-TEMPERATURE HYDRONIC RADIANT FLOOR HEATING SYSTEMS AND MODERN ENERGY-EFFICIENT STRUCTURAL SOLUTIONS

Khamrayev Sardor Ilkhomovich-PhD, Ass. Prof.,
<https://orcid.org/0000-0002-0847-9488> e-mail: xamrayevs@bk.ru

Kamolov Behzodjon Ilhomovich – Assistant,
<https://orcid.org/0009-0005-2119-3010> e-mail: behzod0288@mail.ru

Kakhromonov Ruslan Alievich-Bachelor's student
<https://orcid.org/0009-0001-1157-2966> e-mail: ruslanqaxramonov34@gmail.com

Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. Introduction. A significant share of total energy consumption in residential and public buildings is associated with space heating systems. The use of conventional radiator heating systems operating with high-temperature heat carriers leads to increased heat losses and reduced





energy efficiency. Therefore, the application of low-temperature hydronic radiant floor heating systems is considered an effective approach to rational energy use and enhanced thermal comfort. However, a reliable assessment of their heating performance requires a computational analysis of heat transfer processes.

Materials and Methods. In this study, the heating performance of a hydronic radiant floor heating system was evaluated using computational and analytical methods based on energy balance equations and fundamental heat transfer laws. Heat fluxes transferred through the floor structure were determined using a mathematical model that accounts for the supply temperature of the heat carrier. The analysis considered conductive, convective, and radiative heat transfer mechanisms.

Results. The calculation results indicate that an increase in the supply temperature of the heat carrier leads to an almost linear increase in the heat flux delivered by the hydronic radiant floor heating system. It was also demonstrated that sufficient heating capacity can be achieved under low-temperature operating conditions while maintaining high energy efficiency.

Conclusions. The conducted computational assessment confirms the feasibility of applying hydronic radiant floor heating systems as a low-temperature and energy-efficient heating technology. The proposed computational approach is practically relevant for the design of radiant floor heating systems and the selection of optimal operating conditions, contributing to energy and resource savings.

Keywords: hydronic radiant floor heating system, heating efficiency, heat flux, computational assessment, low-temperature heating, energy efficiency.

Kirish

Binolarning energiya samaradorligini oshirish va energiya resurslaridan oqilona foydalanish masalalari zamonaviy energetika va qurilish sohalarining ustuvor ilmiy-texnik yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Turar joy va jamoat binolarida umumiy energiya iste'molining sezilarli qismi isitish tizimlariga to'g'ri kelishi energiya tejamkor isitish texnologiyalarini joriy etish zaruratini yanada kuchaytiradi. Suvli issiq pol tizimlari past haroratli isitish texnologiyalari qatoriga kirib, yuqori issiqlik komforti, ichki harorat maydonining bir tekis taqsimlanishi hamda past haroratli issiqlik manbalari bilan samarali integratsiyalanishi bilan ajralib turadi. Shu bilan birga, mazkur tizimlarning isitish samaradorligi issiqlik tashuvchining berish harorati, quvur joylashuv sxemasi va pol konstruksiyasining issiqlik-texnik xususiyatlariga bevosita bog'liq bo'lib, ushbu omillarning ta'sirini hisobiy asosda baholash muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi. Shu nuqtai nazardan, suvli issiq pol tizimining isitish samaradorligini hisobiy baholash, issiqlik oqimi va ish rejimlari o'rtasidagi bog'liqlikni aniqlash hamda energiya tejamkor optimal ish rejimlarini asoslash dolzarb ilmiy vazifa hisoblanadi. Mazkur maqolada suvli issiq pol tizimining isitish samaradorligi hisobiy-tahliliy yondashuv asosida tadqiq etiladi.

