YASHASH BINOLARINI AVTONOM ENERGIYA BILAN TA'MINLASHNING ZAMONAVIY TEXNOLOGIYALARI VA ISTIQBOLLARI

Ibragimov Umidjon Xikmatullayevich
Texnika fanlari doktori (DSc),prof, "Energetika muhandisligi" kafedrasi, Qarshi davlat texnika universiteti

Fayziyev To'lqin Amirovich
Professor, "Energetika muhandisligi" kafedrasi, Qarshi davlat texnika universiteti

Temirova Lobar Zokirovna
Tayanch doktorant, "Energetika muhandisligi" kafedrasi, Qarshi davlat texnika universiteti
DOI:https://doi.org/10.5281/zenodo.23617257

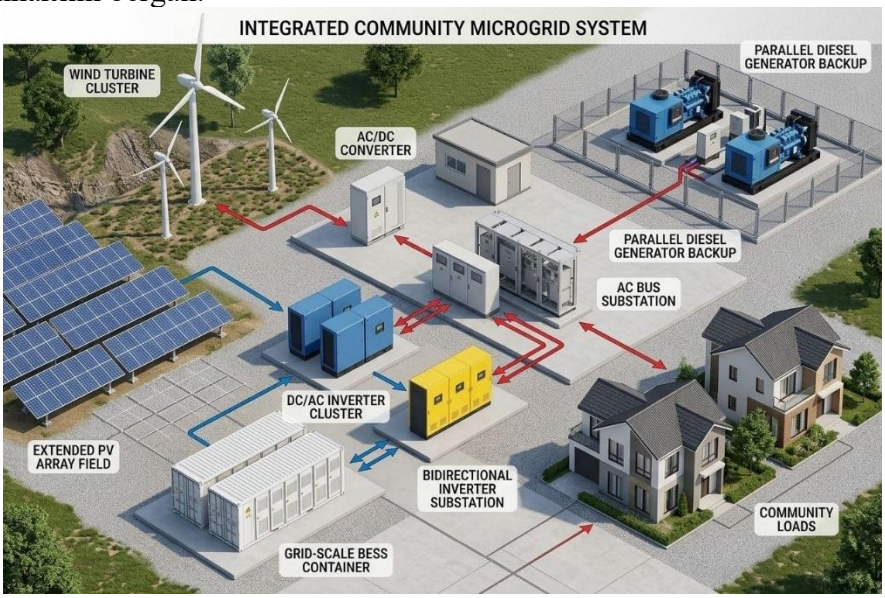
Annotatsiya. Mazkur maqolada turar-joy binolarida avtonom elektr va issiqlik ta'minoti tizimlaridan foydalanish bo'yicha xorijiy va mahalliy ilmiy tadqiqotlar tahlil qilingan. Quyosh fotoelektrik panellari, shamol turbinalari, biomassa qurilmalari, akkumulyatorlar va zaxira generatorlariga asoslangan gibrid energiya tizimlarining texnik, energetik, iqtisodiy hamda ekologik samaradorligi ko'rib chiqilgan. Shuningdek, quyosh havo kollektorlari yordamida binolarni isitish, issiqlik energiyasini tejash va ichki haroratni barqaror saqlash imkoniyatlari yoritilgan. Tahlil natijalari avtonom energiya tizimlarining samaradorligi iqlim sharoitlari, energiya yuklamasi, qurilmalar konfiguratsiyasi va texnologiyalarning iqtisodiy ko'rsatkichlariga bog'liqligini ko'rsatadi. Mavjud tadqiqotlarda elektr energiyasi ishlab chiqarishga katta e'tibor qaratilgan bo'lsa-da, turar-joy binolarida avtonom elektrli issiq pol va havoli isitish tizimlarini o'zaro uyg'unlashtirish masalalari qo'shimcha ilmiy izlanishlarni talab etadi.

Kalit so'zlar: turar-joy binolari, avtonom energiya ta'minoti, gibrid energiya tizimi, quyosh fotoelektrik paneli, quyosh havo kollektori, elektrli issiq pol, havoli isitish, issiqlik energiyasi, energiya samaradorligi, qayta tiklanuvchi energiya manbalari.

Kirish: Energiya resurslari narxining barqaror oshib borishi, iqlim o'zgarishi bilan bog'liq ekologik cheklovlar hamda markazlashgan energetika tarmoqlariga yuklamaning ortishi turar-joy binolarida avtonom elektr va issiqlik ta'minoti tizimlarini joriy etishni dolzarb ilmiy-amaliy masalaga aylantirmoqda. Qayta tiklanuvchi energiya manbalariga asoslangan avtonom tizimlar energiya ta'minotining uzluksizligini oshirish, yo'qotishlarni kamaytirish va uglerod tashlamalarini sezilarli qisqartirish imkonini beradi. Shu bilan birga, bunday tizimlarning real iqlim sharoitlari va yuklama rejimlarida ishlash samaradorligi, shuningdek, elektr va issiqlik ta'minotining o'zaro integratsiyasi yetarlicha tizimli o'rganilmagan. Shu sababli yashash binolarida avtonom elektr ta'minoti tizimlarining texnik, energetik va iqtisodiy xususiyatlarini tahlil qilish hozirgi sharoitda dolzarb ilmiy-amaliy vazifa hisoblanadi. Shu munosabat bilan, mazkur yo'nalishda olib borilgan xorijiy va mahalliy ilmiy tadqiqotlarni tahlil qilish, mavjud yondashuvlar, ularning ustun va kamchilik jihatlarini aniqlash hamda kelgusidagi izlanishlar uchun ilmiy asos yaratish zarur hisoblanadi.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

