

**QARSHI DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
PhD.03/30.09.2020.T.111.03 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

QARSHI DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

RAXMATOV OBID IBOD O‘G‘LI

**AVTONOM ISSIQXONALARNING QUYOSH VA ISSIQLIK NASOSLI
ENERGIYA TA‘MINOTI TIZIMI**

05.05.06 – Qayta tiklanadigan energiya turlari asosidagi energiya qurilmalari

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Qarshi – 2025

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati
mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
по техническим наукам**

**Content of the dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)
on technical sciences**

Raxmatov Obid Ibod O'g'li

Avtonom issiqxonalarining quyosh va issiqlik nasosli energiya ta'minoti
tizimi..... 5

Рахматов Обид Ибод Угли

Солнечно-теплонасосная система энергоснабжения автономных теплиц 25

Rakhmatov Obid Ibod ugli

Solar heat pump system for power supply of autonomous greenhouses..... 50

E'lon qilingan ishlar ro'uxati

Список опубликованных работ

List of published works 54

**QARSHI DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
PhD.03/30.09.2020.T.111.03 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

QARSHI DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

RAXMATOV OBID IBOD O‘G‘LI

**AVTONOM ISSIQXONALARNING QUYOSH VA ISSIQLIK NASOSLI
ENERGIYA TA‘MINOTI TIZIMI**

05.05.06 – Qayta tiklanadigan energiya turlari asosidagi energiya qurilmalari

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Qarshi – 2025

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2024.4.PhD/T5112 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya ishi Qarshi davlat texnika universitetida bajarilgan.
Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.qmii.uz) va «Ziyonet» Axborot ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Safarov Alisher Bekmurodovich
texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Rasmiy opponetlar:

Yuldashev Isroil Abrievich
texnika fanlari doktori, professor

Fayziyev To'lqin Amirovich
texnika fanlari nomzodi, professor

Yetakchi tashkilot:

Buxoro davlat universiteti

Dissertatsiya himoyasi Qarshi davlat texnika universiteti huzuridagi PhD.03/30.09.2020.T.111.03 raqamli Ilmiy kengashning 2025 yil "___" _____ soat ___ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 180100, Qarshi shahri, Mustaqillik ko'chasi, 225-uy. Qarshi davlat texnika universiteti konferensiyalar zali. Tel.: (+99875) 224-02-89, faks: (8375) 224-13-95, e-mail: kstu@kstu.uz).

Dissertatsiya bilan Qarshi davlat texnika universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (№___ raqami bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 180100, Qarshi shahri, Mustaqillik ko'chasi, 225-uy. Tel.: (+99875) 224-02-89, faks: (8375) 224-13-95 e-mail: kstu@kstu.uz).

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil «___» _____ kuni tarqatildi.
(2025 yil "___" _____ dagi №___ raqamli reestr bayonnomasi).

G'.N. Uzoqov

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash
raisi, texnika fanlari doktori, professor

X.A. Davlonov

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash
kotibi, texnika fanlari bo'yicha
falsafa doktori, dotsent

B.E. Xayriddinov

Ilmiy kengash huzuridagi Ilmiy
darajalar beruvchi ilmiy seminar raisi,
texnika fanlari doktori, professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zaruriyati. Jahonda issiqxonalarining issiqlik ta'minotida tabiiy yoqilg'i-energiya resurslarini tejash, qayta tiklanadigan energiya manbalaridan samarali foydalanish, yashil texnologiyalarga asoslangan quyosh energetik qurilmalari asosidagi avtonom energiya ta'minoti tizimini ishlab chiqishga alohida e'tibor berilmoqda. Dunyoda aqlli issiqxonalarini rivojlantirish dasturlariga ko'ra, 2022 yilda 1,7 milliard AQSh dollariga baholangan qayta tiklanadigan energiya manbalari asosidagi issiqxonalarining global bozori 2030 yilga kelib 3,6 milliard AQSh dollari miqdoriga yetishi va 2022-2030 yillardagi tahlil davrida yillik o'sish surati 9,5 foizga oshishi kutilmoqda¹. Xorijiy mamlakatlar tajribasi shuni ko'rsatadiki, avtonom issiqxonalarini issiqlik va elektr ta'minoti tizimida tabiiy yoqilg'i manbalariga asoslangan energetik qurilmalar va tizimlardan foydalanish ekologik va iqtisodiy samaradorlikni pasayishiga olib kelmoqda. Shu sababli, energiya samarador quyosh va issiqlik nasosli qurilmalar asosidagi avtonom energiya ta'minoti tizimini issiqxonalarda qo'llanilishi muhim ahamiyatga ega hisoblanadi.

Jahonda issiqxonalarda yashil texnologiyalardan foydalanishni rivojlantirishning ilmiy-texnologik asoslarini ishlab chiqish, kontinental iqlim sharoitlari uchun qayta tiklanadigan energiya manbalariga asoslangan avtonom energiya ta'minoti tizimlarini takomillashtirishga yo'naltirilgan ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Ushbu yo'nalishda, jumladan, issiqxonalar joylashgan hudud iqlim sharoitidan kelib chiqib issiqxonalarining maqbul konstruksiyasi va qoplama materiallarini aniqlash, quyosh radiatsiyasi, quyosh harakat trayektoriyasi va atrof-muhit harorati o'zgarishiga bog'liq issiqxonalarining energiya balansi tenglamalarini ishlab chiqish, issiqxonalarda o'rnatilgan quyosh fotoelektr panellari samaradorligiga ta'sir etuvchi tashqi omillarni tadqiq qilish va sirtini changdan tozalash texnologiyalarini ishlab chiqish, issiqxonalarda quyosh va issiqlik nasosli qurilmalar asosidagi energiya ta'minoti tizimlarining samaradorligini oshirish bo'yicha olib borilayotgan ilmiy izlanishlar ustuvor hisoblanadi. Shu sababli, hozirgi vaqtda issiqxonalarining hududning iqlim sharoitlariga moslashtirilgan energiya samarador quyosh va issiqlik nasosli avtonom energiya taminoti tizimini ishlab chiqish va energetik parametrlarini ilmiy asoslashga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Respublikamizda issiqxonalarini energiya samaradorligini oshirish, jumladan, quyosh energiyasi asosida energiya tejamkor texnologiyalar va tizimlarni joriy etish, quyosh va issiqlik nasosli qurilmalar asosidagi energiya ta'minoti tizimlaridan samarali foydalanish bo'yicha muayyan ishlar amalga oshirilmoqda. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023 yil 16 fevraldagi "2023 yilda qayta tiklanuvchi energiya manbalarini va energiya tejoychi texnologiyalarni joriy etishni jadallashtirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi PQ-57-sonli qarorida "...ijtimoiy soha obektlari va uy-joy kommunal xizmat ko'rsatish sohalarida hamda iqtisodiyot tarmoqlarida qayta tiklanuvchi energiya manbalarini keng joriy etish, energiya

¹ <https://www.globenewswire.com/newsrelease/2023/12/11/2794082/28124/en/Smart-Greenhouse-Global-Strategic-Industry-Report-2023-2030-AgTech-Emerges-as-New-Buzzword-in-Agricultural-Growing-Adoption-of-IoT-Presents-Vast-Opportunities.html>

samaradorligini oshirish orqali respublika hududlarida energiya taqchilligi qoplanishini ta'minlash, bu boradagi ishlarni kompleks tashkil etish..."² bo'yicha muhim vazifalar belgilab berilgan. Mazkur vazifalarni amalga oshirishda issiqxonalarining quyosh va issiqlik nasosli qurilmalar asosidagi energiya tejamkor avtonom energiya ta'minoti tizimini ishlab chiqish va joriy etish dolzarb ilmiy-texnik masalalardan hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 2 noyabrdagi PQ-413-son "Issiqxona xo'jaliklari faoliyati samaradorligini oshirish yuzasidan qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida"gi, 2019 yil 22 avgustdagi PQ-4422-son "Iqtisodiyot tarmoqlari va ijtimoiy sohaning energiya samaradorligini oshirish, energiya tejavchi texnologiyalarni joriy etish va qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirishning tezkor chora-tadbirlari to'g'risida"gi, 2019 yil 4 oktabrdagi PQ-4477-son "2019-2030-yillar davrida O'zbekiston Respublikasining "yashil" iqtisodiyotga o'tish strategiyasini tasdiqlash to'g'risida"gi, 2022 yil 2 dekabrda PQ-436-son "2030-yilgacha O'zbekiston Respublikasining yashil iqtisodiyotga o'tishiga qaratilgan islohotlar samaradorligini oshirish bo'yicha chora-tadbirlar to'g'risida"gi qarorlarida hamda shu soha doirasida qabul qilingan boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda nazarda tutilgan vazifalarni bajarishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot ishi respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining IV. "Qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish usullarini rivojlantirish, ilg'or texnologiyalar, fotonika va nanotexnologiyalar asosida texnologiyalar va qurilmalar yaratish" ustuvor yo'nalishiga mos keladi.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Issiqxonalarining tashqi omillarga bog'liq issiqlik balans tenglamalarini ishlab chiqish va qayta tiklanadigan energiya manbalari qurilmalari asosida energiya samaradorligini oshirish bo'yicha ilmiy tadqiqotlarni rivojlantirishga xorijlik yetakchi olimlar, jumladan, V.P. Sethi (Hindiston), U. Çakir (Turkiya), J. Chen (Xitoy), A. Mellalou (Marokash), B.M.Karambasti (Eron), B. Paris (Gretsiya), S.M. Dragichevich (Serbiya), S. Agrebi (Tunis), K. Wang (Xitoy), A. Nems (Polsha), O. Ozgenera (Turkiya), A.M. Pendjiyev (Turkmaniston), M.L. Romanovich (Rossiya) va boshqalar katta hissa qo'shishgan.

Respublikamizda quyosh issiqxonalarining o'zgaruvchan iqlim sharoitlarida maqbul konstruksiyalarini ishlab chiqish, issiqlik balansini matematik modellashtirish va isitish tizimlarining energiya samaradorligini oshirish borasida R.A. Zohidov, R. Avezov, A. Vardiyashvili, B.E. Xayriddinov, Sh.I. Klichev, B.S. Rasaxodjaye, G'.N. Uzoqov, T.Sodiqov, M.D.Kim, Yu.Yakubov, J.S. Axatov, K.A. Samiyev, I.A. Yuldashev, X.A. Davlonov, Sh.H. Ergashevlar tomonidan ilmiy izlanishlar olib borilgan, jumladan, O'zR FA "Fizika-Quyosh" IChB, Fizika-texnika instituti, Toshkent davlat texnika universiteti, Qarshi davlat texnika universiteti va Buxoro davlat universiteti olimlari tomonidan salmoqli ilmiy ishlar

² O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023 yil 16 fevraldagi PQ-57-son "2023 yilda qayta tiklanuvchi energiya manbalarini va energiya tejavchi texnologiyalarni joriy etishni jadallashtirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi Qarori

amalga oshirilgan. Xususan, ular tomonidan issiqxonalarining energiya balansini, tashqi harorat, shamol tezligi, quyosh radiatsiyasiga bog'liq energiya samaradorligini tadqiq qilish, turli konstruksiyali issiqxonalarni issiqlik, sovuqlik va elektr balans tenglamalarini ishlab chiqish, issiqxonalarni maqbul o'lchamlarini aniqlash borasida ilmiy tadqiqot ishlari bajarilgan.

Erishilgan ijobiy natijalarga qaramasdan, quyoshning harakat trayektroyasi, issiqxonalarining optimal konstruktiv o'lchamlari va orientatsiyasiga bog'liq maksimal yig'indi quyosh radiatsiyasini aniqlash, keskin kontinental o'zgaruvchan iqlim sharoitlarida issiqxonalarining quyosh va issiqlik nasosli avtonom energiya ta'minoti tizimini ishlab chiqish va tadqiq qilish bo'yicha yetarlicha ilmiy tadqiqotlar o'tkazilmagan. Shu sababli, issiqxonalarining quyosh va issiqlik nasosli qurilmalar asosidagi energiya tejamkor avtonom energiya ta'minoti tizimini ishlab chiqish va energiya samaradorligini oshirish dolzarb ilmiy-yexnik vazifa hisoblanadi.

Dissertatsiya tadqiqoti bajarilgan oliy ta'lim yoki ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti "IL-4821091659-"Hudud iqlimining meteorologik xususiyatlarini hisobga olgan holda gibrid issiqlik ta'minoti tizimlarining ilmiy-texnik asoslarini ishlab chiqish" mavzusidagi fundamental loyiha (2022-20224 y.y.) doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi o'zgaruvchan iqlim sharoitlarida ikki qiya konstruksiyali issiqxonalarining quyosh va issiqlik nasosli qurilmalar asosidagi avtonom energiya ta'minoti tizimini ishlab chiqish va samaradorligini asoslashdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

issiqlonalarining quyosh va issiqlik nasosli qurilmalar asosidagi avtonom energiya ta'minoti tizimining texnologik sxemasini ishlab chiqish;

ikki qiya konstruksiyali avtonom issiqxonani fizik-matematik modellashtirish va parametrlarini asoslash;

avtonom issiqxonaga uchun issiqlik nasosini modellashtirish va energetik ko'rsatkichlarini tadqiq qilish;

ikki qiya konstruksiyali avtonom issiqxonani issiqlik balansini modellashtirish va issiqlik-texnik parametrlarini hisoblash;

avtonom issiqxonaning quyosh fotoelektr qurilmalari samaradorligini tadqiq qilish va sirtini tozalash texnologiyasini takomillashtirish;

issiqlik nasosli avtonom quyosh issiqxonalarining energiya ta'minoti tizimini texnik-iqtisodiy va energiya samaradorligini baholash.

Tadqiqotning obykti sifatida quyosh va issiqlik nasosli qurilmalar asosidagi avtonom issiqxonaga hamda uning energiya ta'minoti tizimi qabul qilingan.

Tadqiqotning predmeti quyosh va issiqlik nasosli qurilmalar asosidagi ikki qiya konstruksiyali avtonom issiqxonaning energiya balansini, harorat rejimi va energiya samaradorligini tadqiq qilish hisoblanadi.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot jarayonida matematik va imitatsion modellashtirish, issiqlik va elektr texnikasining nazariy asoslari, o'xshashlik va o'lchamliklar nazariyasi, issiqlik almashinuv jarayonlarini tajribaviy tadqiqot qilish va tajriba natijalarini umumlashtirish usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

quyosh panellari sirtini changdan tozalash qurilmasi o'rnatilgan va tarmoqqa integratsiya qilingan quyosh fotoelektr stansiyasi, quyosh vakuum suv isitish kollektorlari va havo-suv tipidagi issiqlik nasosli qurilmalar asosida takomillashgan avtonom issiqxonaning energiya tejamkor issiqlik va elektr ta'minoti tizimining texnologik sxemasi ishlab chiqilgan;

suvni ikki bosqichli tozalash filtrlari va avtomatik boshqarish tizimi o'rnatilgan quyosh fotoelektr panellari, panellar sirtini changdan tozalash qurilmalari, issiqlik nasoslari va vakuumli quyosh kollektorlaridan tarkib topgan issiqxonaning avtonom energiya ta'minoti tizimi ishlab chiqilgan (№FAP2431);

issiqxonaga tushadigan maksimal yig'indi quyosh radiatsiyasining issiqxona nishabining egilish burchagi, issiqxonaning konstruktiv koeffisienti, issiqxona joylashuv koordinatasi va orientatsiyasi, issiqxona qoplama materiali va quyoshning harakat trayektoriyasiga bog'liqligini hisoblash imkonini beradigan tenglamalar asosidagi matematik model ishlab chiqilgan;

avtonom issiqxonaning o'zgaruvchan iqlim sharoitlarida energiya yuklamasini aniqlash imkonini beradigan balans tenglamalari asosidagi matematik model quyosh radiatsiyasi, tashqi havo harorati va shamol tezligi o'zgarishiga, issiqxonada issiqlik va elektr yo'qotishlarga, issiqlik nasosi va quyosh energetik qurilmalarining parametrlariga bog'liq ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

avtonom issiqxonaning quyosh va issiqlik nasosli qurilmalar asosidagi energiya tejamkor energiya ta'minoti tizimi ishlab chiqilgan (foydali modelga patent № FAP 2431 "Avtonom issiqxona" 06.03.2024 y.);

o'zgaruvchan iqlim sharoitlarida ishlaydigan issiqxona quyosh fotoelektr qurilmalarining sirtini energiya samarador changdan tozalash texnologiyasi ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot ishlarining ishonchliligi zamonaviy o'lchash asboblari yordamida olingan va qayta ishlangan tajriba natijalardan foydalanilganligi, quyosh va issiqlik nasosli qurilmalarning energetik ko'rsatkichlarini aniqlashning zamonaviy matematik modellari va qayta ishlash uslublari, hisobiy va tajribaviy natijalarning mosligi bilan tasdiqlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati avtonom issiqxonaning energiya yuklamasi konstruktiv o'lchamlari va qoplama materiali, quyosh radiatsiyasi, tashqi harorat, shamol tezligi, issiqxonada issiqlik yoqotishlar, issiqlik nasosi va quyosh energetik qurilmalarining parametrlariga bog'liqligini hisoblash imkonini beruvchi issiqlik balansi asosidagi matematik modeli bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati o'zgaruvchan iqlim sharoitlarida quyosh va issiqlik nasosli qurilmalar asosida avtonom issiqxonalarning energiya ta'minoti tizimi hamda quyosh fotoelektr qurilmalar sirtining changdan energiya tejamkor tozalash texnologiyasi ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Issiqxonalarning quyosh va issiqlik nasosli qurilmalar asosidagi avtonom energiya ta'minoti tizimi ishlab chiqish bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

avtonom issiqxonaning energiya ta'minoti uchun O'zbekiston Respublikasi Intelektual mulk markazidan foydali modelga patent olingan (№ FAP 2431, 06.03.2024). Natijada, issiqxonani energiya tejankor isitish va elektr energiyasi bilan ta'minlash uchun quyosh va issiqlik nasosli qurilmalar asosidagi avtonom energiya ta'minoti tizimi ishlab chiqilgan.

Issiqxonani isitish va elektr energiyasi bilan ta'minlashda quyosh va issiqlik nasosli qurilmalar asosidagi energiya ta'minoti tizimi "Fayzullayev Muxiddin" MChJ fermer xo'jaligida joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Qishloq xo'jaligi vazirligining 2025 yil 26 may 05/04-04-254-sonli ma'lumotnomasi). Natijada, ishlab chiqilgan energiya ta'minoti tizimini issiqxonaga joriy qilish orqali bir mavsumda ananaviy isitish tizimlariga nisbatan 1835 m³ tabiiy gaz, 2260 tonna shartli yoqilg'i tejash hamda tabiiy gaz yonganda 3395 kg atmosferaga CO₂ ajralib chiqadigan issiqxona gazlarini kamaytirish imkoni yaratilgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Tadqiqot natijalari 4 ta xalqaro va 3 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarda muhokama qilingan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinishi. Dessirtatsiya mavzusi bo'yicha jami 19 ta ilmiy ish chop etilgan bo'lib, shulardan O'zbekiston Respublikasi oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalarining asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya qilingan 2 ta xalqaro va 4 ta respublika jo'rnallarida ilmiy maqolalar nashr qilingan. O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi "Intellektual mulk markazi"ning foydali modeliga patent hamda 3 ta EHM dasturiy mahsulot uchun mualliflik guvohnomasi olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya tarkibi kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi 120 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

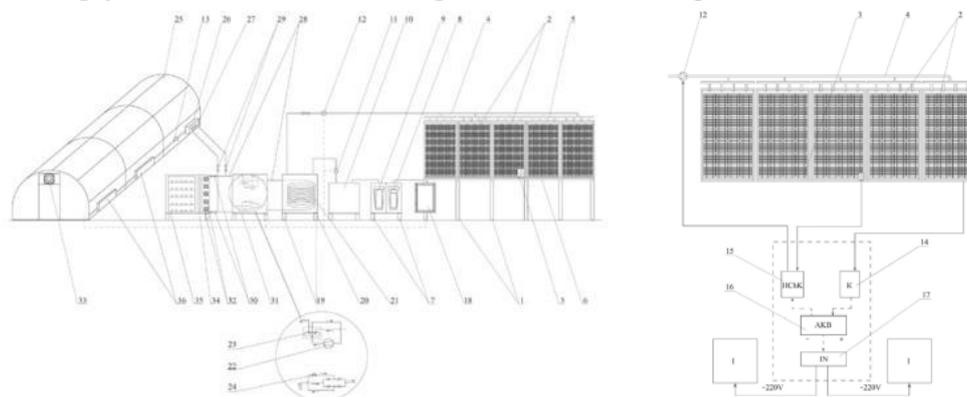
Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zaruriyati asoslangan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari shakllantirilgan, tadqiqot obyektini va predmetini tavsiflangan hamda respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi aniqlangan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarining amaliyotga joriy qilinishi, ishning aprobatsiyasi, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **"Issiqxonalarning yashil texnologiyalar asosidagi avtonom energiya ta'minoti tizimining zamonaviy holati tahlili"** deb nomlangan birinchi bobida jahon amaliyotida issiqxonalarni energiya ta'minotida yashil texnologiyalardan foydalanishning zamonaviy holati, turli konstruksiyali issiqxonalarning energiya samaradorligini oshirish usullari, avtonom issiqxonalarda tabiiy yoqilg'i resurslarini tejash texnologiyalari, issiqxonalarning kombinatsiyalashgan energetik qurilmalar asosidagi energiya ta'minoti tizimini ishlab chiqish bo'yicha ilmiy tadqiqotlar tahlillari keltirilgan. Bajarilgan ilmiy tadqiqotlarning tahlili shuni ko'rsatadiki, issiqxona o'rnatiladigan hudud koordinatasi, quyosh harakat trayektoriyasi va tashqi omillarga (quyosh radiatsiyasi, shamol tezligi, harorat) bo'g'liq maqbul o'lchamlari va orientatsiyasini aniqlash

modeli, o'zgaruvchan iqlim sharoitlarida issiqxonalarining quyosh va issiqlik nasosli qurilmalar asosidagi energiya tejamkor avtonom energiya ta'minoti tizimini ishlab chiqish, ularni issiqlik-texnik parametrlarini asoslash, iqtisodiy va ekologik samradorligini baholash masalalari yetarlicha tadqiq qilinmagan. Mavjud issiqxonalarining avtonom energiya ta'minoti tizimini ishlab chiqish bo'yicha olib borilgan ilmiy tadqiqot va tahlillar asosida tadqiqotning maqsadi va vazifalari shakllantirildi.