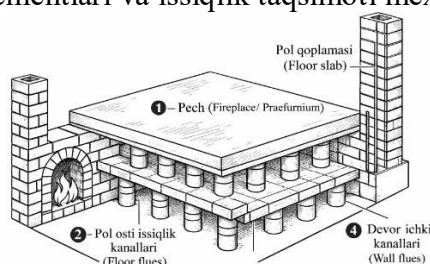
Material va usullar

Issiq pol tizimlarining tarixiy rivojlanishi va zamonaviy konstruktiv yechimlari. Issiq pol tizimlarining shakllanishi insoniyatning ichki muhitning issiqlik qulayligini ta'minlashga qaratilgan dastlabki muhandislik yondashuvlaridan biri bo'lib, ularning rivojlanishi bir necha tarixiy bosqichlar orqali amalga oshgan. Qadimgi Rim sivilizatsiyasida qo'llanilgan *hypocaust* tizimi pastdan isitish texnologiyalarining ilk mukammal namunasidir. Ushbu tizimda pechda hosil bo'lgan issiq havo pol ostidagi kanallar orqali tarqatilib, issiqlikning pastdan yuqoriga yo'nalgan tarqalishi ta'minlangan [1,2]. Mazkur tamoyil zamonaviy radiant isitish tizimlarining fundamental fizik asosini shakllantirgan. Sharq mamlakatlarida rivojlangan koreys *ondol* tizimi issiq polning yuqori issiqlik inertligiga ega tarixiy modeli hisoblanadi. Toshli konstruksiyaning yuqori issiqlik sig'imi tufayli issiqlik uzoq vaqt davomida saqlanib, barqaror termal muhit hosil qilgan [3,4]. Ushbu yondashuv bugungi kunda beton asosli inertli issiq pol tizimlarida qo'llaniladigan issiqlik akkumulyatsiyasi konsepsiyasining tarixiy analogidir.

XX asrning ikkinchi yarmidan boshlab materialshunoslik va issiqlik texnikasi sohalaridagi yutuqlar natijasida issiq pol tizimlarida konstruktiv o'zgarishlar yuz berdi. Po'lat quvurlar o'rniga PEX va PERT polimer quvurlarining joriy etilishi korroziya muammosini bartaraf etib,

tizimlarning ishonchliligi va xizmat muddatini sezilarli oshirdi. Shu davrda past haroratli isitish konsepsiyasi ilmiy asoslanib, energiya samaradorligi mezonlari Yevropa standartlari doirasida shakllandi [5]. Zamonaviy gidronik issiq pol tizimlari issiqlik izolyatsiyasi (*EPS/XPS*), reflektor qatlam, beton issiqlik akkumulyatori va polimer quvurlardan iborat ko'p qatlamli konstruksiyaga ega. Betonning yuqori issiqlik sig'imi va radiatsion issiqlik almashinuvining ustunligi harorat tebranishlarini kamaytirib, xonada barqaror va sog'lom ichki muhitning issiqlik qulayligini ta'minlaydi [6]. So'nggi yillarda issiq pol tizimlarining energiya samaradorligini oshirishda faza o'zgaruvchi materiallar (PCM) va nanofluidlar integratsiyasi ilg'or ilmiy yo'nalish sifatida qaralmoqda. PCMLarning erish-qotish jarayonlarida yashirin issiqlikni yutish va chiqarish xususiyati tizimning issiqlik inertligini sezilarli oshirishi ilmiy tadqiqotlarda asoslangan [7-8]. Shu bilan birga, nanofluidlar asosidagi issiqlik tashuvchilar gidronik tizimlarda issiqlik o'tkazuvchanligi va konvektiv issiqlik almashinuvini sezilarli darajada yaxshilashi aniqlangan. Shunday qilib, issiq pol tizimlarining evolyutsiyasi qadimgi pastdan isitish texnologiyalaridan tortib, zamonaviy gidronik, PCM va nanofluid asosidagi gibril tizimlargacha bo'lgan uzluksiz ilmiy-texnik rivojlanishni aks ettiradi. Ushbu tarixiy va texnologik jarayon past haroratli isitish tizimlarining zamonaviy energiya samaradorligi konsepsiyasini shakllantirishda muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi. Keyingi bo'limda quyosh issiqlik energiyasining fizik mohiyati va uning gidronik issiq pol tizimlari bilan integratsiyalash imkoniyatlari tahlil qilinadi.

Qadimgi issiq pol tizimlarining ilk ko'rinishlari. Rim hypocaust tizimi. Issiq polning ilmiy asoslangan ilk muhandislik yechimlaridan biri sifatida miloddan avvalgi I asrda Qadimgi Rimda qo'llanilgan *hypocaust* tizimi keng e'tirof etiladi. Ushbu tizimda pechdan (*praefurnium*) hosil bo'lgan issiq havo va tutun pol ostida maxsus tashkil etilgan bo'shliqlar orqali harakatlanib, pol konstruksiyasini pastdan isitgan. Hypocaust tizimining issiqlik uzatish mexanizmi konveksiya va nurlanish jarayonlarining birgalikdagi ta'siriga asoslangan bo'lib, mazkur yondashuv zamonaviy radiant isitish tizimlari uchun fundamental fizik asosni shakllantirgan. Pechdan chiqqan issiq havo pol ostida g'isht ustunlar bilan hosil qilingan kanallar orqali tarqalib, tosh qoplama plitalarni qizdirgan va issiqlik xonaga asosan nurlanish yo'li bilan uzatilgan. Shu bilan birga, issiq havoning bir qismi devor ichidagi vertikal kanallar orqali yuqoriga ko'tarilib, xonada issiqlikning yanada bir tekis taqsimlanishini ta'minlagan. Mazkur konstruktiv sxema polning barqaror isitilishini hamda ichki harorat maydonining fazoviy bir tekis taqsimlanishini ta'minlagan. Issiqlik oqimining yo'nalishi, pol osti kanallarining geometrik shakli va devor kanallarining joylashuvi hypocaust tizimining umumiy energetik samaradorligini belgilovchi asosiy omillar hisoblangan. Hypocaust tizimining asosiy konstruktiv elementlari va issiqlik taqsimoti mexanizmi 1-rasmda keltirilgan.