Adabiyotlar tahlili. Forrousso va boshqalar [1] tadqiqotida Marokashning oltita iqlim zonasida sof nol energiya (NZE) turar-joy binosi uchun avtonom mikroelektr tizimining optimal konfiguratsiyasi aniqlangan. Zarralar to'dasi optimallashtirish algoritmi yordamida elektr energiyasining tekislangan tannarxi (LCOE) hududga bog'liq holda 0,366-0,664 $/kW*h* oralig'ida ekanligi ko'rsatilgan. Binoga integratsiyalashgan fotoelektrik (BIPV) tizimining integratsiyasi batareya sig'imini 17,7-37,8% gacha kamaytirib, energiya tannarxini 8,7-20,72% ga pasaytirgani aniqlangan. Sovuq iqlim hududlarida tizim xarajatlari yuqori, issiq-qurg'oqchil hududlarda esa iqtisodiy samaradorlik yuqori bo'lishi qayd etilgan. Kumar va Channilar [2] tadqiqotida Hindistonning Panjob shtatidagi Sidhvanbet qishlog'i uchun quyosh fotoelektrik va biomassa asosidagi gibrid qayta tiklanuvchi energiya (GQTE) tizimining texnik-iqtisodiy va ekologik jihatdan maqbulligi baholangan. HOMER Prov3.14 yordamida 770 ta xonadon uchun optimal GQTE konfiguratsiya modellashtirilib, TOPSIS usuli orqali sof joriy qiymat, energiya tannarxi va qayta tiklanuvchi ulushi mezonlari asosida eng maqbul variant tanlangan. Natijalarga ko'ra, 10 kVt biomassa generatori, 1,1 kVt PV, besh dona litiy-ion akkumulyator va 3,96 kVt invertordan iborat tizim 25 yilda 21087 AQSh dollari miqdoridagi xarajat bilan ishlashi, bunda elektr energiyasining 35,6% qismi quyoshdan va 64,4% qismi biomassadan olinishi aniqlangan bo'lib, PV tizimining xarajatlarni qoplash muddati 1,58 yilni tashkil etgan. Kolhe va boshqalar [3] tadqiqoti Shri-Lankaning Siyambalanduva hududidagi 150 ta xonadondan iborat qishloq aholi punkti uchun GQTE tizimining optimal konfiguratsiyasini aniqlashga qaratilgan (1-rasm). Hududda o'rtacha quyosh radiatsiyasi 5,0 kW*h*/m^2·kun va shamol tezligi 6,3 m/s bo'lib, bu 50 m balandlikda 300 W/m^2 shamol quvvati zichligini ta'minlaydi. Hisob-kitoblarga ko'ra, 40 kVt shamol turbinalari, 30 kVt PV tizimi, 222 kW*h* akkumulyator sig'imi va 25 kVt dizel generatoridan iborat kombinatsiya 20 yillik hayotiy davr uchun eng past energiya tannarxini bergan.

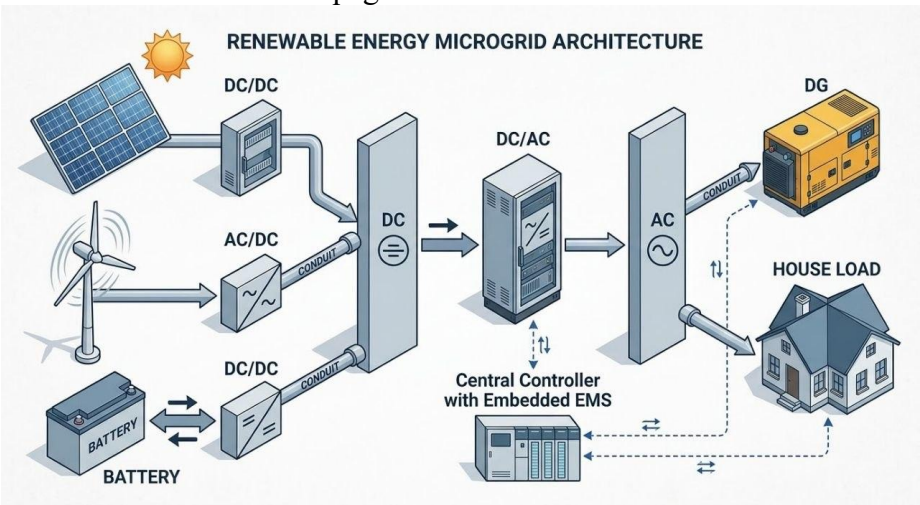


1-rasm. Avtonom elektr ta'minotiga ega gibrid tizim

Material va usullar. Mazkur tizim elektr energiyasini taxminan 0,30 $/kW*h* tekislangan tannarx bilan ta'minlab, shamol tezligi 4,5-6,3 m/s va quyosh radiatsiyasi 4,0-5,5 kW*h*/m^2 oralig'ida o'zgarganda ham tannarxning 0,1 $/kW*h* dan ortiq oshmasligi aniqlangan. Shuningdek, tizim dastlab 10 yil off-grid, keyingi 10 yil tarmoqqa ulangan rejimda ishlatilganda ham iqtisodiy jihatdan maqbul bo'lib