Dissertatsiyaning “**Avtonom issiqxonalarini quyosh va issiqlik nasosli energiya ta'minoti tizimini modellashtirish**” deb nomlangan ikkinchi bobida issiqxonalarining quyosh va issiqlik nasosli qurilmalar asosidagi avtonom energiya ta'minoti tizimining sxemasi, ikki qiya konstruksiyali issiqxonaning maqbul o'lachamlari va orientatsiyasini aniqlash matematik modeli, bug'-kompresorli issiqlik nasosini Matlab/Simulink tizimida modellashtirish va avtonom issiqxonaning issiqlik balansini matematik modellashtirish natijalari keltirilgan.

Olib borilgan tadqiqotlar natijasida ilk marotaba chiqindi suvlarni qayta ishlash filtrlari bilan jihozlangan quyosh fotoelektr panellari sirtini tozalash texnologiyasi va elektr tarmoq bilan integratsiya qilingan quyosh fotoelektr stansiyasi, kombinatsiyalashgan quyosh issiqlik kollektori va issiqlik nasosli qurilmalar asosidagi issiqxonaning avtonom energiya ta'minoti tizimi ishlab chiqildi (FAP №2431). 1-rasmda issiqxonaning quyosh va issiqlik nasosli qurilmalar asosidagi avtonom energiya ta'minoti tizimining sxemasi keltirilgan.



1-metal rama; 2-quyosh fotoelektr qurilmalari; 3-o'lchovchi datchiklar; 4,5-suv quvurlari; 6-lotok; 7-metal tayanch; 8,9-ikki bosqichli tozalash filtrlari; 10-suvni yig'ish baki; 11,12,13-sirkulyatsion suv nasoslari; 14-kontroller, 15-boshqaruvchi kontroller; 16-akkumulyator batareyalar; 17-invertor; 18-shit; 19-metal tayanch; 20-suv baki; 21-bug'latgich; 22-kompressor; 23-to'rt quvurli klapan; 24-drossel ventil; 25-avtonom issiqxona; 26-issiqlik akkumulyatorli suv baki; 27-kondensator; 28-freon harakatlanuvchi quvurlar; 29,30-ventillar; 31-issiqlik nasosi; 32,33-ventilyatorlar; 34-bug'latgich; 35-quritish apparati.

1-rasm. Issiqxonaning quyosh va issiqlik nasosli qurilmalar asosidagi avtonom energiya ta'minoti tizimining sxemasi

Qashqadaryo viloyati Qarshi shahrida tadqiqot obyekti sifatida foydali maydoni 50 m², hajmi 172,5 m³ oyna bilan qoplangan ikki qiya konstruksiyali quyosh issiqxona tanlandi. Quyosh issiqxonasini 2023 yil 15 noyabrdan 2024 yil 15 martigacha bo'lgan davrda, kenglik 38,86 va orientatsiya 0° dan 90° gacha 5° interval bilan hisoblashlar amalga oshirildi. Matematik modellashtirish uchun asosiy tenglamalar quyida keltirildi.

$$k_i = \frac{L_i}{W_i}, \quad (1 \leq k_i \leq 12.5) \quad (1)$$

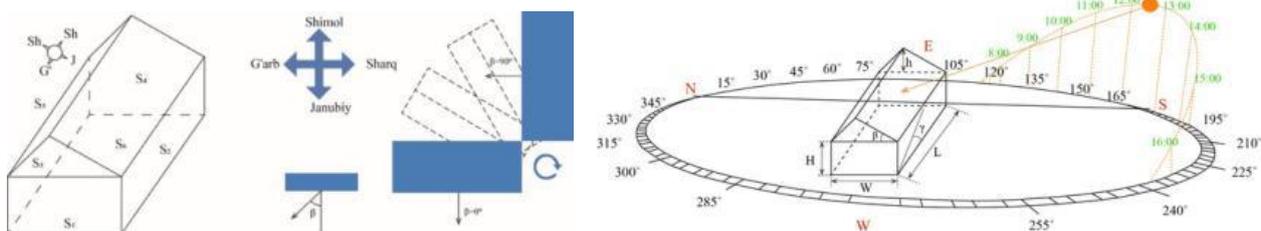
$$\beta_i = tg^{-1} \left(\frac{1.5 \cdot 2}{W_i} \right), \quad (23^\circ \leq \beta_i \leq 56^\circ) \quad (2)$$

$$I_{YQR} = \sum I_{hi}(\beta_i, k_i, \gamma_i) \cdot S_i \quad (3)$$

$$\sum I_{YQR} = [(1 - F_t) + \rho \cdot F_t] \cdot [I_b \cdot R_b \cdot \tau_b + I_d \cdot R_d \cdot \tau_d + \rho_g \cdot I_H \cdot R_g \cdot \tau_g] \cdot S_i \quad (4)$$

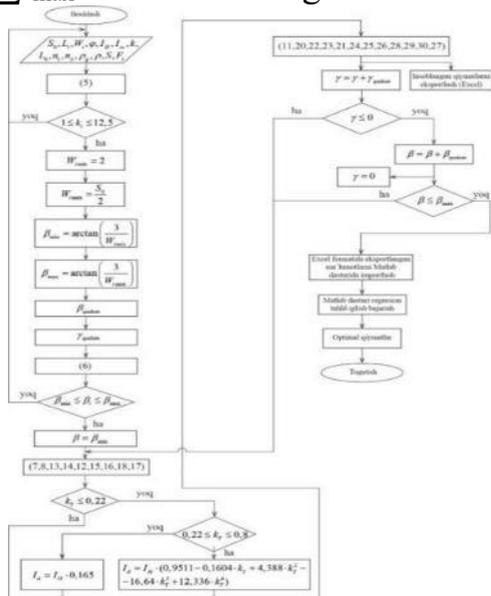
bunda: k_i – issiqxona asosi uzunligining eniga nisbat koeffitsienti; β_i – issiqxona nishabining egilish burchagi; γ_i – issiqxona joylashuvining orientatsiyasi; F_t – quyosh radiatsiyasining umumiy ulushi (0,35); ρ – nur qaytish koeffitsienti (0,1); $\sum I_{YQR}$ – issiqxonaga tushadigan yig’indi quyosh radiatsiyasi.

Avtonom issiqxonaning maqbul orientatsiyasi va konstruktiv o’lchamlarini hisoblash modeli va algoritmi ishlab chiqildi. 2-rasmda ikki qiya konstruksiyali issiqxonaning joylashuv modeli keltirilgan.

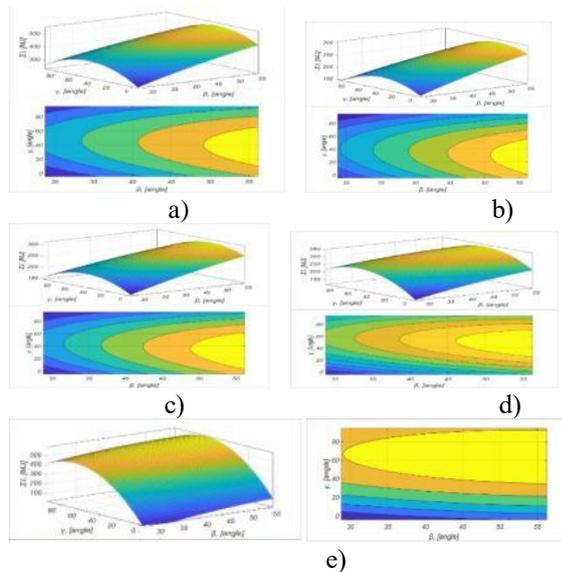


2-rasm. Issiqxonaning geometrik modeli

3-rasmda ikki qiya konstruksiyali issiqxonada yig’indi quyosh radiatsiyasi maksimal tushishda modellashtirish blok-sxemasi va 4-rasmda issiqxonaga tushadigan yig’indi quyosh radiatsiyasining ko’rsatgichlari keltirilgan. Bunda noyabr (a), dekabr (b), yanvar (c), fevral (d), mart (e) oylari uchun mos ravishda issiqxonaning maqbul parametrlari $\gamma_1=40^\circ$, $\beta_1=52^\circ$; $\gamma_2=30^\circ$, $\beta_2=53^\circ$; $\gamma_3=38^\circ$, $\beta_3=52^\circ$; $\gamma_4=52^\circ$, $\beta_4=52^\circ$; $\gamma_5=65^\circ$, $\beta_5=41^\circ$ bo’lganda o’rtacha yig’indi quyosh radiatsiyasi $\sum I_{YQR1}=4617$ MJ, $\sum I_{YQR2}=9502$ MJ, $\sum I_{YQR3}=8641$ MJ, $\sum I_{YQR4}=8343$ MJ, $\sum I_{YQR5}=4559$ MJ teng bo’lishi aniqlandi. Ushbu keltirilgan oylar uchun o’rtacha optimal issiqxona parametrlari $\gamma_{opt}=45^\circ$, $\beta_{opt}=50^\circ$ va maksimal yig’indi quyosh radiatsiyasi $\sum I_{max}=35660$ MJ teng bo’ladi.



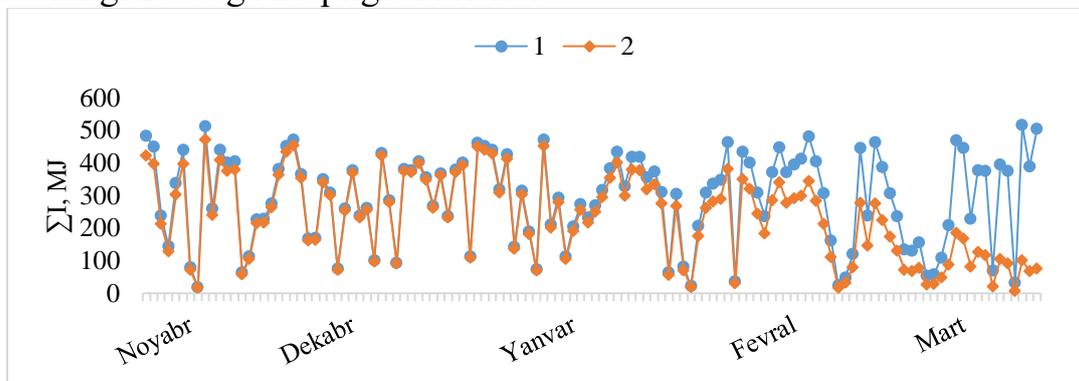
3-rasm. Modellashtirish blok-sxemasi



a – noyabr; b – dekabr; c – yanvar; d – fevral; e – mart.

4-rasm. Yig’indi quyosh radiatsiyasining ko’rsatgichlari

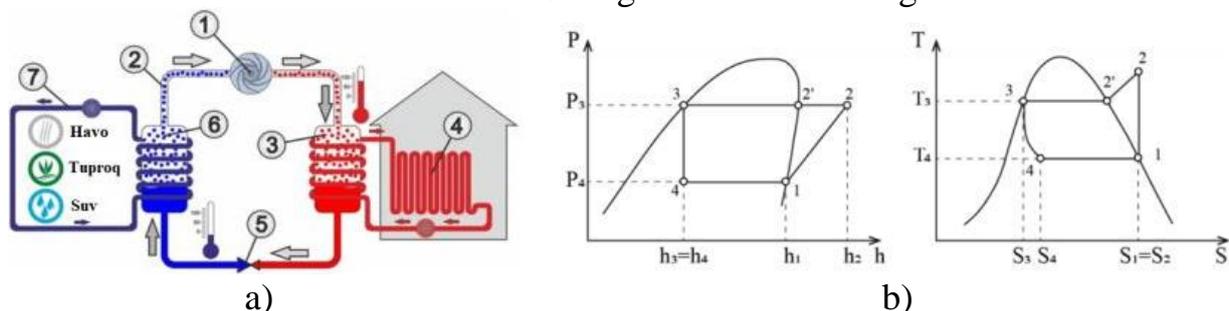
Bajarilgan tadqiqotlar natijasida 5-rasmda konstruktiv o'lchamlari bir xil bo'lgan standart ($\beta=60^\circ$; $\gamma=0^\circ$) va taklif etilayotgan ($\beta=50^\circ$ va $\gamma=45^\circ$) issiqxonaga tushadigan yig'indi quyosh radiatsiyasining solishtirish natijalari keltirilgan. Qarshi shahri iqlim sharoitida 15 noyabrdan 15 martga qadar taklif etilayotgan issiqxonaga (1) jami 35660 MJ va standart issiqxonaga (2) jami 28600 MJ yig'indi quyosh radiatsiyasi tushishi aniqlandi. Ushbu mavsumda quyosh energiyasidan foydalanish samaradorligi 25 % ga ko'pligi asoslandi.



1-optimallashtirish orqali olingan natijalar; 2-standart holatdagi olingan natijalar

5-rasm. Solishtirish natijalari

Issiqxonani issiqlik nasosli isitish tizimini samaradorligini baholash maqsadida bug'-kompressorli issiqlik nasosining termodinamik hisobi bajarildi. 6-rasmda issiqxonaga o'rnatiladigan bug'-kompressorli issiqlik nasosini parametrlarini hisoblashda P-h va T-S diagrammalari keltirilgan.



1-kompressor, 2-ishchi suyuqlik (xladagent), 3-kondensator, 4-issiqlik yuklamasi (radiator), 5-drossel ventil, 6-bug'latgich, 7-past potentsiilli manba.

6-rasm. Bug'-kompressorli issiqlik nasosi (a) va siklining P-h va T-S diagrammalari

Bug'-kompressorli issiqlik nasosidagi umumiy massa va energiya balansining tenglamalari quyidagicha ifodalanadi:

$$\sum m_k = \sum m_{ch} \quad (5)$$

$$Q_k = Q_b + W_{kom} \quad (6)$$

bunda: Q_k – kondensatordan olinadigan issiqlik quvvati, kW; Q_b – bug'latgichdagi issiqlik quvvati, kW; W_{kom} – kompressorning umumiy quvvati, kW.

Kompressorning quvvati quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:

$$W_{kom} = m_r \cdot (h_2 - h_1) \quad (7)$$

bunda: m_r – ishchi suyuqlik (xladagent) massasi, kg; h_1 – 1-nuqtadagi entalpiya, kJ/kg; h_2 – 2-nuqtadagi entalpiya, kJ/kg.

Ishchi suyuqlik (xladagent) massa sarfi quyidagi formula orqali aniqlandi:

$$m_r = \rho_s \cdot V_k \cdot \eta_v \cdot n \quad (8)$$

bunda: V_k – kompressorning ishchi hajmi, m^3 ; η_v – hajmiy samaradorlik; n – kompressorning aylanma tezligi; ρ_s – ishchi suyuqlik (xladagent) zichligi.

Issiqlik nasosining P-h va T-s diagrammalari parametrlari asosida bug'latgichdagi issiqlik miqdori quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$Q_b = m_r \cdot (h_1 - h_4) \quad (9)$$

2-nuqtadagi entalpiya:

$$h_2 = h_2' + C_p \cdot (T_1 - T_2) \quad (10)$$

2-nuqtadagi entropiya:

$$S_2 = S_2' + C_p \cdot \ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right) \quad (11)$$

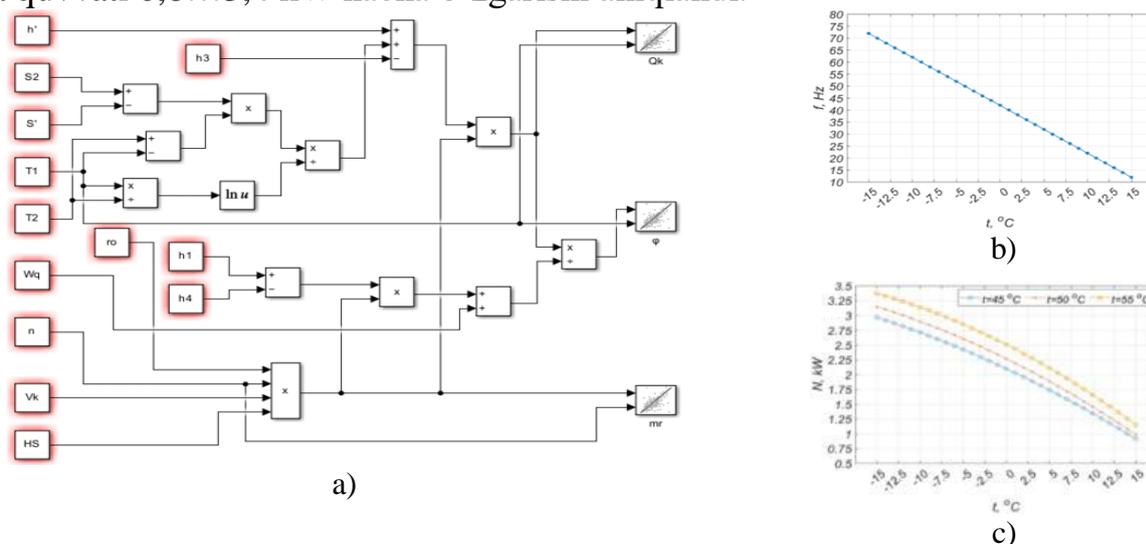
bunda: T_1 – kondensatorning o'ta qizish harorati, °C; T_2 – kondensatorning harorati, °C; h' – bug'lanish entalpiyasi, kJ/kg; S' – bug'lanish entropiyasi, kJ/°C; C_p – o'ta qizib ketgan bug'ning issiqlik sig'imi, kJ/°C.

Isitish koeffisienti son jihatdan issiqlik nasosining issiqlik ishlab chiqarish unumdorligini (issiqlik quvvati) sarflangan elektr energiyasi miqdoriga (elektr quvvat) nisbatiga teng:

$$\varphi = \frac{Q_k}{W_{kom} + W_q} = \frac{m_r \cdot (h_2 - h_3)}{m_r \cdot (h_2 - h_1) + W_q} \quad (12)$$

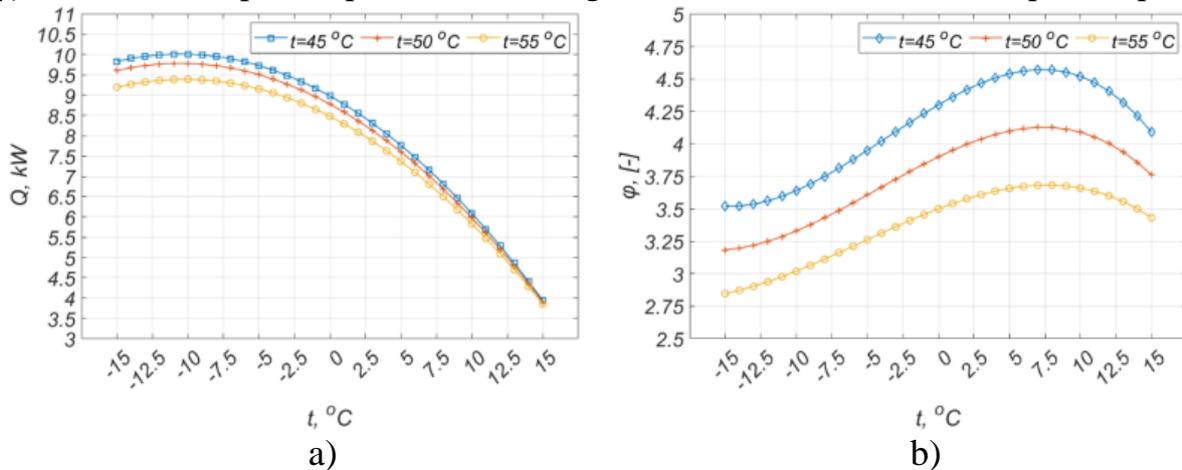
bunda: α – issiqlik nasosining yig'indi isroflar koeffisienti (0,3-0,4); T_k – ishchi suyuqlikning (xladagent) kondensatsiyalanish harorati, °C; T_b – ishchi suyuqlikning (xladagent) bug'lanish harorati, °C; h_4 – 4-nuqtadagi entalpiya, kJ/kg; W_q – qo'shimcha sarflangan elektr energiyasi (ventilyator va boshqarish tizimi), kWh.

Bug'-kompressorli issiqlik nasosini hisobi asosida 7-rasm (a) TMN1-F90BER "havo-suv" bug'-kompressorli issiqlik nasosini Matlab/Simulink tizimidagi modellashtirish blok-sxemasi, motor chastotasi (b) va quvvatini (v) o'zgarish dinamikasi keltirilgan. Bunda motor chastotasi tashqi haroratga bog'liq 15...75 Hz va quvvati 0,8...3,4 kW hacha o'zgarishi aniqlandi.



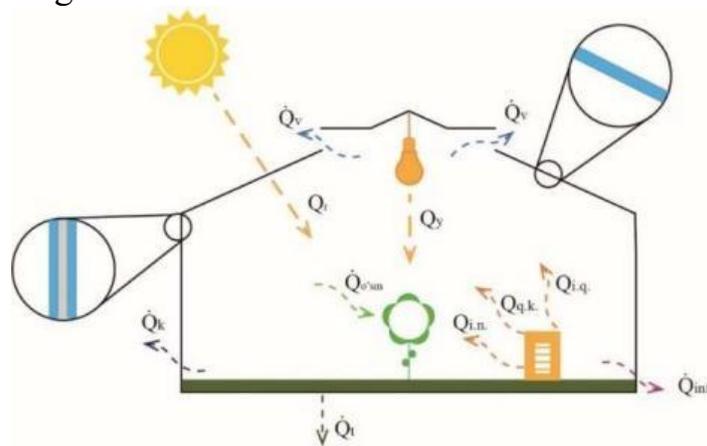
7-rasm. Bug'-kompressorli issiqlik nasosining Matlab/Simulink tizimidagi modellashtirish blok-sxemasi (a), motor chastotasi (b) va quvvat (c) o'zgarish garfiklari

8-rasmda kondensatoridagi issiqlik miqdorining (a) va isitish koeffitsientining (b) atrof-muhit haroratiga bog'liqlik natijalari keltirilgan. Tashqi muhit harorati -15...+15 °C, kondensatoridagi harorat 45, 50 va 55 °C bo'lganda isitish koeffitsienti (φ) 2,25...5,5 issiqlik miqdori 5,5...12 kJ ga bo'lishi modellashtirish orqali aniqlandi.



8-rasm. Issiqlik nasosi kondensatorning issiqlik quvvaining atrof-muhit harorati o'zgarishiga (a) va isitish koeffitsientiga (b) bog'liqlik grafiklari

Issiqlik balansini modellashtirish uchun 9-rasmda avtonom issiqxonaning issiqlik balansi hisobiy sxemasi keltirilgan. Avtonom issiqxonona devorlari qalinligi 4 mm shisha qoplamalardan yasalgan bo'lib, ular bir-biridan 1 sm qalinligidagi havo qatlami bilan ajratilgan, tom qismi qalinligi 1 sm bo'lgan shisha qoplamalardan va asos fundament qalinligi 30 sm beton qorishmalardan tashkil topgan. Issiqxonani shift qismlarida tabiiy shamollatish uchun o'lchami 0,8x10 m ochib yopish imkoniga ega derazalar o'rnatilgan.