1 - rasm. Rim hypocaust tizimining konstruktiv sxemasi.

1-rasmda Rim *hypocaust* tizimining ishlash prinsipi sxematik tarzda ko'rsatilgan. Pechda hosil bo'lgan issiq havo (1) pol ostidagi gorizontall kanallar (2) orqali harakatlanib, ustki tosh qoplama qatlamini (3) isitadi. Issiqlik oqimining bir qismi devor ichidagi vertikal kanallar (4) bo'ylab yuqoriga ko'tarilib, xonada qo'shimcha konvektiv issiqlik tarqalishini ta'minlaydi. Natijada tizim tabiiy konveksiya va nurlanish asosida katta maydonlarda haroratning bir tekis taqsimlanishini ta'minlaydi.

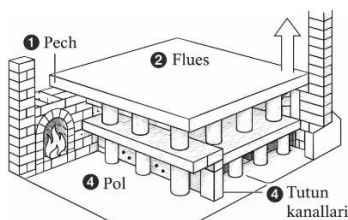
Hypocaust tizimi pol ostidagi gorizontall va devor bo'ylab joylashgan vertikal kanallarning kombinatsiyasi orqali issiqlik oqimini hajm bo'yicha nisbatan bir tekis taqsimlab, katta xonalarni barqaror isitishni ta'minlagan. Tosh va g'isht konstruksiyalarining yuqori issiqlik sig'imi tizimga yuqori issiqlik inertligini berib, pech o'chirilgandan keyin ham pol yuzasidan issiqlikning uzoq vaqt



ajralib chiqishiga imkon yaratgan. Konvektiv va radiatsion issiqlik almashinuvining uyg'unligi nisbatan ichki muhitning issiqlik qulaylik mikroiqlimni shakllantirgan. Biroq hypocaust tizimi murakkab konstruksiyasi, yuqori mehnat va qurilish xarajatlari, shuningdek katta yoqilg'i sarfi bilan cheklangan. Pol osti va tutun kanallariga xizmat ko'rsatishning murakkabligi tizimning ekspluatatsion samaradorligini pasaytirgan. Shunga qaramay, hypocaust issiq pol texnologiyasining muhandislik asoslarini shakllantirgan bo'lib, keyinchalik Sharq mamlakatlarida ondol, "kan" va "kang" kabi iqlimga moslashgan, energetik barqaror an'anaviy isitish tizimlarining rivojlanishiga zamin yaratgan.

Sharq mamlakatlarida issiq polning rivojlanishi: Koreya ondol tizimi. Sharq mamlakatlarida shakllangan tarixiy isitish texnologiyalari orasida Koreyaga xos ondol tizimi eng samarali va konstruktiv jihatdan mukammal issiq pol yechimlaridan biri sifatida e'tirof etiladi. Ondol tizimining asosiy tamoyili issiqlikni yer osti tutun kanallari orqali pol massasi bo'ylab uzatish hamda tosh massivning yuqori issiqlik inertligi hisobiga uni uzoq muddat saqlashdan iborat [3,4]. Ushbu tizim sovuq iqlim sharoiti, cheklangan yoqilg'i resurslari va mahalliy qurilish materiallaridan samarali foydalanish zarurati ta'sirida rivojlangan. Ondol tizimi konstruktiv jihatdan ikki asosiy elementdan iborat: issiq tutun hosil qiluvchi o'choq va tosh massiv ostidan o'tuvchi gorizontal tutun kanallari. O'choqdan chiqqan issiq gazlar kanallar bo'ylab harakatlanib, tosh plitalarni qizdiradi. Toshning yuqori issiqlik sig'imi ($C = m \cdot c$) tufayli issiqlik 10–20 soat davomida saqlanib, xonaga asosan issiqlik o'tkazuvchanlik, tabiiy konveksiya va radiatsiya kombinatsiyasi orqali uzatiladi. Natijada ondol tizimi barqaror va silliq issiqlik taqsimotini ta'minlaydi. Ilmiy tadqiqotlarda ondol tizimining asosiy afzalliklari sifatida yuqori issiqlik inertligi, haroratning keskin tebranishlarsiz o'zgarishi, bir martalik qizdirishdan so'ng uzoq muddatli issiqlik saqlanishi hamda mahalliy qurilish materiallaridan foydalanish imkoniyati qayd etilgan. Shu bilan birga, tizimning o'choqqa to'liq bog'langanligi, pol osti kanallarining qurilishi va tozalanishining murakkabligi hamda isitish jarayonini tezkor boshqarishning cheklanganligi uning asosiy kamchiliklari hisoblanadi.