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

qolishi ko'rsatilgan. Bukara va bsohqalar [4] tadqiqoti beshta turar-joy uchun quyosh-shamol-akkumulyator-dizel generatoriga asoslangan avtonom mikrogridning optimal konfiguratsiyasini aniqlashga qaratilgan.[2-rasm] Grasshopper Optimization Algorithm energiya tannarxini minimallashtirish va energiya yetishmovchiligi ehtimolini nolga tenglashtirish sharti ostida qo'llanilgan hamda natijalari PSO va Cuckoo Search usullari bilan taqqoslangan. Quvvati 275 W 26 ta PV panel, 4 kW shamol turbina, 40 kW*h* akkumulyator va 4 kW dizel generatoridan iborat tizim eng maqbul yechim sifatida aniqlangan. Ushbu konfiguratsiyada LCOE 0,365 $/kW*h* bo'lib, kapital xarajatlar PSO va CS ga nisbatan mos ravishda 19,3% va 14% ga kamaygan. Sezgirlik tahlili dizel yoqilg'i narxi energiya tannarxiga eng kuchli ta'sir ko'rsatishini aniqlagan.



2-rasm. Avtonom mikrogrid tizimi sxemasi

Shuningdek, El-houari va boshqalarning [5] tadqiqoti Marokashning 24 ta shahri bo'yicha shamol-quyosh-akkumulyatorga asoslangan avtonom gibrid energiya tizimlarining energetik, iqtisodiy va ekologik samaradorliklarini kompleks baholashga bag'ishlangan. HOMER Pro dasturiy muhiti yordamida har bir hudud uchun 319,35 kW*h*/kunlik yuklama va 30,89 kW maksimal quvvat sharoitida optimal konfiguratsiyalar aniqlangan hamda LCOE 0,171-0,32 $/kW*h* oralig'ida ekanligi ko'rsatilgan. Eng past energiya tannarxi Eddaxla va Laayun shaharlarida qayd etilib, bu hududlarda LCOE mos ravishda 0,171 va 0,172 $/kWh ni tashkil etgan. Natijalar ko'rsatishicha, ko'pgina hududlarda elektr ishlab chiqarishda PV ulushi ustun bo'lib, shamol energiyasining iqtisodiy samaradorligi past bo'lgan shaharlarda faqat PV-akkumulyatorli konfiguratsiya maqbulroq ekani aniqlangan. Tadqiqotda gibrid tizimlar joriy etilishi natijasida 24 ta shaharda jami 3711 tonnadan ortiq CO_2 emissiyasi qisqartirilishi mumkinligi hisoblab chiqilgan. Shu bilan birga, kapital xarajatlarning 30% ga kamaytirilishi energiya tannarxini Eddaxlada 0,171 dan 0,125 $/kW*h* gacha tushirishi mumkinligi ko'rsatilib, texnologiya narxlarining pasayishi gibrid tizimlarning kelajakdagi raqobatbardoshligini sezilarli oshirishi asoslangan. Arabzadeh va boshqalar [6] tadqiqotida Winnipeg (Kanada) sharoitida uy xo'jaligi uchun quyosh-shamol-dizel-akkumulyatorga asoslangan avtonom energiya tizimining texnik-iqtisodiy samaradorligini HOMER dasturi yordamida modellashtirib baholaydi. Natijalarga ko'ra, 16 kW*h*/kunlik o'rtacha yuklama va 1,9 kW cho'qqi quvvat sharoitida 1 kW PV, 1 shamol turbina, 2 kW dizel generator, 5 ta akkumulyator (34,7 kW*h*) va 2 kW invertordan iborat konfiguratsiya eng maqbul bo'lib, uning sof joriy qiymati 33110$ va energiya tannarxi 0,444 $/kW*h* ni tashkil etgan. Mazkur tizimda elektr energiyasining 74% shamoldan, 16% quyoshdan va atigi 10% dizel generatoridan olinib, qayta

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

tiklanuvchi ulush 81,5% ga yetgani aniqlangan. Shaahid va Elhadidylar [7] Dahran shahrida joylashgan bir bino uchun energiya talabini qondirishga mo'ljallangan PV/dizel/akkumulyator gibrid tizimining texnik-iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiqligini baholaganlar. Natijada elektr energiyasining birlik qiymati (COE) 0,149 $/kVt·soat ga teng ekanligi aniqlangan. Fazelpour va hammualliflar [8] mehmonxonaning energiya ehtiyojini qondirish uchun gibrid tizimdan foydalanishning iqtisodiy maqsadga muvofiqligini baholaganlar. Bunda tizimlarning ekologik ta'siri hisobga olinmasdan tahlil qilingan bo'lib, natijada dizel/akkumulyator tizimi energiyaning solishtirma qiymati 0,315 $/kVt·soat bo'lgani sababli eng iqtisodiy samarali deb topilgan. Shaahid va Elhadidy [9] issiq iqlim sharoitida joylashgan tipik turar-joy binosining yuklama talablarini qondirish uchun gibrid PV/dizel elektr ta'minoti tizimlaridan foydalanish salohiyatini tahlil qilganlar. Ularning hisob-kitoblariga ko'ra, 225 m^2 maydonga ega fotoelektrik panellar va 12 soatlik akkumulyator sig'imi mavjud bo'lganda ham, yuklamaning taxminan 9% ini qoplash uchun dizel zahira tizimi zarur bo'lgan.