9-rasm. Avtonom issiqxonaning issiqlik balansi hisobiy sxemasi

Tadqiqot qilinayotgan avtonom issiqxonani issiqlik balansining matematik modeli quyidagi tenglama orqali ifodalanadi:

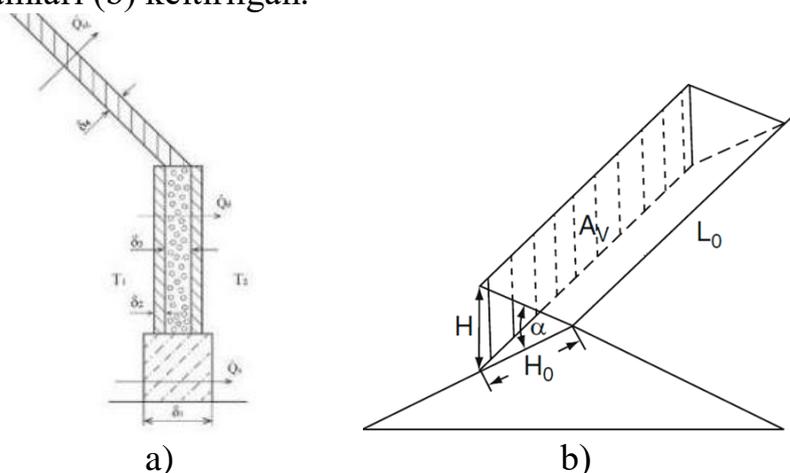
$$Q_r + Q_{i.n} + Q_{q.k} + Q_{i.q} = \dot{Q}_v + \dot{Q}_{inf} + \dot{Q}_k + \dot{Q}_t + \dot{Q}_{o'sm} \quad (13)$$

Vakuimli quyosh suv isitgich kollektori orqali olinadigan issiqlik miqdori quyidagi formula orqali aniqlaymiz:

$$Q_{q.k} = \sum I \cdot \alpha_{yut} \cdot S \cdot N \cdot \tau \quad (14)$$

bunda: $\sum I$ – yig'indi quyosh nurlanishi; α_{yut} – shishaning nur yutish koeffitsienti; S – bitta vakuum trubkaning nur yutish yuzasi; N – bitta quyosh suv isitish kollektordagi vakuum trubkalar soni; τ – isitish vaqti.

10-rasmda ikki qiya konstruksiyali issiqxonalarining devor, shift va asos orqali issiqlik yo'qotilish sxemasi (a) shift qismidagi ventilyatsiya derazalarining geometrik o'lchamlari (b) keltirilgan.



10-rasm. Devor, shift va asos orqali issiqlik yo'qotilish sxemasi (a), ventilyatsiya derazalarining geometrik o'lchamlari (b)

Issiqxonaning devorlari, shifti va asosilari orqali yoqotiladigan issiqlik miqdori quyidagicha aniqlanadi:

$$\dot{Q}_k = \dot{Q}_d + \dot{Q}_{sh} + \dot{Q}_a \quad (15)$$

Issiqxonaga yon devorlari orqali yoqotiladigan issiqlik miqdori issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsienti, yon devorlarning yuzasi, ichki va tashqi haroratlar farqiga bog'liq bo'lib, quyida matematik ifoda orqali aniqlanadi:

$$\dot{Q}_d = k_d \cdot \sum F_d \cdot (t_1 - t_2) \quad (16)$$

$$k_d = \left(\frac{1}{\alpha_1} + 2 \cdot \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1} \quad (17)$$

$$\sum F_d = 2 \cdot h_2 \cdot L + 2 \cdot h_4 \cdot W + h_3 \cdot W \quad (18)$$

bunda: k_d – devorning issiqlik uzatish koeffitsienti, $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$; $\sum F_d$ – issiqxonaga devorlarining umumiy yuzasi, $[m^2]$; t_1 – issiqxonaning ichki harorati, $[^\circ C]$; t_2 – atrof-muhit harorati, $[^\circ C]$; α_1 va α_2 issiqlik berish koeffitsientlari, $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$.

Issiqxonaga asosi orqali yoqotiladigan issiqlik miqdori quyidagi matematik ifoda orqali aniqlanadi:

$$\dot{Q}_a = k_a \cdot \sum F_a \cdot (t_1 - t_2) \quad (19)$$

$$k_a = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1} \quad (20)$$

$$\sum F_a = 2 \cdot h_1 \cdot (L + W) \quad (21)$$

bunda: k_a – issiqxonaga asosining issiqlik uzatish koeffitsienti, $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$; $\sum F_a$ – issiqxonaga asosining umumiy yuzasi, $[m^2]$.

Issiqxonaga shifti orqali yo'qotiladigan issiqlik miqdori quyidagi matematik ifoda orqali aniqlanadi:

$$\dot{Q}_{sh} = k_{sh} \cdot \sum F_{sh} \cdot (t_1 - t_2) \quad (22)$$

$$k_{sh} = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1} \quad (23)$$

$$\sum F_{sh} = 2 \cdot M \cdot L \quad (24)$$

bunda: k_{sh} – issiqxona shiftining issiqlik uzatish koefitsienti, $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$; ΣF_d – issiqxona shiftining umumiy yuzasi, $[m^2]$.

Issiqxonaning ichki yuzalardan konvektiv issiqlik berish koefitsientini aniqlash ifodasi quyidagicha (turbulent oqimlar uchun):

$$\alpha_1 = 0,1 \cdot \frac{\lambda_h}{L_p} \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,33} \quad 10^9 \leq Gr \cdot Pr \leq 10^{13} \quad (25)$$

bunda: L_p – tanlangan tomonning perimetr uzunligi, $[m]$; λ_h – havoning issiqlik o'tkazuvchanlik koefitsienti, $[W/m \cdot ^\circ C]$.

Grasgorf kriteriyasi:

$$Gr = \frac{g \cdot \beta_h \cdot (T_1 - T_c) \cdot L_p^3}{(\frac{\mu_h}{\rho_h})^2} \quad (26)$$

Prandtl kriteriyasi:

$$Pr = \frac{\mu_h \cdot C_h}{\lambda_h} \quad (27)$$

bunda: C_h – havoning solishtirma issiqlik sig'imi, $1005 J/kg \cdot ^\circ C$; g – erkin tushish tezlanishi, $9,81 m^2/s$.

Kinematik yopishqoqlik (v_{in}) dinamik yopishqoqlikning (μ_h) havo oqimi zichligi (ρ_h) nisbatiga teng va quyida formula orqali aniqlanadi:

$$v_{in} = \frac{\mu_h}{\rho_h} \quad (28)$$

Issiqxona konstruksiyasining qoplama harorati:

$$T_c = \frac{T_1 + 2 \cdot T_2}{3} \quad (29)$$

Havo oqimining hajmli kengayish koefitsienti:

$$\beta_h = \frac{2}{T_1 + T_c} \quad (30)$$

Tashqi havo va issiqxona qoplami o'rtasidagi konvektiv issiqlik berish koefitsientini turbulent oqimlar uchun quyidagi tenglama bo'yicha hisoblash mumkin:

$$\alpha_2 = 0,037 \cdot \frac{\lambda_h}{L_p} \cdot (Re)^{0,8} \cdot Pr^{0,33} \quad Re \geq 5 \cdot 10^5 \quad (31)$$

Reynolds kriteriyasi:

$$Re = \frac{\rho_h \cdot v_{sh} \cdot L_p}{\mu_h} \quad (32)$$

bunda: v_{sh} – shamol tezligi, $[m/s]$.

Infiltratsiya orqali isrof bo'ladigan issiqlik miqdori quyidagi matematik ifoda orqali aniqlanadi:

$$\dot{Q}_{inf} = \rho_h \cdot C_h \cdot N \cdot V \cdot (T_1 - T_2) \quad (33)$$

bunda: N – infiltratsiya darajasi ikki qatlamli shisha uchun $0,00025 s^{-1}$; V – issiqxona hajmi, $[m^3]$.

Issiqxona shiftida o'rnatilgan derazalardan ventilyatsiya orqali isrof bo'ladigan issiqlik miqdori quyida bog'liqlik orqali aniqlanadi.

$$\dot{Q}_V = \rho_h \cdot C_h \cdot V_v \cdot (t_1 - t_2) \quad (34)$$

Ventilyatsiya orqali hosil bo'luvchi havo oqimi sarfi issiqxona shiftidagi derazlarning geometrik o'lchamlari va shamol tezligiga bog'liq quyidagi matematik ifoda orqali aniqlanadi:

$$V_v = \frac{A_v}{2} \cdot c_d \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(\frac{H}{4}\right) \cdot \frac{\Delta T}{T_{o'rt}} + c_w \cdot v_{sh}^2} \quad (35)$$

bunda: A_v – shamollatish derazlarning yuzasi, [m²]; ΔT – issiqxona ichidagi va tashqarisidagi haroratlar farqi, [°C]; $T_{o'rt}$ – o'rtacha tashqi harorat, [°C]; H – havo oqimi kirish va chiqish hududlari markazlari orasidagi vertikal masofa, [m]; v_{sh} – shamol tezligi, [m/s]; c_w – yig'indi shamol bosim koeffitsienti, 0,1-0,11.

Havo oqimining sarf koeffitsienti geometrik o'lchamlarga bog'liq quyida ifoda orqali aniqlandi:

$$c_d = \frac{1}{\sqrt{1,9+0,7 \cdot \exp\left(-\frac{L_0}{32,5 \cdot H_0 \cdot \sin \alpha}\right)}} \quad (36)$$

bunda: L_0 – shamollatish derazasi bo'yining uzunligi, [m]; H_0 – shamollatish derazasi bo'yining uzunligi, [m]; α – derazaning ochilish burchagi, [grad.].

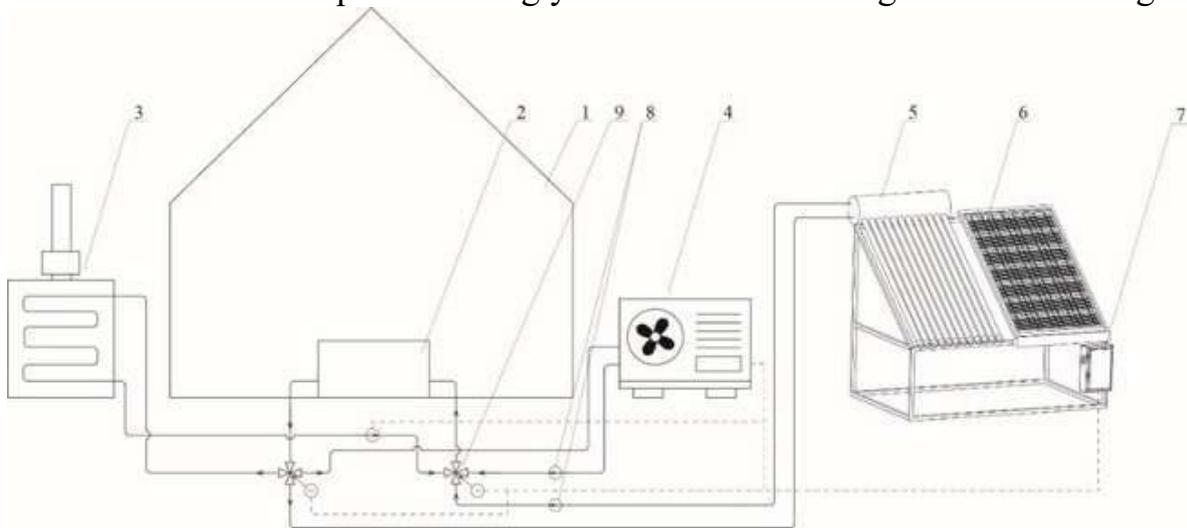
Issiqxona ekin maydonining tuprog'i va o'simliklar bilan issiqlik almashinuvi orqali isrof bo'ladigan issiqlik miqdorlari quyida matematik ifoda orqali aniqlanadi:

$$\dot{Q}_{tup} = \frac{\lambda_{tup}}{H_t} \cdot A_t \cdot (T_1 - T_t) \quad (37)$$

$$\dot{Q}_{o'sm} = k_{o'sm} \cdot F_{o'sm} \cdot (T_{o'sm} - T_1) \quad (38)$$

bunda: H_t – harorat o'zgarmas bo'lgan tuproq chuqurligi, [m]; A_t – tuproq maydoni, [m²]; $k_{o'sm}$ – o'simliklarning issiqlik yutish koeffitsienti, W/m²·°C; $F_{o'sm}$ – o'simliklar ekilgan maydon yuzasi, [m²].

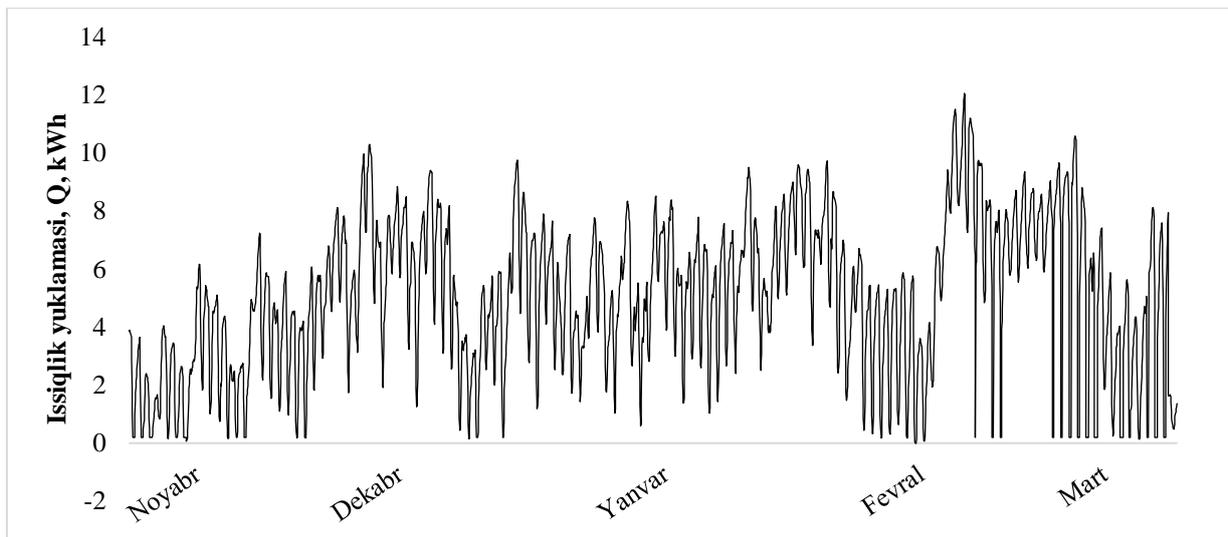
Tadqiq qilingan avtonom issiqxonani issiqlik yuklamalarini aniqlash uchun 11-rasmda avtonom issiqxonani energiya ta'minoti tizimining sxemasi keltirilgan.



1-issiqxona; 2-issiqlik almashtirgich; 3-issiqlik qozoni; 4-issiqlik nasosi; 5-quyosh issiqlik kollektori; 6-quyosh fotoelektr panellari; 7-elektr uskunalar shiti; 8-sirkulyatsion suv nasoslari; 9-boshqariluvchi suv klapanlari.

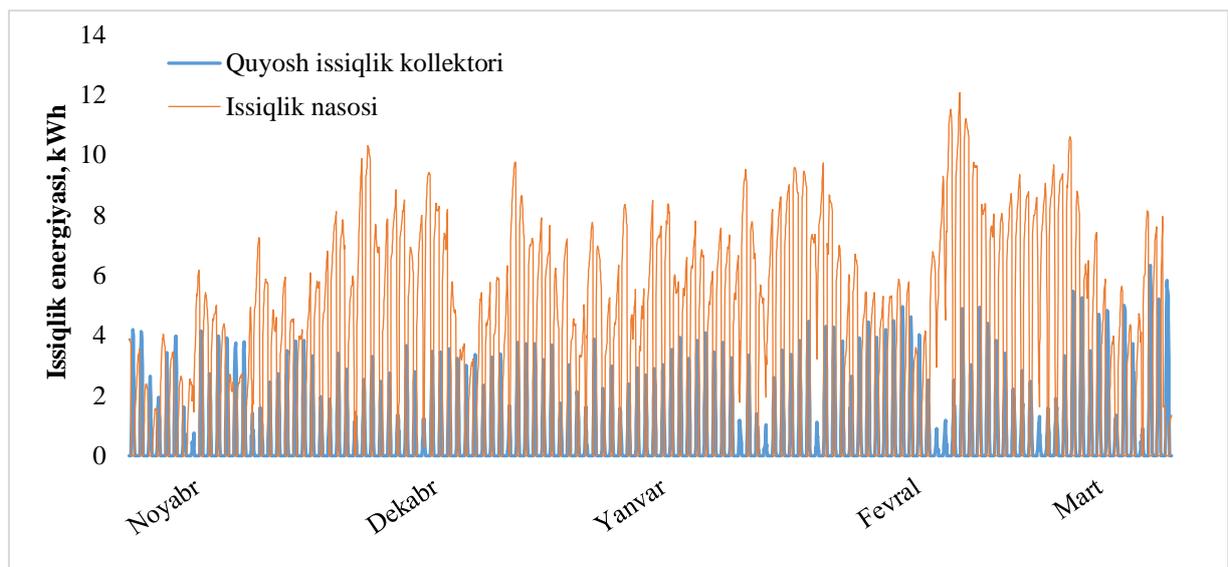
11-rasm. Avtonom issiqxonani energiya ta'minoti tizimining sxemasi

Bajarilgan hisoblar va tajribalar asosida 12-rasmda atrof-muhit harorati va quyosh radiatsiyasi o'zgarishiga bo'qlik issiqxonaning issiqlik yuklamasi o'zgarish dinamikasi keltirilgan. Atrof-muhit harorati o'zgarishi va issiqxonada issiqlik yo'qotishlarni inobatga olib issiqxona bir mavsumda 14720 kWh issiqlik energiyasi iste'mol qilishi hisoblandi.



12-rasm. Issiqxonaning issiqlik yuklamasi o'zgarish dinamikasi

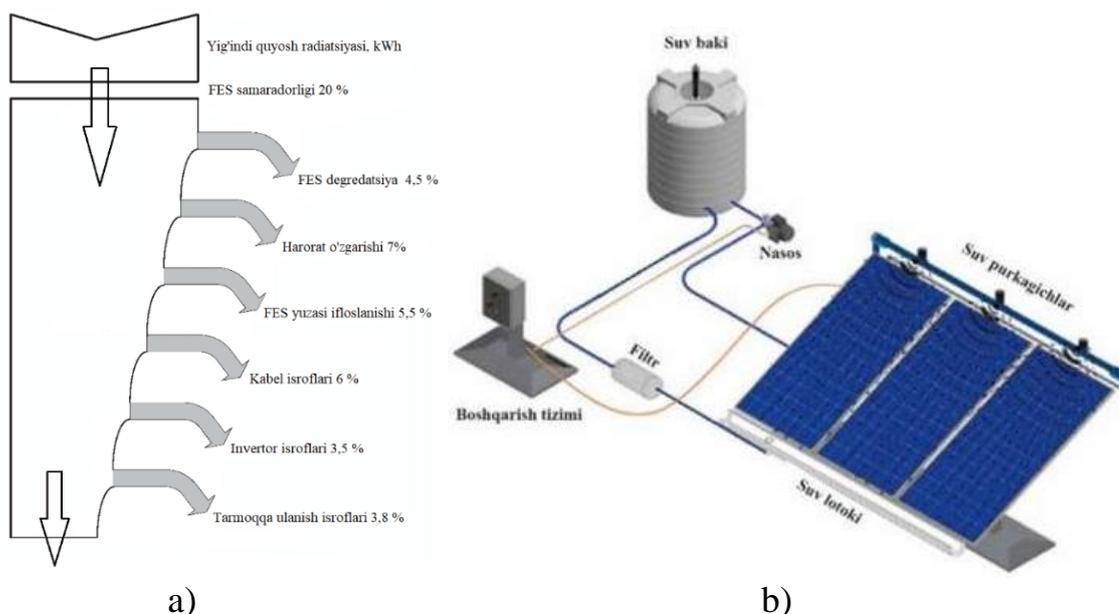
13-rasmda issiqxonani issiqlik energiya bilan ta'minlash grafigi keltirilgan. Tadqiqotlar natijasi shuni ko'rsatadiki, Issiqxonani quyosh bo'lmagan vaqtlarda isitishda issiqlik nasosi 11135 kWh va quyoshli vaqtlarda quyosh suv isitish kollektorlari (5x200 L) 2225 kWh issiqlik energiyasi ishlab chiqargani aniqlandi.



13-rasm. Issiqxonani issiqlik energiyasi bilan ta'minlash grafigi

Dissertatsiyaning “**Avtonom issiqxonani quyosh va issiqlik nasosli energiya ta'minoti tizimini tajriba tadqiqotlari**” deb nomlangan uchinchi bobida tajriba qurilmalarining tavsifi, tajribani o'tkazish metodikasi, quyosh fotoelektr panellar samaradorligiga ta'sir etuvchi omillar va sirtini changdan tozlash texnologiyasi tadqiqoti, issiqxonaning quyosh va issiqlik nasosli qurilmalar orqali isitish jarayoning tajribaviy tadqiqoti natijalari keltirilgan. Foydali maydoni 50 m² bo'lgan ikki qiya konstruksiyali issiqxonada energiya resurslarini tejash va quyosh va issiqlik nasosli qurilmalar asosidagi avtonom energiya ta'minoti Qarshi davlat texnika universitetidagi “Muqobil energiya manbalari” poligonida ishlab chiqildi va sinovdan o'tkazildi.

Dissertatsiya ishida avtonom issiqxonalariga o'rnatiladigan quyosh fotoelektr panellari sirtini changdan tozalash qurilmasi ishlab chiqildi. 14-rasmda (a) 5 kW quvvatli quyosh fotoelektr stansiyasining energiya isroflari Sankey diagrammasida keltirildi. Ushbu diagramma orqali quyosh fotoelektr qurilmalari ishlab chiqargan elektr energiyasini hisoblandi. 14-rasmda (b) 5 kW quvvatli quyosh panellarining sirtini turli xil ifloslanishlardan tozalash bo'yicha innovatsion usul taklif etildi. Bunda, quyosh panellari sirtini har 10-15 kunda suv bilan tozalash va ishlatilgan yoki yomg'ir suvlarini qayta ishlash qurilmasi takomillashtirildi.