Ondol tizimining asosiy konstruktiv elementlari va issiqlik oqimining yo'nalishi 2-rasmda keltirilgan.



2 - rasm. Koreya ondol tizimining konstruktiv ko'rinishi.

Oshxona pechida hosil bo'lgan issiq tutun (1) maxsus tutun yo'llari orqali tosh massiv (2) ostidan o'tib, uning yuqori issiqlik sig'imi hisobiga pol qatlamini (3) asta-sekin qizdiradi va issiqlikni uzoq muddat saqlaydi. Issiqlik xonaga asosan issiqlik o'tkazuvchanlik va tabiiy konveksiya kombinatsiyasi orqali uzatiladi. Ondol kabi an'anaviy issiq pol tizimlari yuqori issiqlik inertligi va energetik barqarorligi bilan ajralib turgan bo'lsa-da, ular tabiiy konveksiya va mahalliy qurilish materiallariga tayangan. Sanoat davrida aholi zichligining ortishi, binolar hajmining kengayishi va markazlashtirilgan issiqlik ta'minotining rivojlanishi boshqariladigan va yuqori samaradorlikka ega gidronik issiq pol tizimlariga o'tish zaruratini yuzaga keltirdi.

Yevropada issiq polning sanoat davridagi rivojlanishi. XX asrda issiq pol tizimlari Yevropada issiqlik texnikasining yangi bosqichiga ko'tarildi. Sanoatlashuv, markazlashtirilgan issiqlik ta'minotining rivojlanishi va energiya samaradorligi talablari ortishi natijasida issiq pol tizimlari an'anaviy konvektiv isitishga nisbatan yuqori ichki muhitning issiqlik qulayligi va past haroratli ishlash imkoniyatiga ega zamonaviy yechim sifatida shakllandi. Ushbu jarayon materialshunoslik, gidravlik tizimlar, avtomatlashtirish va energiya tejamkor qurilish standartlaridagi ilmiy-texnik yutuqlar bilan chambarchas bog'liq bo'ldi. Dastlab qo'llanilgan po'lat

quvurli suvli issiq pol tizimlari mexanik mustahkamligi bilan ajralib turgan bo'lsa-da, korroziya, yuqori issiqlik yo'qotishlari va murakkab montaj sababli keng joriy etilmadi [5].

1960-1980 yillardan boshlab *PEX* asosidagi polimer quvurlarning paydo bo'lishi issiq pol texnologiyalarida sifat jihatdan yangi bosqichni boshlab berdi. Ularning moslashuvchanligi, korroziyaga chidamliligi va montaj qulayligi issiq pol tizimlarining amaliy qo'llanishini sezilarli kengaytirdi. 1980-2000 yillar issiq pol tizimlarining intellektuallashtirilgan rivojlanish bosqichi sifatida tavsiflanadi. Bu davrda kollektorlar, aralashma uzellari, gidravlik balanslash armaturalari hamda zonalar bo'yicha avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari joriy etilib, issiqlik yuklarini optimallashtirish va energiya sarfini kamaytirish imkoniyati yaratildi. Natijada issiq pol tizimlari energiya tejamkor isitish strategiyasining muhim elementi sifatida shakllandi.

XX asr oxiri va XXI asr boshiga kelib, Yevropada past haroratli gidronik issiq pol tizimlari (30–45 °C) asosiy standart sifatida qaror topdi. Ularning quyosh kollektorlar, issiqlik nasoslari va geotermal tizimlar bilan yuqori darajadagi mosligi issiq polni Low-Ex, Passive House va energiya samarador binolar konsepsiyalarining ajralmas qismiga aylantirdi. Shunday qilib, XX asr davomida Yevropada issiq pol tizimlarining bosqichma-bosqich takomillashuvi nafaqat materiallar va gidravlik komponentlarning yangilanishini, balki quvurlar, issiqlik izolyatsiyasi, beton qatlam, kollektor va boshqaruv armaturalarini yagona integratsiyalashgan issiqlik uzatish tizimi sifatida qarash zaruratini yuzaga keltirdi. Shu bois, zamonaviy gidronik issiq pol tizimlarining konstruktiv elementlari, ularning fizik-texnik vazifalari va issiqlik-energetik jarayondagi roli alohida ilmiy tahlilni talab etadi.