Baseer va boshqalar [10] tadqiqotida Saudiya Arabistonining Jubail sanoat shahridagi uchta turar-joy majmuasi uchun quyosh-shamol-dizel-akkumulyatorga asoslangan gibrid energiya tizimlarining texnik-iqtisodiy maqbulligini HOMER Pro dasturi yordamida baholangan. Tadqiqotda mos ravishda 11160, 4865 va 3288 kW*h*/kun yuklamali majmualar uchun PV/Wind/Diesel/Battery konfiguratsiyasi eng past energiya tannarxini bergani aniqlanib, LCOE qiymatlari 0,183; 0,224 va 0,244 $/kW*h* ni tashkil etgan. Shu bilan birga, 100% qayta tiklanuvchi energiya asosidagi PV/Wind/Battery variantlarida energiya tannarxi 30% gacha oshgan bo'lsa-da, yiliga 2800 tonnagacha CO_2 emissiyasini kamaytirish imkoniyati mavjudligi ko'rsatilgan. Eronning Zabol shahrida joylashgan bir turar-joy binosi uchun akkumulyatorli zahira bilan jihozlangan gibrid dizel/PV/shamol qayta tiklanuvchi energiya tizimini qo'llash imkoniyati ko'rib chiqilgan [11]. Ushbu binoning o'rtacha sutkalik umumiy elektr yuklamasi 28,8 kVt·soat ni tashkil etgan. Energiya qiymati (LCOE) va sof joriy qiymat (NPC) eng past bo'lishi asosida optimal tizim konfiguratsiyasi sifatida shamol/dizel/akkumulyator kombinatsiyasi taklif etilgan bo'lib, bunda LCOE 0,360 $/kVt·soat , NPC esa 888500$ ga teng bo'lgan. Ushbu tizim uchun boshlang'ich kapital xarajatlar 370000$ ni tashkil etgan. Turkiyaning Izmir shahrida joylashgan tarmoqqa ulanmagan dam olish uylari uchun PV/shamol/yoqilg'i elementi-gibrid energiya tizimlari yordamida elektr talabini qondirish bo'yicha texnik-iqtisodiy baholash taklif etilgan [12]. Simulyatsiyalar uchun ikki ssenariy-mavsumiy va doimiy foydalanish holatlari, shuningdek, energiyani saqlashning ikki variant-vodorod va akkumulyator-ko'rib chiqilgan. Natijalarga ko'ra, doimiy foydalanish ssenariysida PV/shamol/yoqilg'i elementi/dizel tizimi bilan eng past LCOE 0.282 $/kW*h* qiymatiga erishilgan. Rashid va boshqalar [13; 676-680-b] tomonidan Bangladesh qirg'oqlari yaqinida joylashgan Sent-Martin va Kuakata orollari uchun optimal PV/shamol/dizel gibrid energiya tizimi taklif etilgan. Yillik o'rtacha quyosh nurlanishi 4,65 kW*h*/m^2/kun va yer sathidan 25 m balandlikda shamol tezligi 4,81 m/s bo'lgan sharoitda, ikki orol uchun LCOE mos ravishda 0,393 va 0,392 $/kW*h* ekanligi aniqlangan. Shunga o'xshash optimal PV/shamol/dizel gibrid energiya tizimi akkumulyatorli zahira bilan Hindistonning Maharashtra shtatidagi Yavatmal tumani uchun ham taklif etilgan [14]. Quyosh fotoelektrik tizimi akkumulyator, invertor va generator bilan birgalikda eng past umumiy NPC 386,000$ va LCOE 1,096 $/kW*h* qiymatini ta'minlagan. Shamol turbinasini tizimga qo'shish natijasida ikkinchi eng past LCOE 1,106 $/kW*h* ga teng bo'lgan.

Micangeli va boshqalar [15] tomonidan Keniyada olib borilgan tadqiqotda gibrid energiya tizimining optimal konfiguratsiyasi sifatida quyidagi tarkib taklif etilgan: PV generator (808 kW), invertor (202 kW), energiya saqlash tizimi (2,6 MW*h*) hamda uchta dizel generator (50 kW, 100 kW va

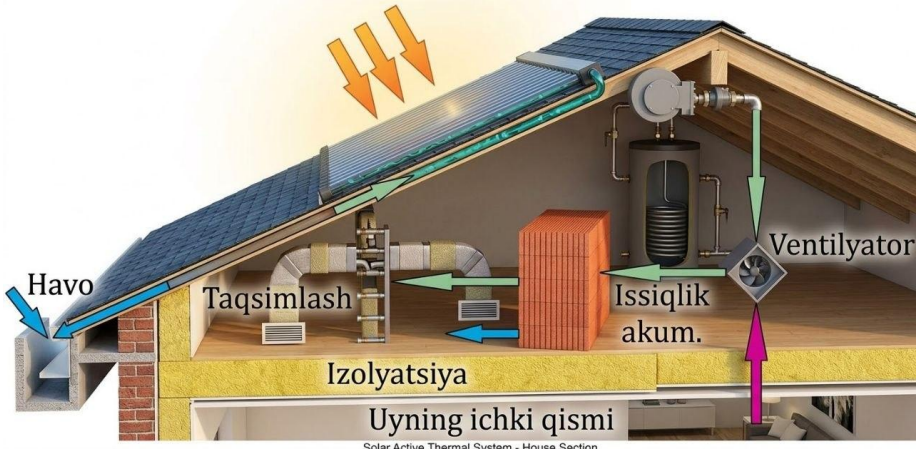
© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