14-rasm. Quyosh fotoelektr stansiyasi energiya isroflari keltirilgan Sankey diagrammasi (a), quyosh panellari sirtini tozalash qurilmasi (b)

Quyosh fotoelektr qurilmalari yordamida ishlab chiqariladigan elektr energiyasi Sankey diagrammasi orqali quyidagi formulada hisoblandi:

$$E = I_y \cdot S_{pv} \cdot \eta_{is} \cdot \eta_{if} \cdot \eta_{sif} \cdot \eta_{in} \cdot \eta_k \cdot \eta_t \cdot \eta_{feq} \quad (39)$$

bunda: I_y – yig'indi quyosh radiatsiyasi, W/m^2 ; S_{pv} – quyosh fotoelektr panellari yuzasi, ($26 m^2$); η_{is} – issiqlik yo'qotishlar (0.93); η_{ch} – FES yuzasi ifloslanishi (0.945); η_{sif} – FES degradedatsiya (0.955); η_{in} – invertor foydali ish koeffisienti (0.965); η_k – kabel isroflari (0.94); η_t – tarmoqqa ulanish isroflari (0.962); η_{feq} – quyosh fotoelektr qurilmasi foydali ish koeffisienti (0.2).

15-rasmda quyosh fotoelektr panellari sirtining changlanishi (a) va tozalash qurilmasi (b) keltirilgan. Qarshi shahri sharoitida 2023 yil 15 noyabrdan 15 martgacha bo'lgan davrda o'lchash tajribalari olib borildi. Tadqiqotlar 5 kW dan ikkita quyosh elektr stansiyasi uchun sirti tozalangan va tozalanmagan holatlarda tadqiq qilindi. Ushbu mavsumda quyosh fotoelektr panellari sirti tozalangan holatda 1160 kWh elektr energiyasi ishlab chiqarishi, bu esa quyosh panellari sirti tozalanmagan holatga nisbatan 10 % ko'p ekanligi aniqlandi.



a)



b)

15-rasm. Quyosh fotoelektr panellari sirtining changlanishi (a) va tozalash tizimi (b)

Tajriba obyektida tadqiqotlarni tabiiy sharoitda o'tkazish uchun Qarshi shahrining o'zgaruvchan iqlim xususiyatidan kelib chiqib, shisha qoplamali foydali yuzasi 50 m² bo'lgan ikki qiya konstruksiyali issiqxona "Muqobil energiya manbalari" poligonida qurildi (16-rasm).



a)



b)



c)



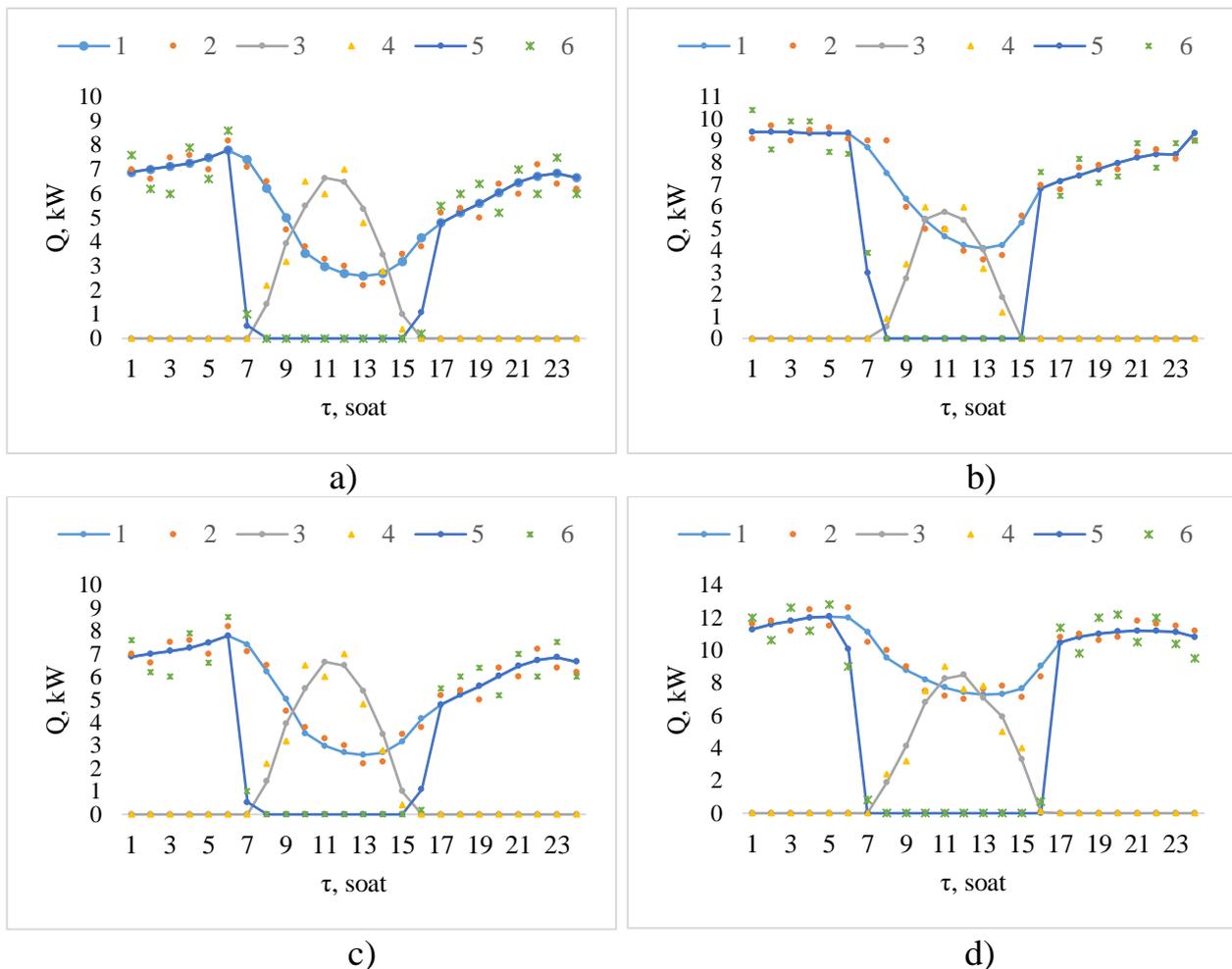
d)

a- avtonom issiqxona; b- quyosh suv isitish kollektorlari; c- bug'-kompressorli issiqlik nasosi; d- isitish qozoni

16-rasm. Quyosh suv isitish kollektori va issiqlik nasosli avtonom issiqxona

Quyosh suv isitish kollektori va bug'-kompressorli issiqlik nasosli avtonom issiqxonani issiqlik yuklamasi bo'yicha Qarshi shahri sharoitida tajribaviy tadqiqotlar o'tkazildi. 17-rasmda 2023 yil 20 noyabr (a) va 20 dekabr (b), 2024 yil 20 yanvar va 20 fevral kunlari issiqxonada o'tkazilgan tajriba natijalari keltirilgan. Tajriba tadqiqotlari keltirilgan sanalarda 1 soat vaqt intervali bilan sutka davomida

amalga oshirildi. 17-rasm (a) issiqxonaga o'rnatilgan hududda soat 9⁰⁰ dan 17⁰⁰ gacha atrof-muhit harorati 18...22 °C bo'lishi aniqlandi va ushbu davrda issiqxonani isitishda to'liq quyosh radiatsiyasi orqali amalga oshirildi. Qolgan vaqtlarda harorat 10 °C pasayganda issiqxonani isitishda quyosh issiqlik kollektori va issiqlik nasoslaridan foydalanildi. 17-rasm (b) sutka davomida tashqi harorat -4...+8,5 °C gacha va issiqxonaga yuklamasi 4,10...9,4 kWh gacha o'zgarishi aniqlandi. Ushbu davrda issiqxonani isitishda 178,5 kWh issiqlik energiyasi jumladan, quyosh bo'lmagan vaqtlarda issiqlik nasosidan 130,5 kWh va qolgan vaqtlarda quyosh issiqlik kollektorlaridan 48 kWh foydalanildi. 17-rasm (c) sutka davomida tashqi harorat -0,5...+12,5 °C gacha va issiqxonaga yuklamasi 2,5...7,8 kWh gacha o'zgarishi aniqlandi. 20 yanvarda issiqxonani isitishda 132,35 kWh issiqlik energiyasi jumladan, quyosh bo'lmagan vaqtlarda issiqlik nasosidan 93,48 kWh, qolgan vaqtlarda quyosh radiatsiyasi va quyosh issiqlik kollektorlaridan 38,87 kWh foydalanildi. 17-rasm (d) sutka davomida tashqi harorat -9,5...+0,8 °C gacha va issiqxonaga yuklamasi 7,28...12,1 kWh gacha o'zgarishi aniqlandi. 20 fevralda issiqxonani isitishda 242,56 kWh issiqlik energiyasi jumladan, quyosh bo'lmagan vaqtlarda issiqlik nasosidan 156,58 kWh, qolgan vaqtlarda quyosh radiatsiyasi va quyosh issiqlik kollektorlaridan 85,98 kWh foydalanildi.



1,3,5-hisoblash natijalari; 2,4,6-tajriba natijalari

17-rasm. Issiqxonada o'tkazilgan tajriba tadqiqot natijalari

1-jadvalda issiqxonaning issiqlik yuklamasi, issiqlik kollektori va issiqlik nasoslari ishlab chiqargan issiqlik miqdorlari hisoblangan va tajriba natijalarini solishtirish (validatsiya) ko'rsatgichlari keltirilgan. Solishtirish ko'rsatgichlariga ko'ra natijalar orasida eng yaxshi moslik borligini ko'rsatdi.

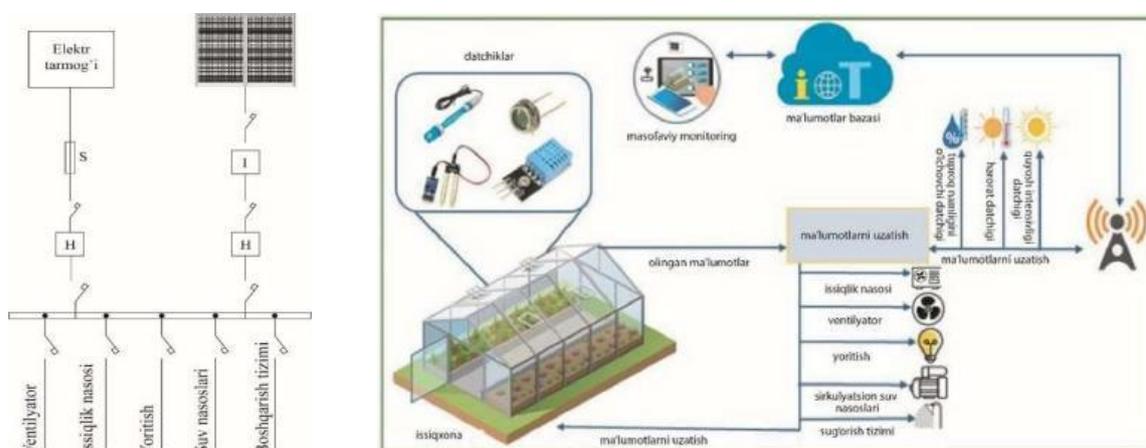
1-jadval

Muvofiqlik testlari (Validatsiya)

| Parametrlar | Tajriba o'tkazilgan kun | χ^2 | RMSE | R ² | MBE |
|----------------------------|-------------------------|----------|------|----------------|------|
| Issiqlik yuklamasi | 2023 yil 20 noyabr | 1,02 | 0,2 | 0,98 | 0,04 |
| | 2023 yil 20 dekabr | 0,64 | 0,42 | 0,97 | 0,18 |
| | 2024 yil 20 yanvar | 0,72 | 0,39 | 0,97 | 0,15 |
| | 2024 yil 20 fevral | 0,54 | 0,47 | 0,96 | 0,22 |
| Quyosh issiqlik kollektori | 2023 yil 20 noyabr | 1,69 | 0,40 | 0,98 | 0,16 |
| | 2023 yil 20 dekabr | 1,04 | 0,36 | 0,98 | 0,12 |
| | 2024 yil 20 yanvar | 1,03 | 0,39 | 0,98 | 0,15 |
| | 2024 yil 20 fevral | 0,77 | 0,42 | 0,98 | 0,18 |
| Issiqlik nasosi | 2023 yil 20 noyabr | 2,37 | 0,42 | 0,95 | 0,17 |
| | 2023 yil 20 dekabr | 1,15 | 0,58 | 0,98 | 0,34 |
| | 2024 yil 20 yanvar | 2,43 | 0,63 | 0,97 | 0,4 |
| | 2024 yil 20 fevral | 1,08 | 0,7 | 0,98 | 0,5 |

Dissertatsiyaning “**Avtonom issiqxonalarda quyosh va issiqlik nasosli qurilmalarni qo'llash samaradorligini texnik-iqtisodiy asoslash**” deb nomlangan to'rtinchi bobida avtonom issiqxonaning tarqmoqqa integratsiya qilingan quyosh fotoelektr stansiyalar asosidagi elektr ta'minoti va boshqarish sxemasi, quyosh va issiqlik nasosli qurilmalarning texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari tahlillari keltirilgan.

Foydali maydoni 50 m² bo'lgan ikki qiya konstruksiyali issiqxonani elektr energiyasi bilan ta'minlashda elektr tarmoqqa integratsiya qilingan 5 kW quvvatli quyosh elektr stansiyasidan foydalanildi. Quyosh elektr stansiyasi bir fazali elektr tarmoq bilan parallel ishlaydi va issiqxona elektr jihozlarini elektr energiya bilan ta'minlaydi. 19-rasmda avtonom issiqxonaning elektr ta'minoti va boshqarish sxemasi keltirilgan.



19-rasm. Avtonom issiqxonaning elektr ta'minoti va boshqarish sxemasi

2-jadvalda 2023 yil 15 noyabrdan 2024 yil 15 martgacha bo'lgan qishki mavsumda issiqxonaning avtonom energiya ta'minoti tizimining texnik-iqtisodiy ko'rsatgichlari baholandi.

2-jadval

Issiqxonaning avtonom energiya ta'minoti tizimining texnik-iqtisodiy ko'rsatgichlari

| No | Ko'rsatgichlar | Miqdor |
|----|--|------------|
| 1 | Issiqxonaning issiqlik yuklamasi, kWh | 14720 |
| 2 | Issiqxonaning elektr energiyasi iste'moli, kWh | 5640 |
| 3 | Issiqlik nasosining isitish quvvati, kW | 9,5 |
| 4 | Issiqlik nasosining samaradorligi (COP) | 2,75...4,5 |
| 5 | Issiqlik nasosi ishlab chiqargan issiqlik energiyasi, kWh | 11135 |
| 6 | Issiqlik qozoni ishlab chiqargan issiqlik energiyasi, kWh | 100 |
| 7 | Quyosh issiqlik kollektori ishlab chiqargan issiqlik energiyasi, kWh | 2225 |
| 8 | Quyosh fotoelektr stansiyasining quvvati, kW | 5 |
| 9 | Quyosh panellari ishlab chiqargan elektr energiyasi, kWh | 1160 |
| 10 | Qurilmalarga sarflangan umumiy mablag', mln.so'm | 135 |

3-jadvalda foydali maydoni 50 m² bo'lgan ikki qiya konstruksiyali avtonom issiqxonani energiya bilan ta'minlashda an'anviy va ishlab chiqilgan tizimlarning iqtisodiy ko'rsatgichlarning solishtirish natijalari keltirilgan.

3-jadval

Avtonom issiqxonalarning solishtirish ko'rsatgichlari

| No | Ko'rsatgichlar | QE va IN isitish tizimi | Elektr isitish tizimi |
|----|---|-------------------------|-----------------------|
| 1 | Ishlab chiqargan issiqlik energiyasi, kWh | 14720 | 14720 |
| 2 | Iste'mol qilgan elektr energiyasi, kWh | 2700 | 14720 |
| 3 | Isitish tizimining balans qiymati, mln.so'm | 135 | 20 |
| 4 | Amortizatsiya ajratmalari, mln.so'm | 0,68 | 0,4 |
| 5 | Joriy ta'mirlash xarajatlari, mln.so'm | 1,01 | 0,6 |
| 6 | Yoqilg'i xarajatlari, mln.so'm | 0,1 | - |
| 7 | Elektr energiyasi xarajatlari, mln.so'm | 2,7 | 22 |
| 8 | Ekspluatasion xarajatlar, mln.so'm | 4,5 | 23 |

Avtonom issiqxonaning energiya ta'minoti tizimining iqtisodiy samaradorlik ko'rsatgichlari "sof diskont" usuli orqali jumladan, sof joriy qiymat, (NPV) 135 mln.so'm, foydaning ichki meyor, (IRR) 10%, foyda indeksi, (IP>1) 2,03 tashkil qilishi baholandi. Shunday qilib, quyosh suv isitish kollektori va bug'-kompresorli issiqlik nasosli avtonom issiqxonada olib borilgan tadqiqotlar va texnik-iqtisodiy hisoblar natijalari tahlili shuni ko'rsatdiki, taklif etilgan issiqlik ta'minoti tizimini bir isitish mavsumida 52990 MJ issiqlik energiyasini va 2,26 tonna shartli yoqilg'ini tejash imkonini beradi.

XULOSA

Dissertatsiya ishida qo'yilgan vazifalarni hal etish bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar natijalari asosida quyidagi xulosalar taklif qilindi:

1. Quyosh nurlanish energiyasi, kombinatsiyalashgan quyosh issiqlik kollektori va issiqlik nasosli qurilmalar, quyosh fotoelektr panellari sirtini tozalash texnologiyasi bilan jihozlangan quyosh fotoelektr stansiyasi asosidagi issiqxonaning avtonom energiya ta'minoti tizimining texnologik sxemasi ishlab chiqildi.

2. Ilk marotaba chiqindi suvlarni qayta ishlash filtrlari bilan jihozlangan quyosh fotoelektr panellari sirtini tozalash texnologiyasi o'rnatilgan va elektr tarmoq bilan integratsiya qilingan quyosh fotoelektr stansiyasi, kombinatsiyalashgan quyosh kollektori va issiqlik nasosli qurilmalar asosidagi issiqxonaning avtonom energiya ta'minoti tizimi ishlab chiqildi (№FAP2431).

3. Modellashtirish asosida issiqxona optimal parametrlari $\gamma_{opt}=45^{\circ}$, $\beta_{opt}=50^{\circ}$ va maksimal o'rtacha yig'indi quyosh radiatsiyasi $\sum I_{max}=36660$ MJ ga teng ekanligi asoslandi.

4. Issiqxonani isitishda TMN1-F90BER "havo-suv" turdagi issiqlik nasosining isitish koeffisienti va issiqlik miqdorining tashqi muhit haroratga bog'liqlik imitatsion modeli ishlab chiqildi. Tashqi muhit harorati $-15...+15$ °C, kondensatordagi harorat 45, 50 va 55 °C bo'lganda isitish koeffisienti 2,25...5,5 ga teng bo'lishi modellashtirish orqali aniqlandi.

5. Qarshi shahri iqlim sharoitida foydali maydoni 50 m² bo'lgan ikki qiya konstruksiyali issiqxonaning 2023 yil 15 noyabrdan 2024 yil 15 martga qadar bo'lgan davrda issiqlik yuklamasi atrof-muhit harorati, quyosh radiatsiyasi va issiqxonada issiqlik yoqotishlarni inobatga olib aniqlandi. Natijalarga ko'ra, ushbu mavsumda issiqxona 14720 kWh issiqlik energiyasi iste'mol qilishi aniqlandi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, 11135 kWh (75%) issiqlik energiyasi issiqlik nasosi, 2225 kWh (15%) quyosh issiqlik kollektori, 100 kWh (1%) issiqlik qozonidan va qolgani quyosh nurlanishi (9%) orqali ta'minlandi.

6. Avtonom issiqxonalarda o'rnatiladigan quyosh fotoelektr panellari sirtini changdan tozalash energiya tejamkor texnologiyasi takomillashtirildi. 5 kW quvvatli quyosh elektr stansiyalarini 2023 yil noyabrdan 2024 yil martga qadar chang bilan qoplangan va changdan tozalangan energetik ko'rsatgichlari tajriba yo'li orqali aniqlandi. Natijada, ushbu davrda 2...6 % gacha quyosh fotoelektr panellari samaradorligini oshirish imkoni yaratildi va umumiy qo'shimcha 1160 kWh elektr energiyasi ishlab chiqarish imkoniyati yaratildi.

7. Issiqxonani isitish mavsumi davomida an'anaviy isitish qurilmalari uchun sarf bo'ladigan tabiiy gaz 1835 m³ va 2,26 t.sh.yo tejalishiga, ushbu tabiiy gaz yonganda atrof-muhitga ajraladigan 3395 kg CO₂ kamaytirishga erishildi. Issiqxona energiya ta'minoti tizimining iqtisodiy samaradorlik ko'rsatgichlari diskont usulidan foydalanib baholandi. Bunga ko'ra sof joriy qiymat 138.7 mln. so'm, foydaning ichki meyor 10%, foyda indeksi 2,03 va qoplash muddati 6,4 yilni tashkil qilishi aniqlandi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ Р_hD.03/30.09.2020.Т.111.03 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ КАРШИНСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**КАРШИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

РАХМАТОВ ОБИД ИБОД УГЛИ

**СОЛНЕЧНО-ТЕПЛОНАСОСНАЯ СИСТЕМА ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ
АВТОНОМНЫХ ТЕПЛИЦ**

05.05.06 – Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (Р_hD) ПО
ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Карши – 2025

Тема диссертации на соискание учёной степени доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за B2024.4.PhD/T5112.

Диссертационная работа выполнена в Каршинском государственном техническом университете.

Автореферат диссертации размещён на трёх языках (узбекском, русском, английском (резюме)) на веб-сайте Учёного совета (www.qmii.uz) и на образовательном информационном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель: Сафаров Алишер Бекмурадович
доктор философии (PhD) по техническим наукам, доцент

Официальные оппоненты: Юлдашев Исроил Абриевич
доктор технических наук, профессор.
Файзиев Тулкин Амирович
кандидат технических наук, профессор

Ведущая организация: Бухарский государственный университет

Защита диссертации состоится «__» _____ 2025 года в __ часов на заседании Научного совета № PhD.03/30.09.2020.T.111.03 при Каршинском государственном техническом университете (Адрес: 180100, г. Карши, ул. Мустакиллик 225. Тел.: (+99875) 224-02-89, факс: (8375) 224-13-95, e-mail: kstu@kstu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Каршинского государственного технического университета (зарегистрирована под №__). (Адрес: 180100, г. Карши, ул. Мустакиллик 225. Тел.: (+99875) 224-02-89, факс: (8375) 224-13-95, e-mail: kstu@kstu.uz).