Zamonaviy gidronik issiq pol tizimlarining konstruktiv elementlari. Hozirgi kunda gidronik issiq pol tizimlari turar-joy, jamoat va sanoat binolarida past haroratli isitish texnologiyalarining eng samarali va keng qo'llaniladigan turi hisoblanadi. Ushbu tizimlarning ustunligi energiya samaradorligi, issiqlikning bir tekis taqsimlanishi va yuqori termal komfortni ta'minlashi bilan belgilanib, ular Low-Ex Heating tamoyillariga to'liq mos keladi [5].

Zamonaviy gidronik issiq pol tizimi bir nechta funksional qatlamlardan iborat bo'lib, ularning o'zaro issiqlik almashinuvidagi roli tizimning umumiy samaradorligini belgilaydi. Issiq pol tizimining 3D qatlamli tuzilmasi 3-rasmda keltirilgan.



3-rasm. Zamonaviy gidronik issiq pol tizimining 3D qatlamli tuzilmasi.

Ushbu 3D vizualizatsiyada zamonaviy past haroratli gidronik issiq pol tizimining konstruktiv qatlamlari ketma-ketligi va ularning funksional o'zaro bog'liqligi aks ettirilgan. Yuqori qatlamda yakuniy pol qoplamasi (keramika plitka yoki laminat) joylashgan bo'lib, u issiqlikni xonaga samarali uzatishni ta'minlaydi. Uning ostida issiqlikni teng taqsimlovchi beton qatlam joylashgan. Mazkur qatlam ichida issiq suv aylanuvchi polimer quvurlar (*PEX* yoki shunga o'xshash materiallar) joylashtirilgan bo'lib, ular tizimning asosiy issiqlik uzatuvchi elementi hisoblanadi. Quvurlar ostida issiqlik izolyatsiya qatlami joylashgan bo'lib, issiqlikning pastga yo'nalgan yo'qotishlarini kamaytiradi va tizimning umumiy energiya samaradorligini oshiradi. Eng pastki qatlamda esa konstruktiv beton asos (poydevor plitasi) keltirilgan. Ushbu qatlamli tuzilma gidronik issiq pol tizimlarining yuqori issiqlik qulayligi, past ishchi haroratlarda samarali ishlashi va qayta tiklanuvchi energiya manbalari, xususan quyosh issiqlik tizimlari bilan integratsiyalashuv imkoniyatlarini yaqqol namoyon etadi.

Zamonaviy gidronik issiq pol tizimining ishlash prinsipi. Zamonaviy gidronik issiq pol tizimi 30–45 °C haroratdagi issiqlik tashuvchi suyuqlikning *PEX/PERT* quvurlar orqali aylanishi asosida ishlaydi. Issiqlik izolyatsiya qatlami (*EPS/XPS*) issiqlikning pastga yo'nalgan yo'qotilishini cheklaydi, reflektor qatlam esa issiqlik oqimini foydalanish zonasiga yo'naltiradi. Beton massiv yuqori issiqlik sig'imiga ega bo'lgan akkumulyator sifatida harakat qilib, issiqlikni

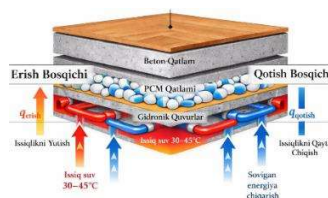


yig'adi va uni vaqt davomida barqaror tarzda xonaga radiatsion shaklda uzatadi. Natijada xonada bir tekis harorat taqsimoti, yuqori ichki muhitning issiqlik qulayligi va energiya tejamkorlik ta'minlanadi. Past haroratli ishlash rejimi tufayli gidronik issiq pol tizimlari quyosh kollektorlar, issiqlik nasoslari va kondensatsion qozonlar bilan yuqori darajada mos keladi. Beton qatlamning yuqori issiqlik inertligi (3–6 soat) harorat tebranishlarini kamaytirib, barqaror issiqlik muvozanatini shakllantiradi. PEX/PERT quvurlarning past gidravlik qarshiligi va korroziyaga chidamliligi tizimning energetik samaradorligi hamda xizmat muddatini oshiradi. Gidronik issiq pol tizimlarining asosiy ilmiy-texnik ustunliklariga past haroratli issiqlik berish hisobiga energiya sarfining kamayishi, radiatsion issiqlik tarqalishi orqali qulay mikroiklim hosil bo'lishi hamda issiqlik izolyatsiyasi va reflektor qatlam yordamida issiqlik yo'qotilishining 20–25 % gacha qisqarishi kiradi. Ushbu omillar tizimning umumiy foydali ish koeffitsiyentini sezilarli darajada oshiradi.