410 kW). Ushbu ssenariy uchun energiyaning solishtirma qiymati 0,253 $/kW*h* ekanligi aniqlangan. Amaldagi holat bilan taqqoslanganda, taklif etilgan konfiguratsiya dizel yoqilg'i sarfini yiliga 362,566 litrga, CO_2 chiqindilarini yiliga 951,658 kg ga hamda boshqa ifloslantiruvchi moddalarning chiqindilarini yiliga 7310 kg ga kamaytirishini ko'rsatgan. Shuningdek, turli gibrid energiya tizimi loyihalarining texnik va iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiqligi baholanib, optimal tizim aniqlangan [16]. Ushbu qishloqda yuklama talabi sutkasiga 243 kW*h* va maksimal yuklama 51,5 kW ni tashkil etgan. Natijalarga ko'ra, mazkur hudud uchun optimallashtirilgan tizim PV (73 kW), dizel generator (57 kW), akkumulyatorlar bloki (387 kW*h*) va invertordan (28 kW) iborat bo'lgan. Elektr energiyasining solishtirma qiymati 0,37 $/kW*h* ekanligi aniqlangan. Malayziyaning Selangor hududida joylashgan "KLIA Sepang Station" nomli tarmoqqa ulanmagan hudud uchun shamol/PV/dizel gibrid energiya tizimini akkumulyatorli saqlash bilan qo'llashning maqsadga muvofiqligi tahlil qilingan [17]. Ushbu kichik aholi punktida o'rtacha yuklama talabi sutkasiga 33 kW*h* ni tashkil etgan. Hisob-kitoblarga ko'ra, elektr energiyasining solishtirma qiymati 1,877 $/kW*h* ga teng bo'lib, bu hududdagi an'anaviy elektr stansiyalaridan olinadigan energiya xarajatlariga nisbatan pastroqdir. Shuningdek, mazkur tizim yiliga taxminan 16 tonna issiqxona gazlari chiqindilarini kamaytirishi ta'kidlangan. Elhassan va boshqalar [18] tomonidam Sudanning Xartum shahrida turar-joy ehtiyojlari uchun gibrid energiya tizimini loyihalash taklif etilgan. Ushbu shaharning iqlim sharoitlari Jubail sanoat shahri sharoitlariga o'xshash ekanligi qayd etilgan. Tadqiqot doirasida bitta uy xo'jaligidan boshlab taxminan 50 ta xonadongacha bo'lgan holatlar uchun gibrid energiya tizimini optimal loyihalashga mo'ljallangan simulyatsiya modeli ishlab chiqilgan. Natijalar shuni ko'rsatdiki, uylar soni ortishi bilan elektr energiyasining solishtirma qiymati (LCOE) pasayib borgan. Xususan, bitta xonadon uchun LCOE 1,1 $/kW*h* ga teng bo'lgan bo'lsa, 50 ta xonadon uchun bu ko'rsatkich 0,44 $/kW*h* gacha kamaygan. 50 ta uy uchun optimal dizayn tarkibi 3,5 kW quvvatli PV modullar, har biri 3 kW quvvatga ega bo'lgan 2 ta shamol turbinalari hamda nominal kuchlanishi 6 V va sig'imi 225 A*h* bo'lgan 8 ta akkumulyatorlardan iborat deb keltirilgan. Quyida keltirilgan tadqiqot natijalari gibrid energiya tizimlarining turar-joylarda elektr ta'minotini iqtisodiy va texnik jihatdan samarali tashkil etish imkoniyatlarini yaqqol ko'rsatadi. Shu bilan birga, qayta tiklanuvchi energiyadan bevosita issiqlik ta'minotida, xususan avtonom isitish tizimlarida qo'llanilishi va ularning samaradorligini baholash masalasi alohida ilmiy tahlilni talab etadi.

Natijalar va muhokama. Natijalar mobaynida Ürge-Vorsatz va boshqalar [19] tadqiqotida binolarni isitish va sovitishda energiya iste'molining global va mintaqaviy tendensiyalari tahlil qilinib, bu soha jahon yakuniy energiya talabining 32% ini va energiya bilan bog'liq CO_2 emissiyalarining 30% ini tashkil etishi asoslangan. Tahlillarga ko'ra, turar-joy binolarida isitish va sovitish energiyasi ulushi mintaqaga qarab 18% dan 73% gacha o'zgarib, eng yuqori ko'rsatkichlar issiq iqlimli rivojlanayotgan hududlarda qayd etilgan. 2010-2050 yillar oralig'ida "muzlatilgan samaradorlik" ssenariysi bo'yicha global miqyosda turar-joy isitish va sovitish energiyasi iste'moli taxminan 79-80% ga, tijorat binolarida esa 84% ga oshishi bashorat qilingan. Hisob-kitoblar energiya talabining asosiy drayverlari sifatida xonadonlar sonining 115% ga oshishi, jon boshiga to'g'ri keladigan maydonning 38-50% ga kengayishi va iqtisodiy faollikning keskin ortishini ko'rsatgan. Shu bilan birga, maxsus energiya sarfi ko'plab hududlarda deyarli barqaror qolishi yoki sekin kamayishi aniqlanib, energiya samaradorligini oshirish siyosati kelgusida binolarda issiqlik energiyasi yuklamalarini me'yorlashda hal qiluvchi ahamiyatga ega ekanligi ilmiy jihatdan asoslangan. Wang va boshqalar [20] tadqiqotida qish mavsumida quyosh havo kollektori, faza-almashuvchili issiqlik saqlash kanali va pol orqali havo uzatish tizimidan iborat kompleks isitish tizimining ishlash samaradorligini sonli modellashtirish asosida baholangan. Hisoblash