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2025 года.
(протокол рассылки №__ от «__» _____ 2025 г.)

Г.Н. Узаков
Председатель Научного совета
по присуждению ученых степеней,
д.т.н., профессор

Х.А. Давлонов
Ученый секретарь Научного совета
по присуждению ученых степеней
д.ф.т.н., доцент

Б.Е. Хайриддинов
Председатель научного семинара при
Научном совете по присуждению ученых степеней,
д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD)).

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире большое внимание уделяется разработке автономных систем энергоснабжения теплиц на основе солнечных энергетических установок, построенных по принципам зелёных технологий, с целью экономии природных топливно-энергетических ресурсов и эффективного использования возобновляемых источников энергии в системе теплоснабжения теплиц. Согласно глобальным программам по развитию «умных» теплиц, мировой рынок теплиц, использующих возобновляемые источники энергии, который в 2022 году оценивался в 1,7 миллиарда долларов США, к 2030 году, по прогнозам, достигнет объёма 3,6 миллиарда долларов США, при ожидаемом среднем ежегодном темпе роста 9,5 % в период 2022–2030 годов¹. Опыт зарубежных стран показывает, что использование энергетических установок и систем, основанных на природных видах топлива, в системах теплового и электрического обеспечения автономных теплиц приводит к снижению экологической и экономической эффективности. В связи с этим, применение автономной системы энергоснабжения теплиц на основе энергоэффективных солнечных и теплонасосных установок приобретает особую значимость.

В настоящее время в мире ведутся научно-технические исследования, направленные на развитие “зелёных” технологий, разработка научно-технологических основ, совершенствование автономных энергоснабжающих систем в теплицах на базе возобновляемых источников энергии для континентальных климатических условий. В числе приоритетных направлений - определение оптимальной конструкции и материалов покрытия теплиц с учётом климатических условий, в которых они расположены, разработка уравнений энергообмена теплицы, основанных на влиянии солнечной радиации, траектории движения солнца и изменении температуры окружающей среды, исследование внешних факторов, влияющих на эффективность установленных в теплицах фотоэлектрических панелей, и разработка технологий очистки поверхности от пыли, повышение эффективности энергоснабжающих систем теплиц, основанных на солнечной энергии и тепловых насосах. В связи с этим в настоящее время особое внимание уделяется разработке высокоэнергоэффективной автономной системы энергоснабжения теплиц на основе солнечной энергии и тепловых насосов, адаптированной к климатическим условиям региона, и научному обоснованию её энергетических параметров.

В нашей республике ведётся определённая работа по повышению энергоэффективности теплиц, в частности, по внедрению энергосберегающих технологий и систем, основанных на солнечной энергии, эффективному использованию систем энергоснабжения, работающих на базе солнечных и теплонасосных установок, а также по повышению их энергетической эффективности. В Постановлении Президента Республики Узбекистан № ПП-

¹ <https://www.globenewswire.com/newsrelease/2023/12/11/2794082/28124/en/Smart-Greenhouse-Global-Strategic-Industry-Report-2023-2030-AgTech-Emerges-as-New-Buzzword-in-Agricultural-Growing-Adoption-of-IoT-Presents-Vast-Opportunities.html>

57 от 16 февраля 2023 года «О мерах по ускорению внедрения возобновляемых источников энергии и энергосберегающих технологий в 2023 году» определены важные задачи по широкому внедрению возобновляемых источников энергии в учреждениях социальной сферы, жилищно-коммунальном хозяйстве и отраслях экономики, по устранению дефицита энергии в регионах республики за счёт повышения энергоэффективности, а также по комплексной организации работы в этом направлении². Выполнение этих задач требует разработки и внедрения автономных систем энергоснабжения теплиц, основанных на энергоэффективных солнечных и теплонасосных установках, что является одной из актуальных научно-технических задач на сегодняшний день.

Диссертационная работа в определённой степени способствует реализации задач, изложенных в Постановлении Президента Республики Узбекистан №ПП-413 от 2 ноября 2022 года «О дополнительных мерах по повышению эффективности деятельности тепличных», Постановлении от 22 августа 2019 года №ПП-4422 «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии», Постановлении от 4 октября 2019 года №ПП-4477 «Об утверждении Стратегии по переходу Республики Узбекистан на «зеленую» экономику на период 2019 - 2030 годов», Постановлении от 2 декабря 2022 года №ПП-436 «О мерах по повышению эффективности реформ, направленных на переход Республики Узбекистан на «зеленую» экономику до 2030 года», а также других нормативно-правовых документах, регулирующих этот вид деятельности.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики IV. «Развитие методов использования возобновляемых источников энергии, создание технологий и устройств на основе нанотехнологий, фотоники и других передовых технологий».

Степень изученности проблемы. В развитие научных исследований по разработке уравнений теплового баланса теплиц с учётом внешних факторов, а также по повышению энергоэффективности на основе устройств, использующих возобновляемые источники энергии, значительный вклад внесли ведущие зарубежные учёные, в том числе: В.П. Сетхи (Индия), У. Чакир (Турция), Цз. Чэнь (Китай), А. Меллалу (Марокко), Б.М. Карамбасти (Иран), Б. Парис (Греция), С.М. Драгичевич (Сербия), С. Агреби (Тунис), К. Ван (Китай), А. Немс (Польша), О. Озгенера (Турция), А.М. Пенджиев (Туркменистан), М.Л. Романович (Россия) и другие.

В Республике Узбекистан научные исследования по разработке оптимальных конструкций солнечных теплиц в условиях переменного климата, их математическому моделированию и повышению

² O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023 yil 16 fevraldagi PQ-57-son "2023 yilda qayta tiklanuvchi energiya manbalarini va energiya tejovchi texnologiyalarni joriy etishni jadallashtirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi Qarori

энергоэффективности проводились такими учёными, как Р.А.Зохидов, Р.Авезов, А.Вардиашвили, Б.Э. Хайриддинов, Ш.И. Кличев, Б.С. Расаходжаев, Г.Н. Узаков, Ж.С.Ахатов, К.А.Самиев, И.А. Юлдашев, Х.А.Давланов и Ш.Х. Эргашев. Значительный научный вклад внесён сотрудниками Научно-производственного объединения «Физика-Солнце» Академии наук Республики Узбекистан, Института Физики-техники, Ташкентского государственного технического университета, Каршинского государственного технического университета и Бухарского государственного университета. В частности, ими проведены исследования по изучению зависимости энергоэффективности теплиц от координат установки, внешней температуры, скорости ветра и солнечной радиации, разработаны уравнения теплового и электрического баланса для теплиц различной конструкции, а также определены их оптимальные конструктивные размеры.

Несмотря на достигнутые положительные результаты, недостаточно научно исследованы вопросы определения максимальной суммарной солнечной радиации в зависимости от траектории движения Солнца, оптимальных конструктивных размеров и ориентации теплиц, а также разработки и изучения систем автономного энергоснабжения теплиц с тепловыми насосами в условиях резко континентального климата. В связи с этим разработка и повышение эффективности энергосберегающей автономной системы энергоснабжения теплиц на основе солнечных и теплонасосных установок является актуальной научно-технической задачей.

Связь диссертационного исследования с научно-исследовательскими планами высшего учебного заведения или научно-исследовательского учреждения: Диссертационное исследование выполнено в рамках фундаментального проекта по теме ПЛ-4821091659 “Разработка научно-технических основ гибридных систем теплоснабжения с учётом метеорологических особенностей климата региона” (2022–2024 г. г.).

Цель исследования заключается в разработке и обосновании эффективности автономной системы энергоснабжения для двухскатных теплиц на основе солнечных и теплонасосных установок в условиях изменчивого климата.

Задачи исследования:

разработка технологической схемы автономной системы энергоснабжения теплиц на основе солнечных и теплонасосных установок;

физико-математическое моделирование и обоснование параметров двухскатных автономных теплиц;

моделирование теплового насоса для автономной теплицы и исследование его энергетических показателей;

моделирование теплового баланса двухскатной автономной теплицы и расчёт её теплотехнических параметров;

исследование эффективности фотоэлектрических солнечных установок автономной теплицы и совершенствование технологии очистки их поверхности;

оценка технико-экономической и энергетической эффективности теплонасосной системы энергоснабжения автономных теплиц.

Объектом исследования является автономная теплица, функционирующая на основе солнечных и теплонасосных установок, а также её система энергоснабжения.

Предметом исследования является исследование энергетического баланса, температурного режима и энергетической эффективности двухскатной автономной теплицы, основанной на солнечных и теплонасосных установках.

Методы исследования. В процессе исследования применялись математическое и имитационное моделирование, теоретические основы теплотехники и электротехники, теория подобия и размерностей, экспериментальное исследование процессов теплообмена, а также методы обобщения результатов экспериментов.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана технологическая схема энергосберегающей системы автономного теплоснабжения и электроснабжения теплицы, основанная на базе солнечной фотоэлектрической станции с интегрированной в сеть и установкой очистки поверхности панелей от пыли, солнечных вакуумных водяных коллекторов и воздушно-водяных тепловых насосов;

разработана система автономного энергоснабжения теплицы (патент №FAP2431), включающая солнечные фотоэлектрические панели с двухступенчатой системой очистки воды и автоматической системой управления, устройства очистки поверхностей панелей, а также тепловые насосы, способные эффективно функционировать в переменных климатических условиях;

разработана математическая модель на основе уравнений, позволяющего рассчитывать зависимость максимального суммарного солнечного излучения, падающего на теплицу, от угла наклона ската теплицы, конструктивного коэффициента теплицы, её географических координат и ориентации, используемого покрытия и траектории движения солнца;

разработана математическая модель, основанная на уравнениях теплового баланса, позволяющая определить энергетические нагрузки автономной теплицы в условиях изменчивого климата, в зависимости от солнечной радиации, внешней температуры воздуха, скорости ветра, тепловых и электрических потерь, а также параметров теплового насоса и солнечного оборудования.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработана энергоэффективная автономная система энергоснабжения теплицы на основе солнечных и теплонасосных установок (получен патент на полезную модель № FAP 2431 от 06.03.2024 г. «Автономная теплица»);

разработана энергоэффективная технология очистки поверхности солнечных фотоэлектрических установок от пыли, адаптированная к условиям изменчивого климата для повышения эффективности солнечной теплицы.

Достоверность результатов исследования. Достоверность проведённых исследований подтверждается использованием современных измерительных приборов, обработкой полученных экспериментальных данных, применением современных математических моделей и методов расчёта для определения энергетических показателей солнечных и теплонасосных установок, а также соответствием расчётных и экспериментальных результатов.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования заключается в разработке математической модели теплового баланса, позволяющей рассчитать энергетическую нагрузку автономной теплицы с учётом её конструктивных размеров и материала покрытия, солнечной радиации, внешней температуры, скорости ветра, теплопотерь внутри теплицы, а также параметров теплового насоса и солнечных энергетических установок. Практическая значимость исследования объясняется тем, что в условиях изменяющегося климата разработаны: энергосберегающая система автономного энергоснабжения теплиц на основе солнечных и теплонасосных установок и энергоэффективная технология очистки поверхности солнечных фотоэлектрических установок от пыли.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов по разработке солнечно-теплонасосной системы энергоснабжения автономных теплиц:

получен патент на полезную модель для автономной теплицы (№ FAP 2431 от 06.03.2024), выданный центром интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. В результате разработана система автономного энергоснабжения, обеспечивающая энергоэффективное отопление и электроснабжение теплицы с использованием солнечных и теплонасосных установок.

в фермерском хозяйстве ООО «Файзуллаев Мухиддин» внедрена система энергоснабжения на основе солнечных и теплонасосных установок для отопления и электроснабжения теплицы (Справка Министерства сельского хозяйства Республики Узбекистан от 26 мая 2025 года № 05/04-04-254). Внедрение данной системы в тепличное хозяйство позволило в течение одного сезона сэкономить 1835 м³ природного газа, 2260 т.у.т. (тонн условного топлива), а также сократить выбросы парниковых газов в атмосферу на 3395 кг CO₂, образующихся при сгорании природного газа.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования апробированы на 4 международных и 3 республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано в общей сложности 19 научных работ, из которых 2 статьи в международных и 3 статьи в республиканских журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций. Получен патент на

полезную модель от Центра интеллектуальной собственности Узбекистана, а также авторское свидетельство на 3 программные продукты для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Общий объём диссертации составляет 120 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

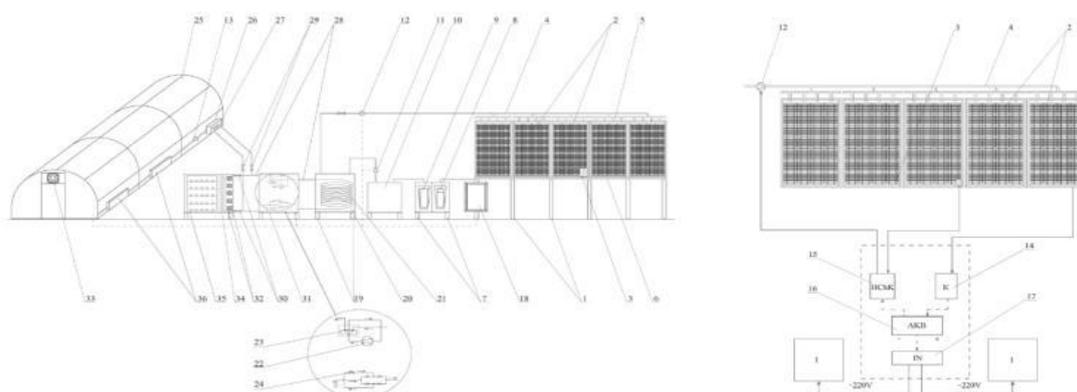
Во введении обоснована актуальность и необходимость темы диссертационного исследования, сформулированы цель и задачи исследования, описаны объект и предмет исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Изложены научная новизна и практические результаты исследования, раскрыта научная и прикладная значимость полученных результатов, приведены сведения о внедрении результатов в практику, апробации работы, опубликованных научных трудах, а также структура диссертации.

В первой главе диссертации, озаглавленной **«Анализ современного состояния автономных систем энергоснабжения теплиц на основе зелёных технологий»**, рассмотрено текущее положение дел в мировой практике использования зелёных технологий в энергоснабжении теплиц. Приведены способы повышения энергетической эффективности теплиц различной конструкции, технологии экономии природных топливно-энергетических ресурсов в автономных теплицах, а также проанализированы научные исследования по созданию энергосистем теплиц на основе комбинированных энергетических установок. Анализ выполненных научных работ показывает, что вопросы разработки модели определения оптимальных размеров и ориентации теплиц с учётом координат установки, траектории движения солнца и внешних факторов (солнечной радиации, скорости ветра, температуры), а также создания энергосберегающей автономной энергосистемы теплиц на основе солнечных и тепловых насосных установок в условиях изменчивого климата, научного обоснования их теплотехнических параметров, оценки экономической и экологической эффективности — до настоящего времени изучены недостаточно. На основе анализа существующих исследований и разработок в области автономного энергоснабжения теплиц были сформулированы цель и задачи настоящего исследования.

Во второй главе диссертации, озаглавленной **«Моделирование системы автономного энергоснабжения теплиц с использованием солнечной энергии и теплонасоса»**, представлены следующие материалы: схема системы автономного энергоснабжения теплиц, основанной на солнечных установках и теплонасосе; математическая модель, позволяющая определить оптимальные размеры и ориентацию теплицы с двухскатной конструкцией; моделирование парокompрессионного теплонасоса в среде Matlab/Simulink; результаты математического моделирования теплового баланса автономной теплицы. Этот раздел направлен на обоснование эффективности

использования возобновляемых источников энергии для устойчивого и автономного функционирования тепличных комплексов.

В результате проведённых исследований впервые была разработана система автономного энергоснабжения теплицы на основе комбинированного использования солнечных тепловых коллекторов и устройств с теплонасосами, а также солнечная фотоэлектрическая станция, интегрированная с электрической сетью и оснащённая технологией очистки поверхности солнечных панелей с применением фильтров для повторной переработки сточных вод (FAP №2431). На рисунке 1 приведена схема системы автономного энергоснабжения теплицы, основанной на солнечных установках и тепловом насосе.



1 — металлический каркас; 2 — солнечные фотоэлектрические установки; 3 — измерительные датчики; 4, 5 — водопроводные трубы; 6 — лоток; 7 — металлическая опора; 8, 9 — двухступенчатые фильтры очистки; 10 — бак для сбора воды; 11, 12, 13 — циркуляционные водяные насосы; 14 — контроллер; 15 — управляющий контроллер; 16 — аккумуляторные батареи; 17 — инвертор; 18 — щит (электропитание); 19 — металлическая опора; 20 — водяной бак; 21 — испаритель; 22 — компрессор; 23 — четырёхходовой клапан; 24 — дроссельный вентиль; 25 — автономная теплица; 26 — бак с теплоаккумулятором; 27 — конденсатор; 28 — трубы для циркуляции фреона; 29, 30 — клапаны; 31 — тепловой насос; 32, 33 — вентиляторы; 34 — испаритель; 35 — сушильный аппарат

Рис. 1. Схема системы автономного энергоснабжения теплицы на основе солнечных установок и теплового насоса

В качестве объекта исследования была выбрана солнечная теплица с двухскатной конструкцией, покрытая стеклом, расположенная в городе Карши, Кашкадарьинской области. Полезная площадь теплицы составляет 50 м², объём — 172,5 м³. Расчёты проводились для солнечной теплицы в период с 15 ноября 2023 года по 15 марта 2024 года, при географической широте 38,86°, с варьированием ориентации теплицы от 0° до 90° с шагом в 5°.

$$k_i = \frac{L_i}{W_i}, \quad (1 \leq k_i \leq 12.5) \quad (1)$$

$$\beta_i = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{1.5 \cdot 2}{W_i} \right), \quad (23^\circ \leq \beta_i \leq 56^\circ) \quad (2)$$

$$I_{YQR} = \sum I_{hi}(\beta_i, k_i, \gamma_i) \cdot S_i \quad (3)$$

$$\sum I_{YQR} = [(1 - F_t) + \rho \cdot F_t] \cdot [I_b \cdot R_b \cdot \tau_b + I_d \cdot R_d \cdot \tau_d + \rho_g \cdot I_H \cdot R_g \cdot \tau_g] \cdot S_i \quad (4)$$

при этом: k_i — коэффициент отношения длины основания теплицы к её ширине; β_i — угол наклона скатов теплицы; γ_i — ориентация расположения теплицы; F_t — доля общей солнечной радиации (0,35); ρ — коэффициент отражения излучения (0,1); $\sum I_{YQR}$ — суммарная солнечная радиация, поступающая на теплицу.

Была разработана модель и алгоритм расчёта оптимальной ориентации и конструктивных размеров автономной теплицы. На рисунке 2 представлена модель размещения теплицы с двухскатной конструкцией.

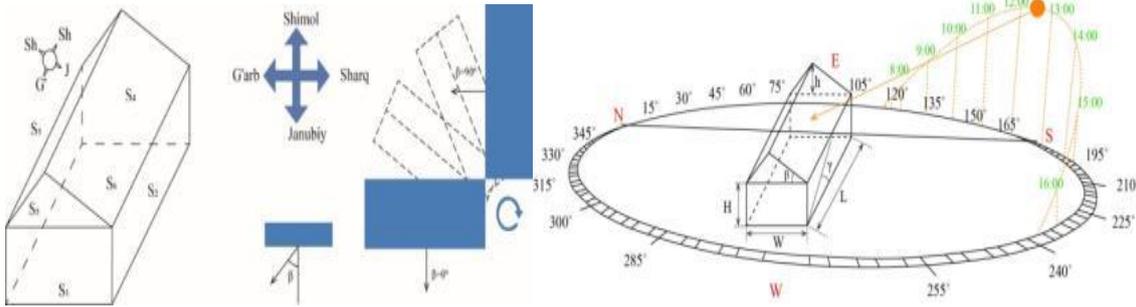


Рис. 2. Геометрическая модель теплицы

На рисунке 3 представлена блок-схема моделирования процесса, направленного на достижение максимального поступления суммарной солнечной радиации в теплицу с двухскатной конструкцией. На рисунке 4 приведены графики и показатели суммарной солнечной радиации, поступающей в теплицу в различные месяцы. При этом для месяцев ноябрь (а), декабрь (б), январь (с), февраль (д), март (е) соответственно, при оптимальных параметрах теплицы $\gamma_1 = 40^\circ$, $\beta_1 = 52^\circ$; $\gamma_2 = 30^\circ$, $\beta_2 = 53^\circ$; $\gamma_3 = 38^\circ$, $\beta_3 = 52^\circ$; $\gamma_4 = 52^\circ$, $\beta_4 = 52^\circ$; $\gamma_5 = 65^\circ$, $\beta_5 = 41^\circ$, было установлено, что средняя суммарная солнечная радиация составляет: $\sum IYQR_1 = 4617$ МДж, $\sum IYQR_2 = 9502$ МДж, $\sum IYQR_3 = 8641$ МДж, $\sum IYQR_4 = 8343$ МДж, $\sum IYQR_5 = 4559$ МДж. Для указанных месяцев средние оптимальные параметры теплицы составляют $\gamma_{opt} = 45^\circ$, $\beta_{opt} = 50^\circ$, а максимальная суммарная солнечная радиация составляет $\sum I_{max} = 35660$ МДж.