Zamonaviy issiq pol tizimlarining integratsion texnologiyalari: PCM, nano-suyuqliklar va quyosh kollektorlarining uyg'unlashuvi. So'nggi yillarda gidronik issiq pol tizimlarining energiya samaradorligini oshirish maqsadida bir nechta innovatsion texnologiyalarni uyg'unlashtiruvchi integratsion yondashuvlar keng qo'llanilmoqda. Xususan, faza o'zgaruvchi materiallar (PCM), nano-suyuqliklar hamda quyosh issiqlik kollektorlaridan olinadigan past haroratli energiya manbalarining birgalikda qo'llanilishi tizimning issiqlik qulayligi, inertligi va energiya tejamkorligini sezilarli darajada oshiradi. Ushbu integratsion konsepsiya issiq pol tizimlarida issiqlik tebranishlarini kamaytirish va barqaror issiqlik rejimini ta'minlash uchun mustahkam nazariy asos yaratadi. Past haroratli gidronik issiq pol tizimlarida PCMning integratsiyasi issiqlikni yashirin shaklda akkumulyatsiyalash orqali tizim samaradorligini oshiradi. PCMLar odatda 28–34 °C erish haroratiga ega bo'lib, bu qiymat gidronik isitish konturlarining 30–45 °C diapazondagi ish rejimi bilan yuqori darajada mos keladi. Konstruktsion jihatdan PCM quvurlar atrofidagi beton qatlamga kapsula, granula yoki kompozit matritsa shaklida joylashtiriladi. Isitish jarayonida PCM eritilib, katta miqdorda yashirin issiqlik yutiladi, tizim o'chirilgach esa PCM qotib, saqlangan energiyani xonaga nazoratli ravishda qaytaradi. Natijada haroratning vaqt bo'yicha o'zgarish amplitudasi kamayadi va tizimning samarali issiqlik massasi ortadi.

Ilmiy adabiyotlarda (Zalba et al., 2003; Farid et al., 2004) PCM integratsiyasining ijobiy ta'siri eksperimental va nazariy tadqiqotlar asosida tasdiqlangan. Ushbu tadqiqotlarga ko'ra, PCM qatlamining qo'llanilishi gidronik issiq pol tizimlarining issiqlik barqarorligini 20–45 % gacha oshirishi, issiqlik uzatishning uzluksizligini yaxshilashi va energiya sarfini kamaytirishi mumkin. PCM asosidagi integratsiya natijasida xonadagi harorat silliqlanadi, quvvat tebranishlariga bo'lgan ehtiyoj kamayadi va tizimning umumiy energetik samaradorligi ortadi.

PCM integratsiyalangan issiq pol tizimining ishlash prinsipi. PCM integratsiyalangan gidronik issiq pol tizimlarida beton qatlamining issiqlik inertligi faza o'zgaruvchi materiallar hisobiga sezilarli darajada oshiriladi, natijada harorat tebranishlari kamayadi va energiya samaradorligi yaxshilanadi. PCMning asosiy afzalligi uning erish-qotish jarayonlarida katta miqdorda yashirin issiqlikni (L) yutish va qayta chiqarish qobiliyatidir, bu esa past haroratli gidronik isitish tizimlari uchun ayniqsa samarali hisoblanadi. Tizimga 30 – 45 °C haroratdagi issiq suv kirib kelganda, gidronik quvurlar orqali uzatilgan issiqlik PCM joylashgan qatlamga beriladi va faza o'zgarish jarayoni boshlanadi. Erish bosqichida PCM issiqlikni yutib, beton qatlam va pol yuzasidagi haroratning keskin oshib ketishini cheklaydi (q_{eri}). Isitish manbai o'chirilgach, PCM qotish jarayonida saqlangan energiyani nazoratli ravishda qayta chiqaradi (q_{qotish}), bu esa pol haroratining uzoq vaqt davomida barqaror saqlanishini ta'minlaydi. Mazkur mexanizm natijasida issiq pol tizimida harorat tebranishlari 20–45 % gacha kamayadi, energiyadan foydalanish samaradorligi 15–30 % ga oshadi hamda isitish tizimining ishga tushish chastotasi qisqaradi. PCM mazkur jarayonda issiqlik tamponi vazifasini bajarib, issiqlikning vaqt bo'yicha silliq taqsimlanishini ta'minlaydi. Natijada xonada barqaror mikroiklim shakllanadi va tizimning umumiy termodinamik barqarorligi sezilarli darajada yaxshilanadi. 1.4-rasmda PCM integratsiyalangan issiq pol qatlamlari hamda issiqlik oqimlarining yo'nalishlari sxematik tarzda aks ettirilgan.