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

sharoitida quyosh nurlanish intensivligi 860 W/m^2 bo'lganda havoning kollektordan chiqishidagi harorati 283K dan 328K gacha oshgani aniqlangan. Faza-almashuvchili issiqlik saqlash kanali orqali o'tgach, havo harorati 307K darajada barqarorlashib, kunduzgi ortiqcha issiqlikni saqlash imkoniyati ta'minlangan. Xonaga 0,7 m/s tezlikda uzatilgan havo natijasida ichki havo harorati o'rtacha 292K (≈19°C) atrofida saqlanib, isitish me'yorlariga to'liq mos kelgani ko'rsatilgan. Shu bilan birga, tashqi harorat 267K gacha pasaygan tungi sharoitda faqat quyosh manbasi yetarli bo'lmagani va ichki haroratni 291K darajada ushlab turish uchun qo'shimcha elektr isitish manbasi zarurligi ilmiy jihatdan asoslangan. Boynazarov va Uzbekovlar [21] tadqiqoti O'zbekiston iqlim sharoitida issiqxonalarni quyosh havo isitgich kollektorlar yordamida isitishning energetik va iqtisodiy samaradorligini baholashga qaratilgan. Umumiy maydoni 400 m^2 va hajmi 1120 m^3 bo'lgan issiqxonada ishchi yuzasi 1 m^2 dan iborat 20 ta rombsimon quyosh havo kollektoridan foydalanilib, qishki hisobiy sharoitda (T_i=19°C, T_t=−1°C) umumiy issiqlik yo'qotishlari 21,35 kW ni tashkil etgani aniqlangan. Issiqlik balansiga ko'ra, beton devorlar orqali yo'qotishlar 18,34 kW, izolyatsiyalangan tashqi qoplama orqali esa atigi 2,85 kW bo'lib, havo qatlamining yuqori issiqlik qarshiligiga ega ekani tasdiqlangan. Quyosh nurlanishi maksimal bo'lganda kollektorlar 3,5 kW gacha issiqlik ishlab chiqarib, bir kun davomida jami 18,85 kW·soat issiqlik energiyasini tejash imkonini bergan. Qayumov va boshqalar [22] tadqiqoti gibrid turdagi quyosh-havo kollektorlarida konstruktiv yechimlarni takomillashtirish orqali quyosh nurlanishidan foydalanish darajasini oshirish va havoni isitish samaradorligini yaxshilashga qaratilgan. Kollektorni mavsumga mos optimal burchak ostida o'rnatish ishchi havoning tashqi muhitga nisbatan haroratini 25-40°C gacha oshirish imkonini berishi aniqlangan. Majburiy sirkulyatsiya rejimida mini fotoelektrik moduldan quvvat oluvchi 12 W quvvatli ventilyatorlardan foydalanish tizimning to'liq avtonom ishlashini va elektr tarmog'idan mustaqilligini ta'minlagan. Olingan natijalar gibrid quyosh-havo kollektorlarini binolarni qo'shimcha isitish, ventilyatsiya va namlikni me'yorlashni bir vaqtning o'zida ta'minlaydigan energiya tejamkor va texnik jihatdan maqsadga muvofiq qurilma sifatida baholash imkonini bergan. Belusko va boshqalar [23] tadqiqotida tom konstruksiyasiga integratsiyalashgan va shaffof qoplama bilan jihozlangan quyosh-havo isitish tizimining energetik samaradorligi matematik modellashtirish asosida baholangan (3-rasm). Natijalar shuni ko'rsatadiki, shaffof qoplama qo'llanilganda kollektor samaradorligi taxminan 30% dan 50% gacha oshib, konvektiv va osmon nurlanishi orqali yo'qotiladigan issiqlik ulushi sezilarli darajada kamaygan.