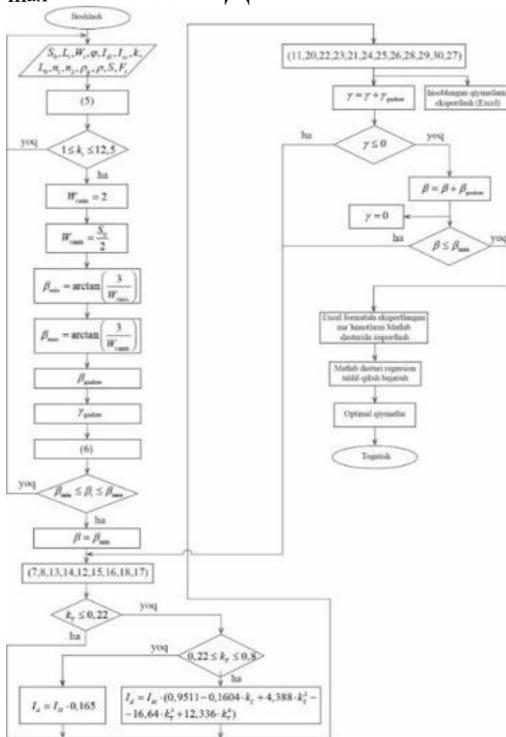
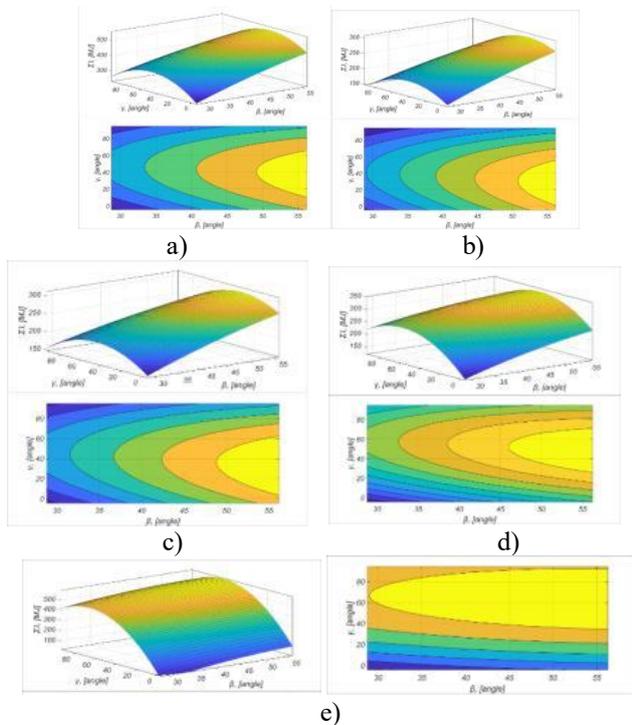


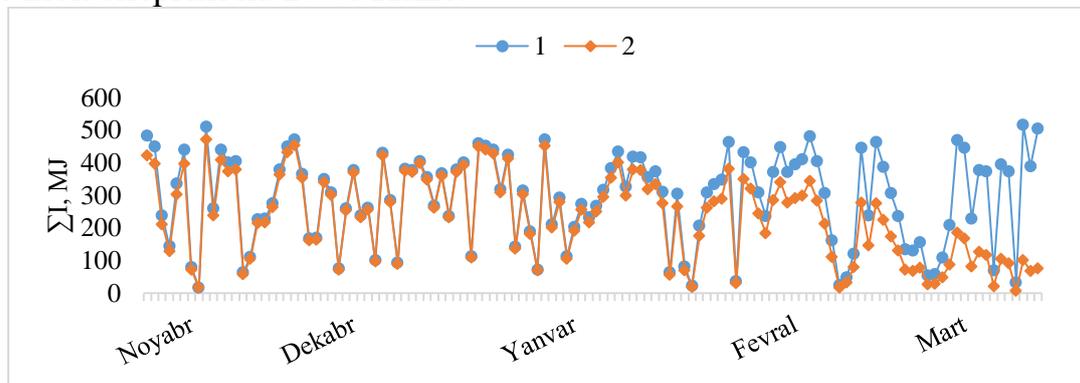
Рис. 3. Блок-схема моделирования



а – ноябрь; б – декабрь; с – январь; д – февраль; е – март.

Рис. 4. Показатели суммарной солнечной радиации

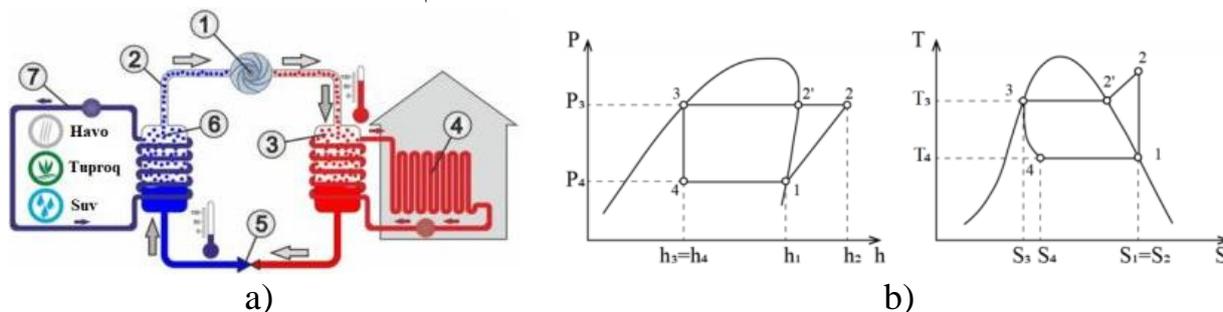
В рисунке 5 приведены результаты сравнения суммарной солнечной радиации, поступающей в стандартную теплицу ($\beta = 60^\circ$, $\gamma = 0^\circ$) и в предлагаемую теплицу ($\beta = 50^\circ$, $\gamma = 45^\circ$), конструктивные размеры которых одинаковы. В климатических условиях города Карши, за период с 15 ноября по 15 марта, установлено, что в предлагаемую теплицу (1) поступает всего 35 660 МДж, а в стандартную теплицу (2) — всего 28 600 МДж суммарной солнечной радиации. Обосновано, что в данный сезон эффективность использования солнечной энергии на 20 % выше.



1 — результаты, полученные в результате оптимизации; 2 — результаты, полученные в стандартном состоянии

Рис. 5. Результаты сравнения

Для оценки эффективности системы отопления теплицы с тепловым насосом был выполнен термодинамический расчет парокompрессионного теплового насоса. В рисунке 6 приведены P–h и T–S диаграммы, используемые для расчета параметров парокompрессионного теплового насоса, устанавливаемого в теплице.



1 — компрессор, 2 — рабочая жидкость (хладагент), 3 — конденсатор, 4 — тепловая нагрузка (радиатор), 5 — дроссельный вентиль, 6 — испаритель, 7 — источник с низким потенциалом.

Рис. 6. Парокompрессионный тепловой насос (а) и его циклы на диаграммах P–h и T–S

Уравнения общего массового и энергетического баланса в парокompрессионном тепловом насосе выражаются следующим образом:

$$\sum m_k = \sum m_{ch} \quad (5)$$

$$Q_k = Q_b + W_{kom} \quad (6)$$

при этом: Q_k — количество тепла, получаемого от конденсатора, кВт; Q_b — количество тепла в испарителе, кВт; W_{kom} — общая мощность компрессора, кВт

Мощность компрессора определяется по следующему уравнению:

$$W_{ком} = m_r \cdot (h_2 - h_1) \quad (7)$$

при этом: m_r – масса рабочего тела (хладагента), кг; h_1 – энтальпия в точке 1, кДж/кг; h_2 – энтальпия в точке 2, кДж/кг.

Расход массы рабочего тела (хладагента) определяется по следующей формуле:

$$m_r = \rho_s \cdot V_k \cdot \eta_v \cdot n \quad (8)$$

при этом: V_k – рабочий объём компрессора, м³; η_v – объёмная эффективность; n – частота вращения компрессора; ρ_s – плотность рабочего тела (хладагента).

Количество тепла в испарителе определяется по следующей формуле:

$$Q_b = m_r \cdot (h_1 - h_4) \quad (9)$$

энтальпия в точке 2:

$$h_2 = h'_2 + C_p \cdot (T_1 - T_2) \quad (10)$$

энтропия в точке 2:

$$S_2 = S'_2 + C_p \cdot \ln\left(\frac{T_1}{T_2}\right) \quad (11)$$

при этом: T_1 – температура перегрева конденсатора, °С; T_2 – температура конденсатора, °С; h' – энтальпия испарения, кДж/кг; S' – энтропия испарения, кДж/°С; C_p – теплота перегретого пара, кДж/°С.

Коэффициент отопления численно равен отношению производительности теплового насоса по теплу (тепловая мощность) к количеству затраченной электрической энергии (электрическая мощность):

$$\varphi = \frac{Q_k}{W_{ком} + W_q} = \frac{m_r \cdot (h_2 - h_3)}{m_r \cdot (h_1 - h_4) + W_q} \quad (12)$$

при этом: α – суммарный коэффициент потерь теплового насоса (0,3–0,4); T_k – температура конденсации рабочего тела (хладагента), °С;

T_b – температура испарения рабочего тела (хладагента), °С; h_4 – энтальпия в точке 4, кДж/кг; W_q – дополнительно затраченная электрическая энергия (вентилятор и система управления), кВт·ч.

На основе расчёта парокомпрессионного теплового насоса на рисунке 7 представлены: (а) блок-схема моделирования в системе Matlab/Simulink для парокомпрессионного теплового насоса типа «воздух-вода» TMN1-F90BER, (б) динамика изменения частоты двигателя и (в) мощности. При этом установлено, что частота двигателя изменяется в пределах 15...75 Гц в зависимости от внешней температуры, а мощность — в пределах от 0,8 до 3,4 кВт.

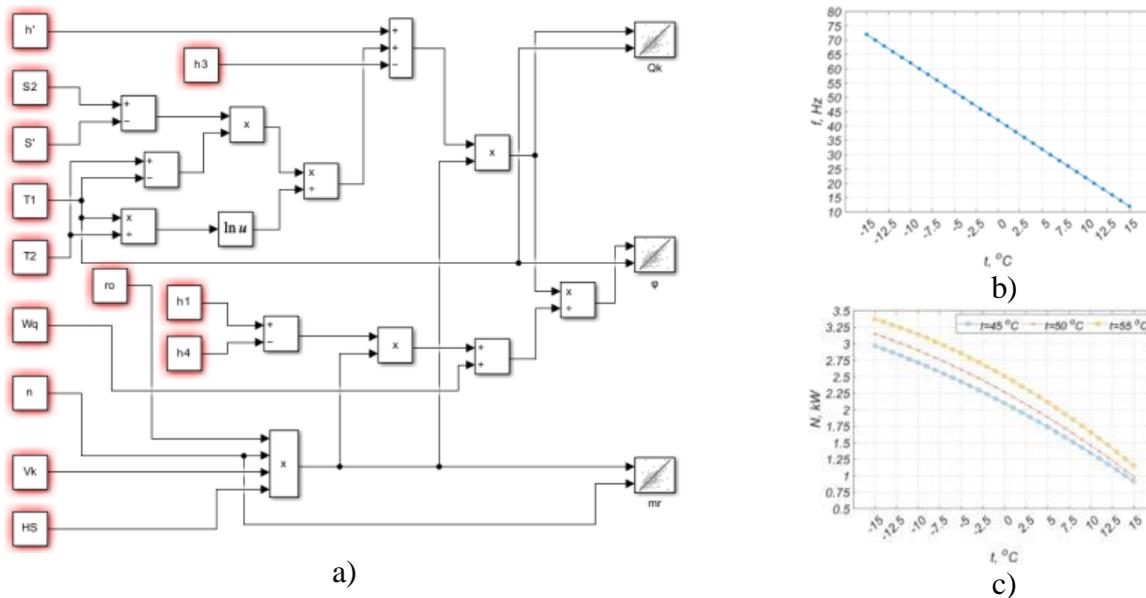


Рис. 7. Блок-схема моделирования парокompрессионного теплового насоса в системе Matlab/Simulink (а), графики изменения частоты двигателя (b) и мощности (с).

На рисунке 8 приведены результаты зависимости изменения температуры окружающей среды от количества тепла в конденсаторе (а) и коэффициента отопления (b). Установлено с помощью моделирования, что при температуре внешней среды от -15 до $+15$ °C и температуре в конденсаторе 45, 50 и 55 °C коэффициент отопления (ϕ) составляет 2,25...5,5, а количество тепла — от 5,5 до 12 кДж.

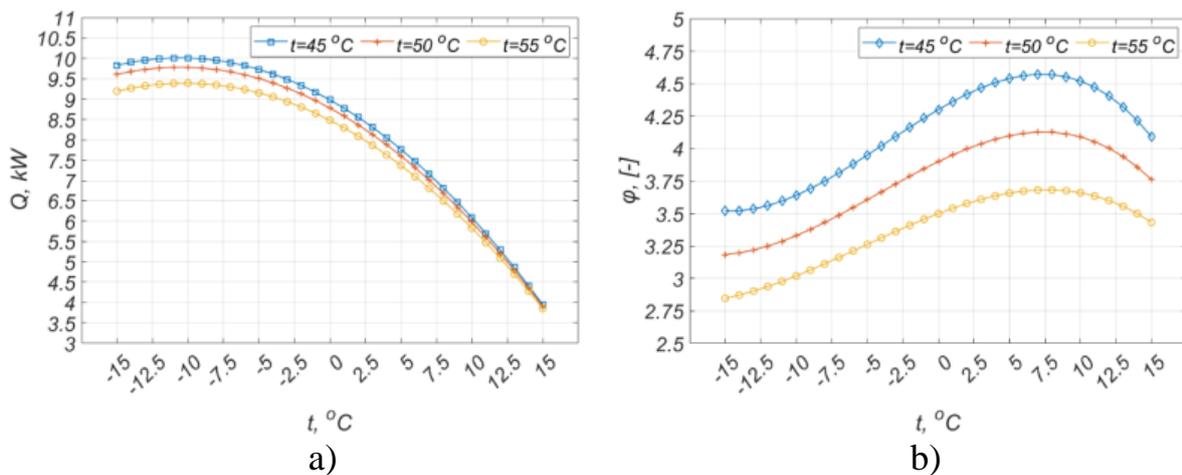


Рис. 8. График влияния изменения температуры окружающей среды на тепловую мощность конденсатора (а) и коэффициент отопления (b).

Для моделирования теплового баланса на рисунке 9 приведена расчётная схема теплового баланса автономной теплицы. Стены автономной теплицы выполнены из стеклянных покрытий толщиной 4 мм, разделённых воздушным слоем толщиной 1 см. Кровля состоит из стеклянных покрытий толщиной 1 см, а фундамент — из бетонной смеси толщиной 30 см. В потолочной части теплицы установлены окна размером $0,8 \times 10$ м с возможностью открытия и закрытия для естественной вентиляции.

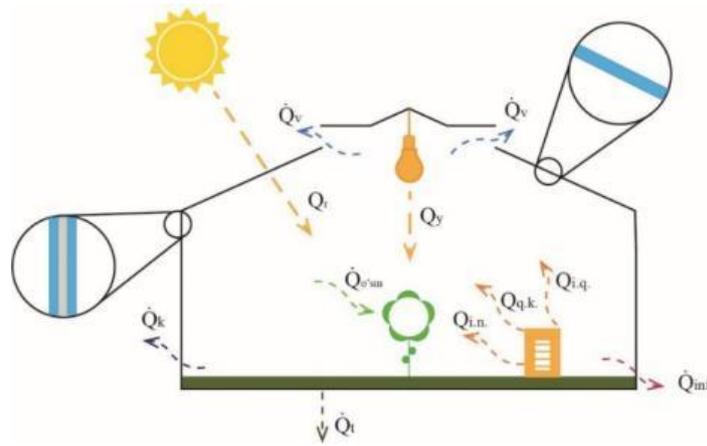


Рис. 9. Расчётная схема теплового баланса автономной теплицы.

Математическая модель теплового баланса исследуемой автономной теплицы выражается следующим уравнением:

$$Q_r + Q_{i.n} + Q_{q.k} + Q_{i.q} = \dot{Q}_v + \dot{Q}_{inf} + \dot{Q}_k + \dot{Q}_t + \dot{Q}_{o'sm} \quad (13)$$

Количество тепла, получаемое через вакуумный солнечный водонагревательный коллектор, определяется по следующей формуле:

$$Q_{q.k} = \sum I \cdot \alpha_{yut} \cdot S \cdot N \cdot \tau \quad (14)$$

при этом: $\sum I$ – суммарное солнечное излучение; α_{yut} – коэффициент поглощения света стеклом; S – поглощающая поверхность одной вакуумной трубки; N – количество вакуумных трубок в одном солнечном водонагревательном коллекторе; τ – время нагрева.

На рисунке 10 приведена схема теплопотерь через стены, крышу и основание двухскатных теплиц (а), а также геометрические размеры вентиляционных окон в крыше (b).

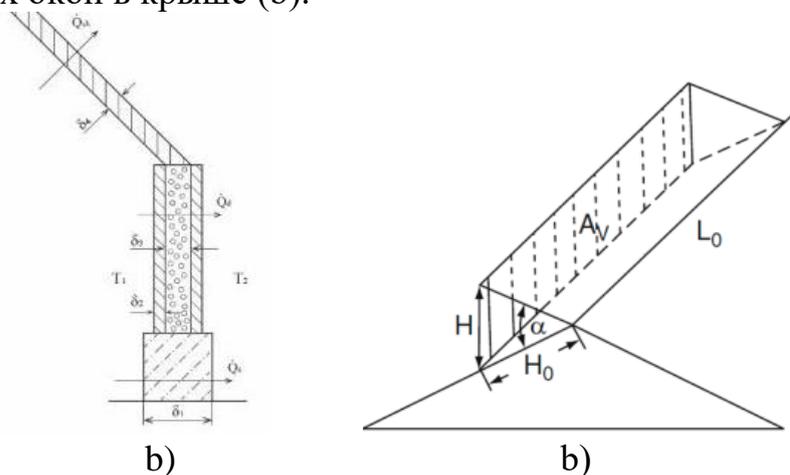


Рис.10. Схема теплопотерь через стены, крышу и основание (а), геометрические размеры вентиляционных окон (b).

Количество тепла, теряемое через стены, крышу и основание теплицы, определяется следующим образом:

$$\dot{Q}_k = \dot{Q}_d + \dot{Q}_{sh} + \dot{Q}_a \quad (15)$$

Количество тепла, теряемое через боковые стены теплицы, зависит от коэффициента теплопередачи, площади боковых стен, а также разницы между внутренней и наружной температурами, и определяется по следующему математическому выражению:

$$\dot{Q}_d = k_d \cdot \sum F_d \cdot (t_1 - t_2) \quad (16)$$

$$k_d = \left(\frac{1}{\alpha_1} + 2 \cdot \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1} \quad (17)$$

$$\sum F_d = 2 \cdot h_2 \cdot L + 2 \cdot h_4 \cdot W + h_3 \cdot W \quad (18)$$

при этом: k_d – коэффициент теплопередачи стены, [Вт/м²·°С]; $\sum F_d$ – общая площадь стен теплицы, [м²]; t_1 – внутренняя температура теплицы, [°С]; t_2 – температура окружающей среды, [°С]; α_1 и α_2 коэффициенты теплоотдачи, [Вт/м²·°С]

Количество тепла, теряемое через основание теплицы, определяется следующим математическим выражением:

$$\dot{Q}_a = k_a \cdot \sum F_a \cdot (t_1 - t_2) \quad (19)$$

$$k_a = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1} \quad (20)$$

$$\sum F_a = 2 \cdot h_1 \cdot (L + W) \quad (21)$$

при этом: k_a – коэффициент теплопередачи основания теплицы, [Вт/м²·°С]; $\sum F_a$ – общая площадь основания теплицы, [м²].

Количество тепла, теряемое через крышу теплицы, определяется следующим математическим выражением:

$$\dot{Q}_{sh} = k_{sh} \cdot \sum F_{sh} \cdot (t_1 - t_2) \quad (22)$$

$$k_{sh} = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1} \quad (23)$$

$$\sum F_{sh} = 2 \cdot M \cdot L \quad (24)$$

при этом: k_{sh} – коэффициент теплопередачи крыши теплицы, [Вт/м²·°С]; $\sum F_d$ – общая площадь крыши теплицы, [м²].

Выражение для определения коэффициента конвективной теплоотдачи с внутренних поверхностей теплицы (для турбулентных потоков) выглядит следующим образом:

$$\alpha_1 = 0,1 \cdot \frac{\lambda_h}{L_p} \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,33} \quad 10^9 \leq Gr \cdot Pr \leq 10^{13} \quad (25)$$

при этом: L_p – длина периметра выбранной стороны, [м]; λ_h – коэффициент теплопроводности воздуха, [Вт/м·°С].

Критерий Грасгофа:

$$Gr = \frac{g \cdot \beta_h \cdot (T_1 - T_c) \cdot L_p^3}{(\frac{\mu_h}{\rho_h})^2} \quad (26)$$

Критерий Прандтля. :

$$Pr = \frac{\mu_h \cdot C_h}{\lambda_h} \quad (27)$$

при этом: C_h – удельная теплоёмкость воздуха, 1005 Дж/кг·°С; g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с².

Кинематическая вязкость (v_{in}) равна отношению динамической вязкости (μ_h) к плотности воздушного потока (ρ_h) и определяется по следующей формуле :

$$v_{in} = \frac{\mu_h}{\rho_h} \quad (28)$$

Температура покрытия конструкции теплицы:

$$T_c = \frac{T_1 + 2 \cdot T_2}{3} \quad (29)$$

Коэффициент объёмного расширения воздушного потока:

$$\beta_h = \frac{2}{T_1 + T_c} \quad (30)$$

Коэффициент конвективной теплоотдачи между наружным воздухом и покрытием теплицы для турбулентных потоков можно рассчитать по следующему уравнению:

$$\alpha_2 = 0,037 \cdot \frac{\lambda_h}{L_p} \cdot (Re)^{0,8} \cdot Pr^{0,33} \quad Re \geq 5 \cdot 10^5 \quad (31)$$

Критерий Рейнольдса:

$$Re = \frac{\rho_h \cdot v_{sh} \cdot L_p}{\mu_h} \quad (32)$$

при этом: v_{sh} – скорость ветра, [м/с].

Количество тепла, теряемое через инфильтрацию, определяется следующим математическим выражением:

$$\dot{Q}_{inf} = \rho_h \cdot C_h \cdot N \cdot V \cdot (T_1 - T_2) \quad (33)$$

при этом: N – уровень инфильтрации для двухслойного стекла — $0,00025 \text{ с}^{-1}$; V – объём теплицы, [м³].

Количество тепла, теряемое через вентиляцию через окна, установленные в крыше теплицы, определяется по следующей формуле.

$$\dot{Q}_V = \rho_h \cdot C_h \cdot V_v \cdot (t_1 - t_2) \quad (34)$$

Расход воздушного потока, возникающего при вентиляции, определяется по следующему математическому выражению в зависимости от геометрических размеров окон на крыше теплицы и скорости ветра:

$$V_v = \frac{A_v}{2} \cdot c_d \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(\frac{H}{4}\right) \cdot \frac{\Delta T}{T_{o'rt}} + c_w \cdot v_{sh}^2} \quad (35)$$

при этом: A_v – площадь вентиляционных окон, [м²]; ΔT – разница температур внутри и снаружи теплицы, [°C]; $T_{o'rt}$ – средняя наружная температура, [°C]; H – вертикальное расстояние между центрами зон входа и выхода воздушного потока, [м]; v_{sh} – скорость ветра, [м/с]; c_w – суммарный коэффициент ветрового давления, 0,1–0,11.

Коэффициент расхода воздушного потока, зависящий от геометрических размеров, определяется следующим выражением:

$$c_d = \frac{1}{\sqrt{1,9+0,7 \cdot \exp\left(-\frac{L_o}{32,5 \cdot H_o \cdot \sin \alpha}\right)}} \quad (36)$$

при этом: L_o – длина стороны вентиляционного окна, [м]; H_o – длина створки вентиляционного окна, [м]; α – угол открытия окна, [град.].