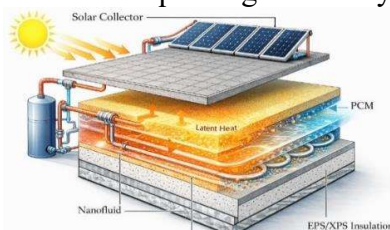


1.4-rasm. PCM integratsiyalangan gidronik issiq pol tizimining ishlash prinsipi.

Rasmda PCM bilan boyitilgan gidronik issiq pol tizimining qatlamli tuzilishi hamda issiqlik oqimlarining yoʻnalishlari sxematik tarzda koʻrsatilgan. Issiq suv ($30-45^{\circ}\text{C}$) gidronik quvurlar orqali harakatlanib, PCM joylashgan qatlamga issiqlik uzatadi va erish bosqichida yashirin issiqlikni yutadi (q_{eris}), natijada beton qatlam va pol yuzasida haroratning keskin oshishi cheklanadi. Isitish manbai oʻchirilgach, PCM qotish bosqichida saqlangan energiyani nazoratli ravishda qayta chiqaradi (q_{qoti}), bu esa pol haroratining uzoq vaqt davomida barqaror saqlanishini taʼminlaydi va tizimning umumiy energiya samaradorligini oshiradi.

Quyosh kollektor + PCM + nanofluid + gidronik issiq polning kombinatsiyasi quyidagi natijalarga olib keladi. Quyosh kollektor, PCM, nanofluid va gidronik issiq pol tizimlarining integratsiyasi sezilarli energiya va issiqlik samaradorlikka olib keladi. Xususan, quyosh issiqligidan foydalanish ulushi $30-50\%$ gacha oshadi (IEA SHC Task 45 va 53 maʼlumotlariga koʻra), elektr yoki gaz energiyasi sarfi esa PCMning yashirin issiqlik akkumulyatsiyasi hisobiga $10-25\%$ gacha kamayadi. Tizimning harorat rejimining barqarorligi $60-80\%$ gacha yaxshilanib, harorat tebranishlari keskin kamayadi. Beton va PCMning ikki pogʻonali issiqlik massasi tufayli issiqlik inertligi 3-6 soatdan 5-10 soatgacha oshadi, bu esa ichki muhit komfortining (PMV/PPD) barqarorlashuviga xizmat qiladi.

Quyosh kollektoridan kelayotgan past haroratli issiq suvning gidronik quvurlar boʻylab harakatlanishi, PCMning erish-qotish jarayonlari va nanofluidning kuchaytirilgan mikro-gidrodinamik issiqlik uzatish xususiyatlari oʻzaro sinergik taʼsir hosil qiladi. Natijada issiqlik oqimining vaqt boʻyicha notekisligi kamayib, tizimning umumiy inertligi va energiya samaradorligi sezilarli darajada ortadi. Quyida keltirilgan 3D diagramma mazkur sinergiyani fazoviy-mexanik nuqtai nazardan aks ettirib, gibrid tizimda issiqlikning akkumulyatsiya mexanizmini tasvirlaydi.

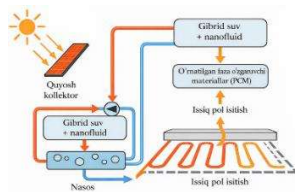


1.5-rasm. Solar-PCM-Nanofluid-gidronik tizimining integratsiyalashgan issiqlik oqimi modeli.

1.5-rasmda quyosh kollektoridan kelayotgan issiq suvning gidronik quvurlar orqali uzatilishi, PCM qatlamining erish-qotish jarayonlari hamda nanofluid qoʻllanilishi natijasida issiqlik uzatish intensivligining oshishi 3D koʻrinishda tasvirlangan. Yashirin issiqlik akkumulyatsiyasi hisobiga issiq pol tizimining harorat rejimining barqarorligi ortib, harorat tebranishlari $20-45\%$ gacha kamayadi va energiya isteʼmoli $15-30\%$ gacha qisqaradi. Ushbu gibrid yondashuv Oʻzbekistonning kontinental iqlimi sharoitida quyosh energiyasidan samarali foydalanishni taʼminlaydi. Zamonaviy energiya tejankor issiq pol tizimlarida quyosh kollektorlaridan olinadigan past haroratli issiqlik manbai, nanofluid asosidagi issiqlik tashuvchi suyuqliklar va faza oʻzgaruvchi materiallar (PCM) integratsiyalashgan holda qoʻllaniladi. Quyosh kollektoridan kelayotgan issiq suv nanofluid bilan boyitilgan gidronik konturga uzatilib, issiqlik uzatish intensivligini oshiradi. PCM qatlami esa erish-qotish jarayonida yashirin issiqlikni akkumulyatsiya qilib, tizim oʻchirilganda uni qayta chiqaradi. Mazkur gibrid tizimda nanofluidning yuqori issiqlik oʻtkazuvchanligi pol quvurlarida issiqlik almashinuvini jadallashtiradi, PCMning issiqlik inertligi esa issiq pol tizimining barqaror ishlashini taʼminlaydi. Natijada issiqlik



tebranishlari kamayadi, quyosh energiyasidan foydalanish ulushi ortadi va umumiy energiya sarfi 20–40 % gacha qisqaradi.