3-rasm. Tomda o'rnatilgan quyosh-havo isitish tizimi

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

Issiqlik akkumulyatori hajmi va kollektor maydonini mos tanlash orqali yillik energiya tejalishi 9-22% oralig'ida ta'minlanishi mumkinligi aniqlangan. Umuman olganda, olingan natijalar tomga integratsiyalashgan shaffof quyosh havo kollektorlarini past kapital o'zgarishlar bilan binolarning issiqlik ta'minotida energiya samaradorligini oshiruvchi istiqbolli texnik yechim sifatida baholash imkonini beradi. Budea [24] Ruminiya iqlim sharoitida quyosh havo kollektorlarining isitish va ventilyatsiya jarayonlarida qo'llashdagi energetik samaradorligini eksperimental va matematik modellashtirish asosida chuqur tahlil qilgan. Hisob-kitoblarga ko'ra, 200 m^3 hajmdagi turar-joy binosida 500 W/m^2 quyosh nurlanishi sharoitida 10-15°C harorat farqini ta'minlash uchun 4-6 m^2 kollektor yuzasi yetarli bo'lib, bu tabiiy ventilyatsiyani samarali tashkil etish imkonini beradi. Umuman olganda, olingan natijalar quyosh havo kollektorlarini binolarning issiqlik ta'minoti va ekologik toza ventilyatsiya tizimlariga integratsiyalash energiya tejamkorligi va ekspluatatsion samaradorlikni sezilarli darajada oshirishini ilmiy jihatdan asoslaydi. Choudhury va Baruahlarning [25] ta'lidlashicha, quyosh havo isitgichlari asosida turar joylarni isitish tizimlari energiya tejamkorligi nuqtai nazaridan yuqori salohiyatga ega bo'lib, turar-joy sektorida umumiy energiya iste'molining 18-73% ini tashkil etuvchi issiqlik yuklarini kamaytirishga xizmat qiladi. Tadqiqotlarda ko'rsatilishicha, an'anaviy tekis plastinali quyosh kollektorlari uchun foydali ish koeffitsienti odatda 50-60% ni, zamonaviy vacuum quvurli havo kollektorlari uchun esa 70-90% gacha yetadi. 1 m^2 yuzali kollektor yordamida yiliga o'rtacha 300-900 kW*h* issiqlik energiyasi olish mumkin bo'lib, bu ko'rsatkich o'rtacha iqlim sharoitida bir xonadonning mavsumiy isitish ehtiyojining sezilarli qismini qoplaydi. Iqtisodiy tahlillar shuni ko'rsatadiki, quyosh asosidagi isitish tizimlarida issiqlikning keltirilgan tannarxi 20-220 $/MW*h* oralig'ida bo'lib, bu ko'rsatkich tabiiy gaz (40-100 $/MW*h*) va elektr energiyasi (75-260 $/MW*h*) bilan raqobatbardosh hisoblanadi. Shu bilan birga, bunday tizimlardan foydalanish natijasida turar-joy sektorida CO_2 chiqindilarini global miqyosda taxminan 6-10% gacha kamaytirish imkoniyati mavjud bo'lib, bu ularning texnik va ekologik jihatdan samaradorligini asoslab beradi.