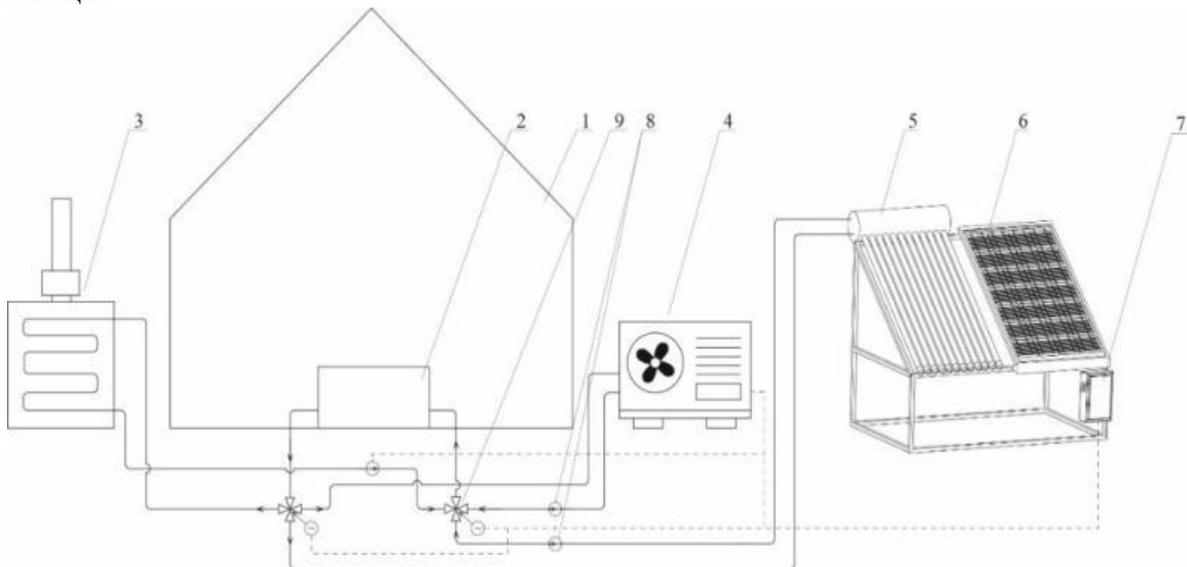
Количество тепла, теряемое через теплообмен с почвой посевной площади теплицы и растениями, определяется по следующему математическому выражению:

$$\dot{Q}_{tup} = \frac{\lambda_{tup}}{H_t} \cdot A_t \cdot (T_1 - T_t) \quad (37)$$

$$\dot{Q}_{o'sm} = k_{o'sm} \cdot F_{o'sm} \cdot (T_{o'sm} - T_1) \quad (38)$$

при этом: H_t – глубина почвы с постоянной температурой, [м]; A_t – площадь почвы, [м²]; $k_{o'sm}$ – коэффициент теплопоглощения растений, Вт/м²·°С; $F_{o'sm}$ – площадь участка с посаженными растениями, [м²].

Для определения тепловых нагрузок исследуемой автономной теплицы на рисунке 11 приведена схема системы энергоснабжения автономной теплицы.



- 1 — теплица; 2 — теплообменник; 3 — теплогенератор (котёл); 4 — тепловой насос;
 5 — солнечный тепловой коллектор; 6 — солнечные фотоэлектрические панели;
 7 — электрический щиток оборудования; 8 — циркуляционные водяные насосы;
 9 — управляемые водяные клапаны.

Рис. 11. Схема системы энергоснабжения автономной теплицы

На основе проведённых расчётов и экспериментов на рисунке 12 приведена динамика изменения тепловой нагрузки теплицы в зависимости от изменения температуры окружающей среды и солнечной радиации. С учётом изменения температуры окружающей среды и теплопотерь в теплице было рассчитано, что за один сезон теплица потребляет 14720 кВт·ч тепловой энергии.

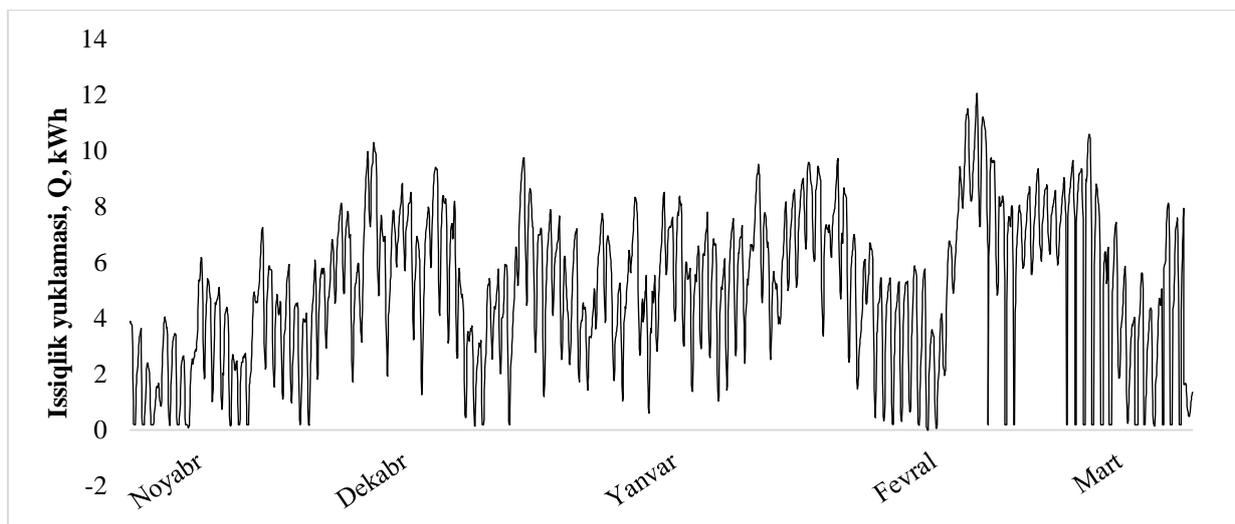


Рис. 12. Динамика изменения тепловой нагрузки теплицы

В рисунке 13 приведён график обеспечения теплицы тепловой энергией. Установлено, что при обогреве теплицы в бессолнечные периоды тепловой насос выработал 11135 кВт·ч тепловой энергии, а в солнечные периоды солнечные водонагревательные коллекторы (6×200 л) — 2225 кВт·ч.

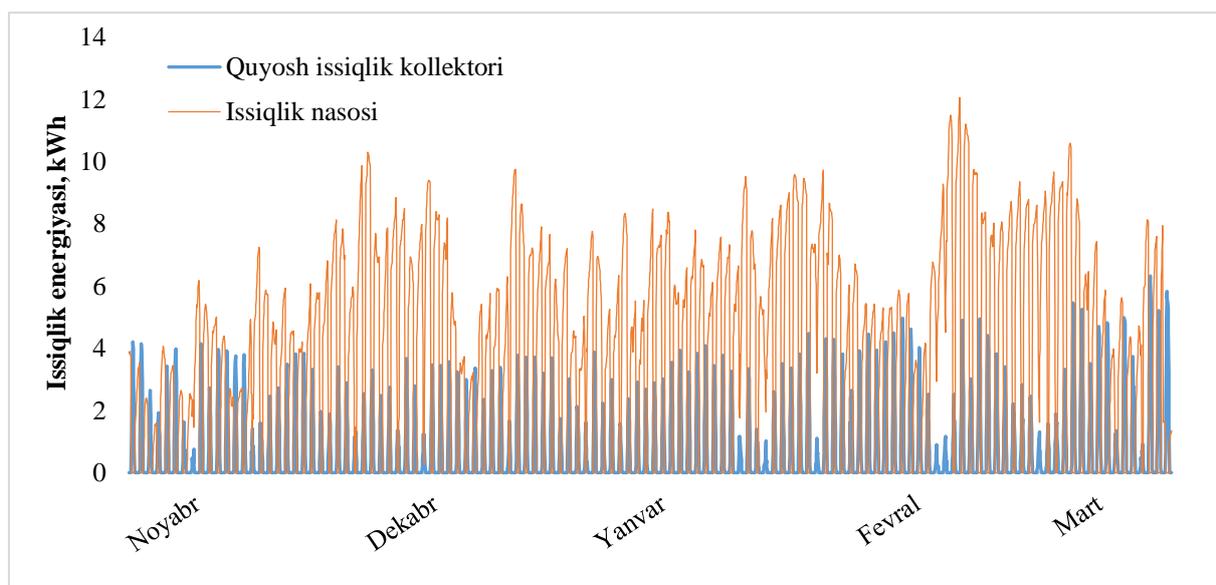


Рис. 13. График обеспечения теплицы тепловой энергией

В третьей главе диссертации, озаглавленной «**Экспериментальные исследования системы энергоснабжения автономной теплицы на основе солнечных и тепловых насосных установок**», представлены: описание экспериментальных установок, методика проведения экспериментов, исследование факторов, влияющих на эффективность солнечных фотоэлектрических панелей и технологии очистки их поверхности от пыли, а также результаты экспериментального исследования процесса отопления теплицы с использованием солнечных и тепловых насосных установок. Система автономного энергоснабжения на основе солнечных и тепловых насосных устройств для двускатной теплицы с полезной площадью 50 м² была разработана и реализована на полигоне «Альтернативные источники энергии» Каршинского государственного технического университета.

В диссертационной работе разработана технология очистки поверхности солнечных фотоэлектрических панелей, устанавливаемых в автономных теплицах. На рисунке 14 (а) приведена диаграмма Санки, отображающая потери энергии в солнечной фотоэлектрической станции мощностью 5 кВт. С помощью этой диаграммы произведён расчёт выработанной электроэнергии солнечными фотоэлектрическими установками. На рисунке 14 (b) предложен инновационный метод очистки поверхности солнечных панелей мощностью 5 кВт от различных видов загрязнений. Согласно предложенному подходу, поверхность панелей очищается водой каждые 10–15 дней, при этом была усовершенствована система повторного использования отработанной или дождевой воды.

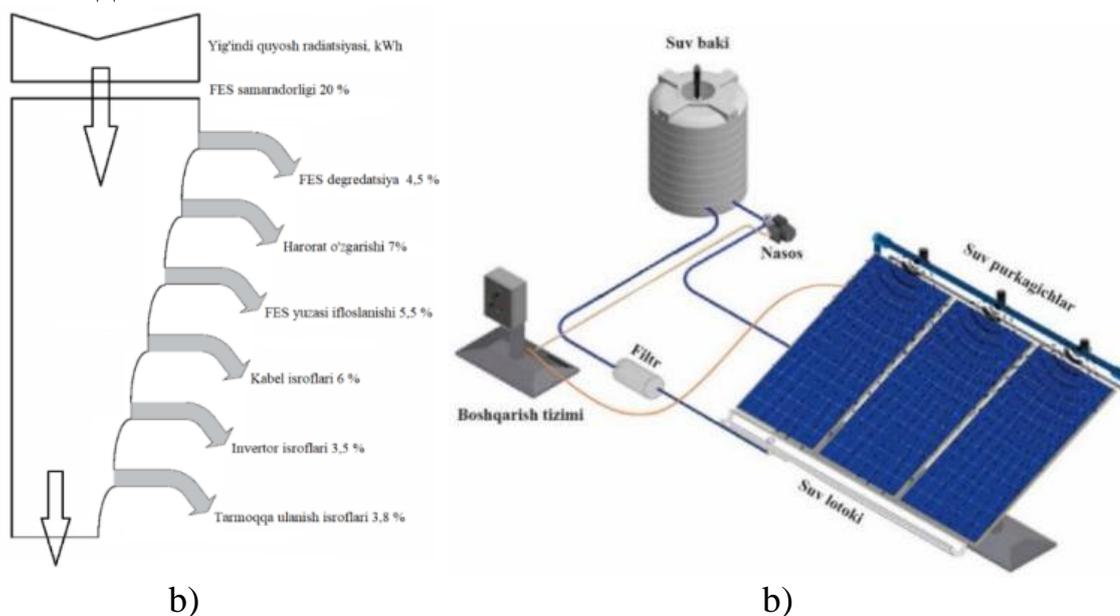


Рис. 14. Диаграмма Санки, отображающая потери энергии в солнечной фотоэлектрической станции (а), технология очистки поверхности солнечных панелей (b)

Производимая с помощью солнечных фотоэлектрических установок электрическая энергия была рассчитана по следующей формуле с использованием диаграммы Санки:

$$E = I_y \cdot S_{pv} \cdot \eta_{opt} \cdot \eta_{is} \cdot \eta_{ch} \cdot \eta_{sif} \cdot \eta_{in} \cdot \eta_{feq} \quad (39)$$

при этом: I_y – суммарная солнечная радиация, W/m^2 ; S_{pv} – поверхность солнечных фотоэлектрических панелей, ($26 m^2$); η_{is} – тепловые потери (0,93); η_{ch} – загрязнение поверхности ФЭС (0,945); η_{sif} – деградация ФЭС (0,955); η_{in} – коэффициент полезного действия инвертора (0,965); η_k – потери в кабелях (0,94); η_t – потери при подключении к сети (0,962); η_{feq} – коэффициент полезного действия солнечного фотоэлектрического устройства (0,2).

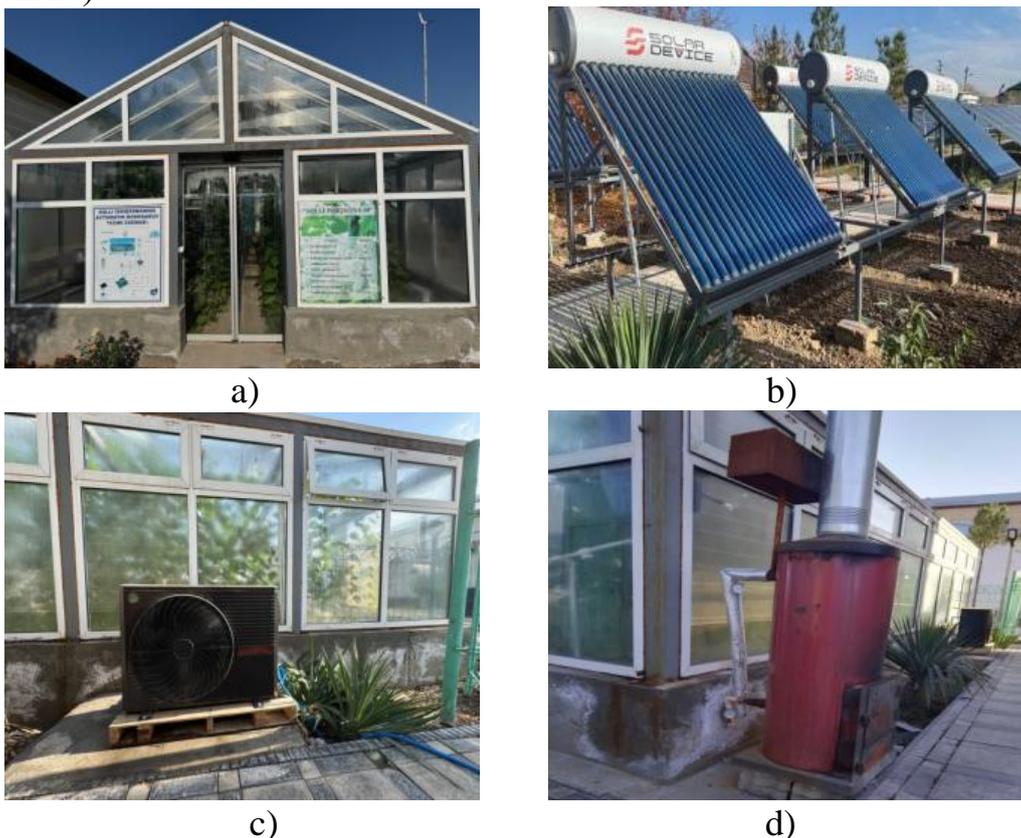
На рисунке 15 представлены запылённость поверхности солнечных фотоэлектрических панелей (а) и технология очистки (b). В климатических условиях города Карши в период с 15 ноября 2023 года по 15 марта были проведены измерительные эксперименты. Исследования проводились для двух солнечных электростанций мощностью по 5 кВт — в условиях

очищенной и неочищенной поверхности панелей. Установлено, что в течение данного сезона солнечные фотоэлектрические панели в очищенном состоянии произвели 1160 кВт·ч электроэнергии, что на 10 % больше по сравнению с панелями с неочищенной поверхностью.



Рис. 15. Запылённость поверхности солнечных фотоэлектрических панелей (а) и система очистки (б)

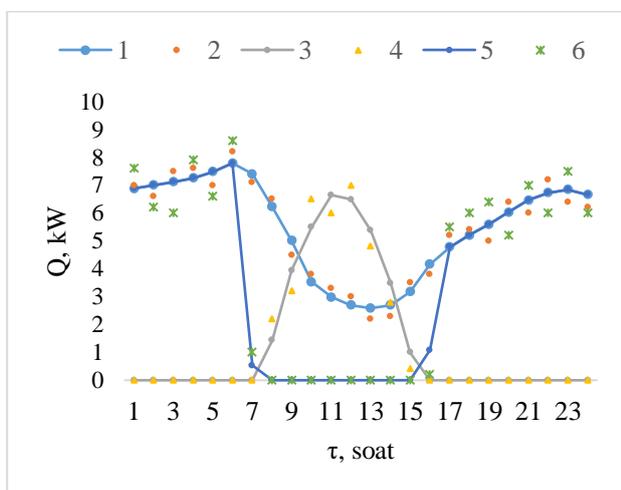
Для проведения исследований в естественных условиях на объекте эксперимента, исходя из переменных климатических особенностей города Карши, на полигоне «Альтернативные источники энергии» была построена двускатная теплица со стеклянным покрытием и полезной площадью 50 м² (рисунок 16).



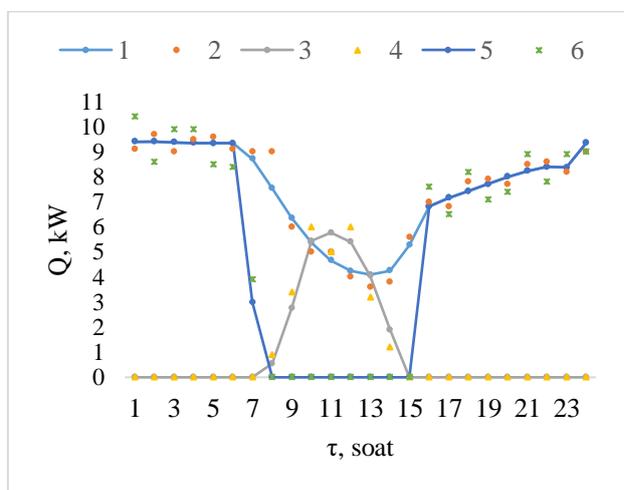
b - солнечные водонагревательные коллекторы; c - парокомпрессорный тепловой насос;
d - отопительный котел

Рис. 16. Солнечный водонагревательный коллектор и автономная теплица с тепловым насосом

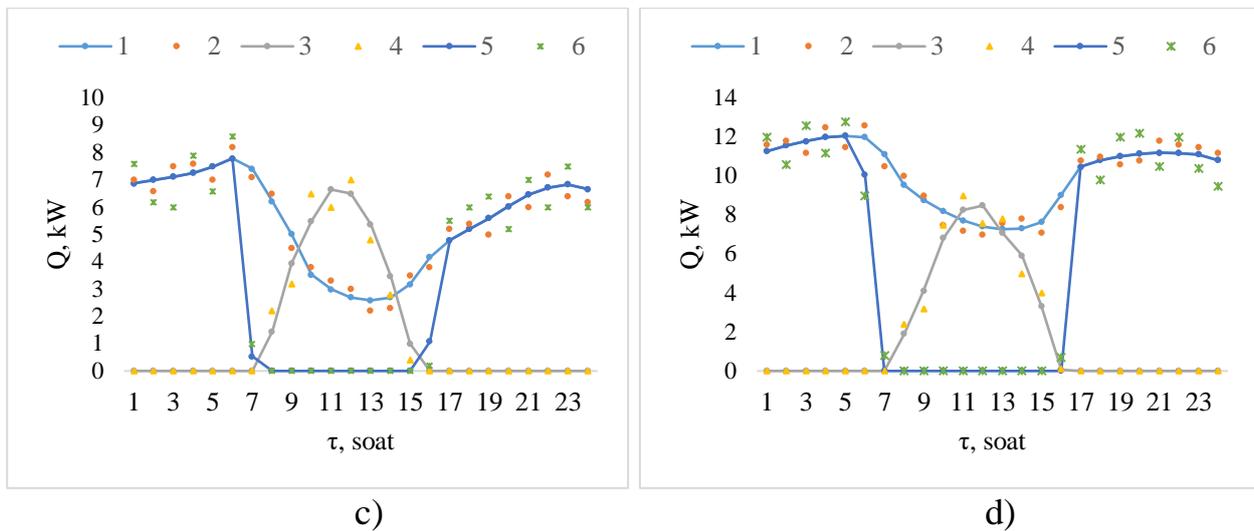
В климатических условиях города Карши были проведены экспериментальные исследования тепловой нагрузки автономной теплицы с солнечным водонагревательным коллектором и парокомпрессорным тепловым насосом. На рисунке 17 приведены результаты эксперимента, проведённого 20 ноября (а) и 20 декабря 2023 года, а также 20 января и 20 февраля 2024 года. Исследования проводились с интервалом в 1 час в течение суток. На рисунке 17 (а) установлено, что с 9:00 до 17:00 температура окружающей среды в районе, где расположена теплица, составляла от 18 до 22 °С, и в этот период отопление теплицы осуществлялось полностью за счёт солнечной радиации. В остальное время при снижении температуры на 10 °С для отопления применялись солнечные тепловые коллекторы и тепловой насос. На рисунке 17 (б) установлено, что в течение суток наружная температура колебалась от -4 до +8,5 °С, а тепловая нагрузка теплицы — от 4,10 до 9,4 кВт·ч. В этот день для отопления было использовано 178,5 кВт·ч тепловой энергии, из которых 130,5 кВт·ч обеспечено теплонасосом во внесолнечные часы, а оставшиеся 48 кВт — солнечными тепловыми коллекторами. На рисунке 17 (с) установлено, что в течение суток наружная температура колебалась от -0,5 до +12,5 °С, а тепловая нагрузка — от 2,5 до 7,8 кВт·ч. 20 января для отопления использовано 132,35 кВт·ч тепловой энергии, в том числе 93,48 кВт·ч — от теплонасоса в отсутствие солнечного излучения, и 38,87 кВт·ч — от солнечной радиации и солнечных коллекторов. На рисунке 17 (д) установлено, что в течение суток наружная температура составляла от -9,5 до +0,8 °С, а тепловая нагрузка — от 7,28 до 12,1 кВт·ч. 20 февраля на отопление теплицы было израсходовано 242,56 кВт·ч тепловой энергии, из них 156,58 кВт·ч обеспечено тепловым насосом в пасмурное время и 85,98 кВт·ч — солнечной радиацией и солнечными тепловыми коллекторами.



b)



b)



1,3,5 – расчетные результаты; 2,4,6 – экспериментальные результаты

Рис. 17. Результаты экспериментальных исследований в теплице

В таблице 1 приведены расчетные и экспериментальные данные тепловой нагрузки теплицы, а также количества тепла, вырабатываемого тепловыми коллекторами и тепловыми насосами, и показатели сравнения (валидации). По результатам сравнения установлено хорошее соответствие между расчетными и экспериментальными данными.