1.6-rasm. PCM va nanofluid bilan quyosh kollektorli issiq pol tizimining integratsion sxemasi.

Rasmda PCM, nanofluid va quyosh kollektoriga asoslangan gidronik issiq pol tizimining integratsion ishlash prinsipi ko'rsatilgan. Quyosh kollektorida olingan past haroratli issiq suv nasos yordamida nanofluid bilan boyitilgan gidronik konturga uzatiladi. Nanofluidning yaxshilangan issiqlik o'tkazuvchanligi pol quvurlarida issiqlik almashinuv intensivligini oshiradi. Issiqlik oqimi PCM qatlamiga uzatilganda, PCM erish jarayonida ortiqcha energiyani yashirin issiqlik ko'rinishida akkumulyatsiya qiladi, tizim soviganda esa qotish bosqichida ushbu energiyani qayta chiqaradi.

Xulosa

Mazkur ishda issiq pol tizimlarining tarixiy rivojlanishi, zamonaviy gidronik konstruktiv yechimlari hamda quyosh kollektor, faza o'zgaruvchi materiallar (PCM) va nanofluidlar asosida integratsiyalashgan gibrid issiq pol tizimlarining ilmiy-texnik ustunliklari tizimli ravishda tahlil qilindi. Qadimgi hypocaust va ondol tizimlaridan boshlab, Yevropada shakllangan past haroratli gidronik isitish texnologiyalarigacha bo'lgan evolyutsiya issiq pol tizimlarining asosiy afzalligi - yuqori harorat rejimining barqarorligi va energiya samaradorligini ta'minlashga yo'naltirilganligini ko'rsatdi. Tahlillar shuni ko'rsatadiki, zamonaviy gidronik issiq pol tizimlarining samaradorligi ularning qatlamli konstruksiyasi, issiqlik inertligi va boshqariluvchanligi bilan bevosita bog'liqdir. Ayniqsa, quyosh kollektoridan olinadigan past haroratli issiqlik manbaini PCM va nanofluid bilan integratsiyalash issiqlik oqimining vaqt bo'yicha barqarorlashuviga, energiya yo'qotishlarining kamayishiga va umumiy energiya samaradorligining sezilarli oshishiga olib keladi. PCMning yashirin issiqlik akkumulyatsiyasi va nanofluidning kuchaytirilgan issiqlik uzatish xususiyatlari o'zaro sinergiya hosil qilib, issiq pol tizimining inertligini oshiradi va harorat tebranishlarini kamaytiradi. O'zbekistonning kontinental iqlimi sharoitida bunday gibrid tizimlar kunduzgi quyosh energiyasidan maksimal foydalanish, sovuq tunlarda issiqlikni saqlab qolish va an'anaviy energiya manbalariga bo'lgan ehtiyojni qisqartirish imkonini beradi. Shu bois, Quyosh bilan PCM va Nanofluid, gidronik issiq pol tizimlari energiya tejamkor binolar va barqaror issiqlik ta'minoti konsepsiyalari uchun istiqbolli yechim sifatida qaralishi mumkin.

ADABIYOTLAR

- [1]. Duffie J.A., Beckman W.A. Solar Engineering of Thermal Processes. – 4th ed. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2013. – 928 p.
- [2]. Incropera F.P., DeWitt D.P., Bergman T.L., Lavine A.S. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. – 7th ed. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2011. – 1072 p.
- [3]. ASHRAE. ASHRAE Handbook: HVAC Systems and Equipment. – Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), 2020.
- [4]. EN 1264-2:2021. Water Based Surface Embedded Heating and Cooling Systems – Part 2: Floor Heating. – Brussels: European Committee for Standardization (CEN), 2021.
- [5]. ISO 11855-1:2021. Building Environment Design – Embedded Radiant Heating and Cooling Systems – Part 1. – Geneva: International Organization for Standardization (ISO), 2021.
- [6]. Olesen B.W. Radiant floor heating in theory and practice // ASHRAE Journal. – 2002. – Vol. 44, No. 7. – P. 19–26.
- [7]. Zalba B., Marín J.M., Cabeza L.F., Mehling H. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications // Applied Thermal Engineering. – 2003. – Vol. 23, No. 3. – P. 251–283.
- [8]. Khamraev S.I. Study of the combined solar heating system of residential houses // BIO Web of Conferences. – 2023. – Vol. 71. – Article 02017.