Xulosa Tahlil qilingan ilmiy tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, turar-joy binolarida avtonom va gibrid elektr ta'minoti tizimlaridan samarali foydalanish, energiya tannarxini sezilarli kamaytirish imkoniyatiga ega. Optimal tizim konfiguratsiyasi iqlim sharoitlari, yuklama profili va texnologik narxlarga kuchli bog'liq bo'lib, PV, shamol, biomassa va akkumulyatorlarning kombinatsiyasi ko'plab hududlarda iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq ekani isbotlangan. Shu bilan birga, turar-joy binolarida quyosh havo kollektorlari asosidagi havoli isitish tizimlari issiqlik ta'minotida texnik jihatdan samarali va ekologik toza yechim hisoblanadi. Xorijiy va mahalliy tadqiqotlarda havoli isitish tizimlari yordamida 1 m^2 kollektor yuzasidan yiliga 300-900 kW*h* issiqlik energiyasi olish, ichki havo haroratini 18-22°C diapazonda barqaror saqlash mumkinligi ilmiy jihatdan asoslangan bo'lib, mavjud tadqiqotlar asosan elektr energiyasi ishlab chiqarishga yo'naltirilgan hamda avtonom tizimlarning issiqlik ta'minotidagi qo'llanilishi yetarlicha chuqur o'rganilmagan. Yuqorida keltirilgan natijalar qayta tiklanuvchi energiya manbalariga asoslangan avtonom tizimlarning elektr ta'minotidagi yuqori salohiyatini ko'rsatadi, biroq turar-joylarda energiya iste'molining asosiy ulushini tashkil etuvchi havoli quyosh isitish tizimlari masalasi alohida ilmiy yondashuvni talab etadi. Shu sababli yashash uylarida avtonom elektrli issiq pol tizimlaridan foydalanish bo'yicha ilmiy-tadqiqotlarni chuqur tahlil qilish, ushbu tizimlarni havoli isitish bilan kombinatsiyalashgan holda qo'llash masalalarini o'rganishga zarurat tug'iladi.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. S. Forrousso, S.I. Kaitouni, A. Mana, M. Wakil, A. Jamil, J. Brigui, H. Azzouzi. Optimal sizing of off-grid microgrid building-integrated-photovoltaic system with battery for a net zero energy residential building in different climates of Morocco. Results in Engineering 22, 2024:102288.
2. R. Kumar, H.K. Channi. A PV-Biomass off-grid hybrid renewable energy system (HRES) for rural electrification: design, optimization and techno-economic-environmental analysis, J. Clean. Prod. 349, 2022.
3. M.L. Kolhe, K.M. Iromi Udumbara Ranaweera, A.G.B. Sisara Gunawardana. Techno-economic sizing of off-grid hybrid renewable energy system for rural electrification in Sri Lanka. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 11, 2015. – p. 53-64.
4. A.L. Bukara, Ch.W. Tana, K.Y. Lau. Optimal sizing of an autonomous photovoltaic/wind/battery/diesel generator micro grid using grasshopper optimization algorithm. Solar Energy, 188, 2019. – p. 685-696.
5. H. El-houari, A. Allouhi, T. Salameh, T. Kousksou, A. Jamil, B. El Amrani. Energy, Economic, Environment (3E) analysis of WT-PV-Battery autonomous hybrid power plants in climatically varying regions. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 43, 2021:100961.
6. M.S. Arabzadeh, F. Fazelpour, N. Soltani, M.A. Rosen. Performance Analysis of a Photovoltaic/Wind/Diesel Hybrid Power Generation System for Domestic Utilization in Winnipeg, Manitoba, Canada. Environmental Progress & Sustainable Energy, 2018. DOI 10.1002/ep.
7. S.M. Shaahid, M.A. Elhadidy. Technical and economic assessment of grid independent hybrid photovoltaic-diesel-battery power systems for commercial loads in desert environments, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11, 2007. – p. 1794-1810.
8. F. Fazelpour, N. Soltani, M.A. Rosen. Feasibility of satisfying electrical energy needs with hybrid systems for a medium-size hotel on Kish Island, Iran, Energy, 73, 2014. – p. 856-865.
9. S.M. Shaahid, M.A. Elhadidy. Opportunities for utilization of stand-alone hybrid (photovoltaic/diesel/battery) power systems in hot climates, Renewable Energy, 28, 2003. – p. 1741-1753.
10. M.A. Baseer, A. Alqahtani, S. Rehman. Techno-economic design and evaluation of hybrid energy systems for residential communities: Case study of Jubail industrial city. Journal of Cleaner Production, 237, 2019:117806.
11. F. Fazelpour, S. Farahi, N. Soltani. Techno-economic analysis of hybrid power systems for a residential building in Zabol, Iran. EEEIC 2016 - Int. Conf. Environ. Electr. Eng., 2016. – p. 1-6.
12. A.C. Duman, O. Güler. Techno-economic analysis of off-grid PV/wind/fuel cell € hybrid system combinations with a comparison of regularly and seasonally occupied households. Sustain. Cities Soc. 42, 2018. – p. 107-126.
13. S. Rashid, S. Rana, S.K.A. Shezan, S.A.B. Karim, S. Anower. Effect of hydrothermal carbonization reaction parameters on. Environ. Prog. Sustain. Energy 33, 2014. – p. 676-680.
14. J.B. Fulzele, S. Dutt, S. Optimum planning of hybrid renewable energy system using HOMER. Int. J. Electr. Comput. Eng. 2, 2013. – p. 68-74.
15. A. Micangeli, R. Del Citto, I.N. Kiva, S.G. Santori, V. Gambino, J. Kiplagat, D. Vigano, D. Fioriti, D. Poli. Energy production analysis and optimization of mini-grid in remote areas: the case study of Habaswein, Kenya. Energies 10, 2017. – p. 1-23.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

16. S. Mandal, B.K. Das, N. Hoque. Optimum sizing of a stand-alone hybrid energy system for rural electrification in Bangladesh. J. Clean. Prod. 200, 2018. – p. 12-27.
17. S.A. Shezan, S. Julai, M.A. Kibria, K.R. Ullah, R. Saidur, W.T. Chong, R.K. Akikur. Performance analysis of an off-grid wind-PV (photovoltaic)-diesel-battery hybrid energy system feasible for remote areas. J. Clean. Prod. 125, 2016. – p. 121-132.
18. Z.A.M. Elhassan, M.F.M. Zain, K. Sopian, A. Awadalla. Design of hybrid power system of renewable energy for domestic used in Khartoum. J. Appl. Sci. 11, 2011. – p. 2270-2275.
19. D. Ürge-Vorsatz et al. Heating and cooling energy trends and drivers in buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, 2015. – p. 85-98.
20. L. Wang, Y. Mana, Sh. Shia, Z. Wang. Application of Solar Air Collector and Floor Air Supply Heating System in Winter. Procedia Engineering, 205, 2017. – p. 3623-3629.
21. B.B. Boynazarov, M.O. Uzbekov. Providing heat energy to greenhouses using solar air heater collectors. Web of scientist: International scientific research journal, Vol. 4, Iss. 6, 2023. – p. 350-359.
22. J.A. Qayumov, M.X. Murodov, E.X. Berkinov. Gibrid turdagi quyosh-havo kollektorlarida konstruktiv o'zgartirishlarning samaradorligi. International scientific journal «Science and Innovation» special issue: Green energy and economics, May 2-3, 2025. 727-734-betlar.
23. M. Belusko, W. Saman, F. Bruno. Roof integrated solar heating system with glazed collector. Solar Energy, 76, 2004. – p. 61-69.
24. S. Budea. Solar Air Collectors for Space Heating and Ventilation Applications-Performance and Case Studies under Romanian Climatic Conditions. Energies, 7, 2014. – p. 3781-3792.
25. P.K. Choudhury, D.C. Baruah. Solar air heater for residential space heating. Energ. Ecol. Environ., 2(6), 2017. – p. 387-403.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.