Таблица 1.

Тесты соответствия (Goodness Of Fit Test)

| Параметры | Дата проведения эксперимента | χ^2 | RMSE | R ² | МВЕ |
|------------------------------|------------------------------|----------|------|----------------|------|
| Тепловая нагрузка | 20 ноября 2023 г. | 1,02 | 0,2 | 0,98 | 0,04 |
| | 20 декабря 2023 г. | 0,64 | 0,42 | 0,97 | 0,18 |
| | 20 января 2024 г. | 0,72 | 0,39 | 0,97 | 0,15 |
| | 20 февраля 2024 г. | 0,54 | 0,47 | 0,96 | 0,22 |
| Солнечный тепловой коллектор | 20 ноября 2023 г. | 1,69 | 0,40 | 0,98 | 0,16 |
| | 20 декабря 2023 г. | 1,04 | 0,36 | 0,98 | 0,12 |
| | 20 января 2024 г. | 1,03 | 0,39 | 0,98 | 0,15 |
| | 20 февраля 2024 г. | 0,77 | 0,42 | 0,98 | 0,18 |
| Тепловой насос | 20 ноября 2023 г. | 2,37 | 0,42 | 0,95 | 0,17 |
| | 20 декабря 2023 г. | 1,15 | 0,58 | 0,98 | 0,34 |
| | 20 января 2024 г. | 2,43 | 0,63 | 0,97 | 0,4 |
| | 20 февраля 2024 г. | 1,08 | 0,7 | 0,98 | 0,5 |

В четвертой главе диссертации под названием «Технико-экономическое обоснование эффективности использования солнечных и теплонасосных установок в автономных теплицах» приведены схема электроснабжения и управления автономной теплицы на основе интегрированных в сеть солнечных фотоэлектрических станций, а также

анализ технико-экономических показателей солнечных и тепловых насосных установок.

Для обеспечения электроэнергией двухскатной теплицы с полезной площадью 50 м² была использована солнечная электростанция мощностью 5 кВт, интегрированная в электрическую сеть. Станция работает параллельно с однофазной электрической сетью и обеспечивает электропитание электрического оборудования теплицы. На рисунке 19 представлена схема электроснабжения и управления автономной теплицы.

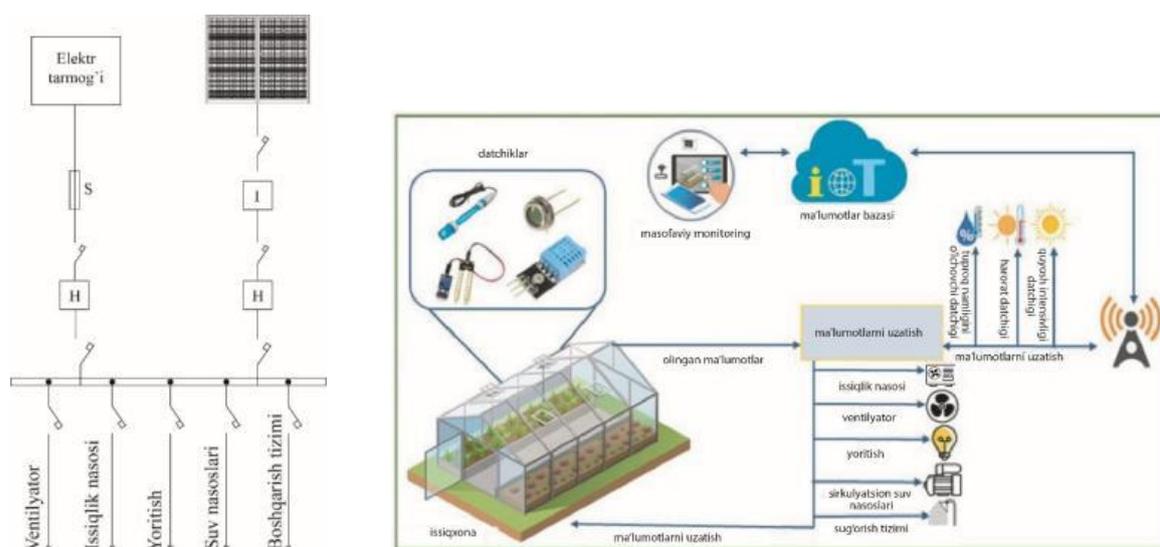


Рис. 19. Схема электроснабжения и управления автономной теплицы

В таблице 2 приведены оценки технико-экономических показателей автономной системы энергоснабжения теплицы в зимний сезон с 15 ноября 2023 года по 15 марта 2024 года.

Таблица 2.

Технико-экономические показатели автономной системы энергоснабжения теплицы

| № | Показатели | Количество |
|----|---|------------|
| 1 | Тепловая нагрузка теплицы, кВт*ч | 14720 |
| 2 | Потребление электрической энергии теплицей, кВт*ч | 5640 |
| 3 | Отопительная мощность теплового насоса, кВт | 9,5 |
| 4 | Коэффициент эффективности теплового насоса (COP) | 2,75...4,5 |
| 5 | Количество тепловой энергии, выработанной тепловым насосом, кВт*ч | 11135 |
| 6 | Количество тепловой энергии, выработанной отопительным котлом, кВт*ч | 100 |
| 7 | Количество тепловой энергии, выработанной солнечным тепловым коллектором, кВт*ч | 2225 |
| 8 | Мощность солнечной фотоэлектрической станции, кВт | 5 |
| 9 | Количество электрической энергии, выработанной солнечными панелями, кВт*ч | 1160 |
| 10 | Общая сумма затрат на оборудование, млн. сум | 135 |

В таблице 3 представлены результаты сравнения экономических показателей традиционной системы и разработанной системы энергоснабжения автономной теплицы с двускатной конструкцией площадью 50 м².

Таблица 3.

Сравнительные показатели автономных теплиц

| № | Показатели | Система с солнечным коллектором и тепловым насосом (СК и ТН) | Электрическая система отопления |
|---|--|--|---------------------------------|
| 1 | Выработанная тепловая энергия, кВт*ч | 14720 | 14720 |
| 2 | Потребленная электрическая энергия, кВт*ч | 2700 | 14720 |
| 3 | Балансовая стоимость отопительной системы, млн сум | 135 | 20 |
| 4 | Амортизационные отчисления, млн сум | 0,68 | 0,4 |
| 5 | Расходы на текущий ремонт, млн сум | 1,01 | 0,6 |
| 6 | Расходы на топливо, млн сум | 0,1 | - |
| 7 | Расходы на электроэнергию, млн сум | 2,7 | 22 |
| 8 | Эксплуатационные расходы, млн сум | 1,8 | 23 |

Показатели экономической эффективности системы энергоснабжения автономной теплицы были оценены методом «чистой дисконтированной стоимости», в частности: чистая текущая стоимость (NPV) составила 135 млн сумов, внутренняя норма доходности (IRR) — 10 %, индекс прибыли (PI > 1) — 2,03.

Таким образом, анализ результатов проведённых исследований и технико-экономических расчётов в автономной теплице с солнечным водонагревательным коллектором и парокомпрессорным тепловым насосом показал, что предложенная система теплоснабжения позволяет сэкономить 52990 МДж тепловой энергии и 2,26 тонны условного топлива за один отопительный сезон.

ВЫВОДЫ

На основе проведённых исследований, по решению поставленных в диссертации задач, были предложены следующие выводы:

1. Разработана технологическая схема системы автономного энергоснабжения теплицы на основе солнечной фотоэлектрической станции, оснащённой технологией очистки поверхности солнечных фотоэлектрических панелей, комбинированного солнечного теплового коллектора и устройств с теплонасосом, использующих энергию солнечного излучения.

2. Впервые разработана система автономного энергоснабжения теплицы на основе солнечной фотоэлектрической станции, интегрированной с электрической сетью, оснащённой технологией очистки поверхности солнечных фотоэлектрических панелей с фильтрами для переработки сточных вод, комбинированного солнечного коллектора и устройств с теплонасосом (№FAP2431).

3. На основе моделирования обосновано, что для указанных месяцев оптимальные параметры теплицы составляют $\gamma_{opt}=45^\circ$, $\beta_{opt}=50^\circ$, а максимальное среднее суммарное солнечное излучение равно $\sum I_{max}=36660$ МДж.

4. Разработана имитационная модель зависимости коэффициента отопления и тепловой мощности теплонасоса типа «воздух-вода» TMN1-F90BER при отоплении теплицы от температуры внешней среды. При температуре окружающей среды от -15 до $+15$ °С и температуре в конденсаторе 45, 50 и 55 °С коэффициент нагрева составил 2,25...5,5.

5. В климатических условиях города Карши тепловая нагрузка теплицы с полезной площадью 50 м² и двускатной конструкцией в период с 15 ноября 2023 года по 15 марта 2024 года была определена с учётом температуры окружающей среды, солнечной радиации и тепловых потерь в теплице. Согласно результатам, за данный сезон теплица потребила 14720 кВт·ч тепловой энергии. Исследования показали, что 11135 кВт·ч обеспечено тепловым насосом, 2225 кВт·ч солнечным тепловым коллектором, 100 кВт·ч тепловым котлом, а остальное количество за счёт солнечного излучения.

6. В энергосберегающей технологии очистки поверхности солнечных фотоэлектрических панелей, устанавливаемых в автономных теплицах, были внесены усовершенствования. Путём эксперимента были определены энергетические показатели двух солнечных электростанций мощностью по 5 кВт в период с ноября 2023 года по март 2024 года в состоянии, покрытом пылью, и после очистки от пыли. В результате установлено, что в указанный период появилась возможность повышения эффективности солнечных фотоэлектрических панелей на 2...6 %, а также создания возможности дополнительного производства 1160 кВт·ч электроэнергии.

7. В течение отопительного сезона за счёт использования автономной системы отопления в теплице удалось сэкономить 1835 м³ природного газа и 2,26 тонна условного топлива, а также снизить выбросы в окружающую среду на 3395 кг CO₂, возникающие при сгорании природного газа. Показатели экономической эффективности системы энергоснабжения теплицы были оценены с использованием метода дисконтирования. Согласно результатам, чистая текущая стоимость составила 138,7 млн сумов, внутренняя норма доходности 10 %, индекс прибыли 2,03, а срок окупаемости 6,4 года.

**SCIENTIFIC COUNCIL PhD.03/30.09.2020. T.111.03 ON AWARDING
SCIENTIFIC DEGREES AT
KARSHI STATE TECHNICAL UNIVERSITY
KARSHI STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

RAKHMATOV OBID IBOD UGLI

**SOLAR HEAT-PUMP ENERGY SUPPLY SYSTEM
FOR AUTONOMOUS GREENHOUSES**

05.05.06 – Power plants on the basis of renewable energy

**ABSTRACT OF DOCTOR OF PHILOSOPHY DISSERTATION (PhD)
ON TECHNICAL SCIENCES**

KARSHI – 2025

Theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) in technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under B2024.2.PhD/T5112.

Dissertation has been prepared at Karshi State Technical University.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of the scientific council (www.qmii.uz) and on Information and education portal “Ziyonet” (www.ziyonet.uz).

Scientific supervisor: **Safarov Alisher Bekmurodovich**
doctor of philosophy in technical sciences, docent

Official opponents: **Yuldoshev Isroil Abrievich**
doctor of technical sciences, professor

Fayziyev To'lqin Amirovich
candidate of technical sciences, professor

Leading organization: **Bukhara State University**

The defense of PhD dissertation will take place _____ “_____” 2025 at _____ at the meeting of the Scientific Council PhD.03/30.09.2020.T.111.03 at Karshi State Technical University. (Address: 180100, Uzbekistan, Karshi city, Mustakillik street, 225. Conference hall of the Karshi State Technical University. Phone: (+99875) 224-02-89; Fax: (+99875) 224-13-95, e-mail: kstu@kstu.uz).

The PhD thesis can be founded at the Information-resource Center of Karshi State Technical University (registered with number _____). Address: 180100, Uzbekistan, Karshi city, Mustakillik street, 225. Karshi State Technical University. Phone: (+99875) 224-02-89; Fax: (+99875) 224-13-95, e-mail: kstu@kstu.uz).

Abstract of dissertation sent on “_____” _____ 2025 year.
(Register of the distribution protocol on “_____” _____ 2025 year).

G.N. Uzakov

Chairman of the Scientific council on awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, professor.

X.A. Davlonov

Scientific secretary of scientific council for awarding Scientific degrees, doctor of philosophy of technical sciences, docent

B.E. Xayriddinov

Chairman of scientific Seminar under the scientific council for awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, professor.

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The purpose of the study design and performance justification of an autonomous energy supply system for a double-pit greenhouse under variable climatic conditions, based on solar power and heat pump devices.

Tasks of research:

develop the technological scheme of an autonomous energy supply system for greenhouses based on solar power and heat pump devices.

physically and mathematically model a double-pit autonomous greenhouse and substantiate its operational parameters.

model the heat pump system for the autonomous greenhouse and study its energy performance indicators.

model the heat balance of the double-pit autonomous greenhouse and calculate its thermal-technical parameters.

investigate the efficiency of photovoltaic systems in the autonomous greenhouse and enhance the technology for cleaning the panel surfaces.

assess the technical-economic feasibility and energy efficiency of a combined solar-heat pump autonomous greenhouse energy supply system.

The object of the study autonomous greenhouse powered by solar photovoltaic and heat pump technologies, along with its complete energy supply system

The scientific novelty of the research is as follows:

an enhanced energy-saving technological scheme was developed for a double-pit autonomous greenhouse integrating solar photovoltaic and heat-pump equipment, ensuring reliable operation under variable climatic conditions.

an autonomous energy supply system was designed (project No. FAP2431), comprised of: solar photovoltaic panels with two-stage water-filtration and automatic control systems, panel-surface dust-cleaning devices, heat pumps, and vacuum solar collectors.

a mathematical model was formulated to determine the maximum total solar radiation incident on the double-pit autonomous greenhouse. This model incorporates: spatial coordinates of the greenhouse, the sun's trajectory, transparent covering materials, and the optimal structural dimensions of the greenhouse.

a balance-equation-based mathematical model was developed to predict energy loads in the autonomous greenhouse under varying climate conditions. It accounts for fluctuations in solar radiation, external air temperature, wind speed; thermal and electrical losses inside the greenhouse; and parameters of both the heat pump and solar energy equipment.

Implementation of the research results. Based on the scientific findings on developing an autonomous energy supply system for greenhouses equipped with solar photovoltaic and heat-pump technologies:

a utility model patent (No. FAP 2431) was granted by the Intellectual Property Center of the Republic of Uzbekistan on March 6, 2024, for the autonomous energy supply system designed for the greenhouse. As a result, a reliable, energy-efficient system using solar and heat-pump devices was created to provide heating and electricity.

the developed solar-heat-pump energy supply system was implemented at “Fayzullayev Muxiddin” LLC (a farm), as per the official certification (Ministry of Agriculture of Uzbekistan, Reference No. 05/04-04-254, dated May 26, 2025). Through its deployment over a single production season, the system achieved savings of: 1,835 m³ of natural gas, equivalent to 2,260 conventional fuel units, or a reduction of about 3,395 kg of CO₂ emissions compared to traditional heating systems.

Approbation of the research results. The research findings were discussed at 4 international and 3 republican scientific–practical conferences.

Publication of the research results. Based on the dissertation topic, 19 scientific works were published; among them, articles in 2 international and 4 national journals were officially recommended by the Uzbekistan Higher Attestation Commission for presenting doctoral-level scientific contributions. Intellectual property protection includes a utility model patent (No. FAP 2431) granted by the Intellectual Property Center (under the Ministry of Justice) for the solar–heat-pump greenhouse system and three author’s certificates for software products developed during the research.

The structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and applications. The volume of the dissertation is 120 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I-bo'lim (I часть; I part)

1. Uzoqov G'.N., Safarov A.B., Raxmatov O.I., Davlonov X.A., Mamedov R.A. Avtonom issiqxona // Foydali modelga patent. № FAP 2431. 06.03.2024.
2. Safarov A.B., Raxmatov O.I. Quyosh fotopanellarining samaradorligiga ta'sir qiluvchi omillarni tadqiq qilish // Innovatsion texnologiyalar. – 2024. 2(54)-son. 107-113 betlar. (05.00.00; №38).
3. Safarov A.B., Raxmatov O.I. Geotermal issiqlik nasosi kondensatorining issiqlik almashinuv jarayonlarini modellashtirish // Fan va texnologiyalar taraqqiyoti. – 2024. №6. 35-38 b. (05.00.00; №24).
4. Uzoqov G'.N., Safarov A.B., Raxmatov O.I. TMN1-F90BER markali issiqlik nasosini Matlab/Simulink tizimida modellashtirish // Energiya va resurs tejash muammolari. – 2024. №86. 114-122 b. (05.00.00; №21).
5. Raxmatov O.I. Quyosh qurilmali va issiqlik nasosli avtonom issiqxonani issiqlik balansini tadqiq qilish // Muqobil energetika. – 2025. №1. 31-39 b. (05.00.00).
6. Safarov A.B., Raxmatov O.I. Modeling of solar and heat pump energy supply systems for autonomous greenhouses // IJSRA. 15(02), 2025, pp. 559-567. (Index Copernicus, CrossRef) DOI: <https://doi.org/10.30574/ijrsra.2025.15.2.1411>

II-bo'lim (II часть;; II part)

7. Raxmatov O.I., Toshboyev A.R. Quyosh panellari sirti changlanaganlik miqdorining qurilma samaradorligiga bog'liqlik matematik modeli // O'zbekiston Respublikasi adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi. Guvohnoma № DGU 30162, 30.11.2023 y.
8. Safarov A.B., Raxmatov O.I. Ikki qiya konstruksiyali avtonom issiqxonaning issiqlik balansini modellashtirish // O'zbekiston Respublikasi adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi. Guvohnoma № DGU 43861. 13.11.2024 y.
9. Safarov A.B., Raxmatov O.I. Issiqxonalarni optimal orientatsiyasi va konstruktiv o'lchamlarini aniqlash dasturi // O'zbekiston Respublikasi adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi. Guvohnoma № DGU 42752 08.10.2024 y.
10. Safarov A.B., Raxmatov O.I., Uzakova Yu.G. Autonomous heat-cooling and power supply system based on renewable energy devices (trigeneration system) // BIO Web of Conferences, 02 (2023) CIBTA-II-2023 (**Scopus**) DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237102030>
11. Safarov A.B., Raxmatov O.I., Norboyev Z.X. Quyosh panellarini matlab/simulink tizimida modellashtirish // Farg'ona politexnika instituti "Kelajak samarali energetikasi: muammolar va yechimlar" xalqaro ilmiy texnik anjumani materiallari to'plami 14-15-dekabr Farg'ona. 233-237-b.
12. Safarov A.B., Raxmatov O.I., Qashqadaryo viloyatida quyosh energiyasidan foydalanish imkoniyatlari tadqiqoti // "Innovatsion texnika va

texnologiyalarning qishloq xo'jaligi oziq-ovqat tarmog'idagi muammo va istiqbollari" mavzusidagi IV Xalqaro ilmiy-texnik anjumani ilmiy ishlar to'plami 26-27 aprel, Toshkent-2024, 449 - 451 b.

13. Davlonov X.A., Raxmatov O.I. Toshboyev A.R. Aqlli issiqxona // "Energetika kompleksining dolzarb muammolari: ishlab chiqarish, uzatish va ekologiya" mavzusidagi xalqaro ilmiy-texnik anjumani materiallari, Qarshi shahri, 381-385-b.

14. Uzoqov G'.N., Safarov A.B., Raxmatov O.I., Davlonov X.A. Avtonom gelioissiqxonalarning o'zgaruvchan iqlim sharoitlarida energiya samaradorligini oshirish // "Energetika kompleksining dolzarb muammolari: ishlab chiqarish, uzatish va ekologiya" mavzusidagi xalqaro ilmiy-texnik anjumani materiallari to'plami 25-26 aprel 2024-yil, Qarshi shahri, 505-511-b.

15. Raxmatov O.I. Kombinatsiyalashgan energetik qurilmali avtonom gelioissiqxonalarning texnik-iqtisodiy samaradorligini baholash // "Avtomatlashtirish tizimlari va yashil energetika muammolari: ishlab chiqarishda, fan va ta'limda" Qarshi-2024 yil, 18-19 oktabr.

16. Safarov A.B., Raxmatov O.I. Quyosh fotoelektr panellarining sirtini avtomatik tozalash texnologiyasini takomillashtirish // "Muqobil energiya manbalaridan foydalanish muammolari va yechimlari" xalqaro ilmiy-texnikaviy konferensiya materiallari to'plami. Qarshi-2024 yil, 1-2 noyabr.

17. Рахматов О.И. Способ повышения эффективности и выработки электроэнергии солнечных панелей // Muqobil energetika 3-son, 2023, 26-30 b.

18. Safarov A.B., Raxmatov O.I. Modeling of heat balance equations for an autonomous greenhouse // International conference on Advance science and technology. Volume 01, Issue 11, 2024, pp. 23-26. (United Kingdom, London).

19. Safarov A.B., Raxmatov O.I. Development And Research Of Surface Cleaning Technology Of Solar Photoelectric Panels // IJARSET. Vol. 11, Issue 10, 2024, pp. 22319- 22325 <http://www.ijarset.com/upload/2024/october/3-a-safarov-07.pdf>

Avtoreferat “Muqobil energetika” ilmiy jurnali
tahririyatida tahrirdan o‘tkazildi va o‘zbek, rus, ingliz (tezis)
tillaridagi matnlar mosligi tekshirildi (10.07.2025-y.)

Bosmaga ruxsat etildi: 15.09.2025-yil
Bichimi 60x45 $\frac{1}{8}$, “Times New Roman” garniturada
raqamli bosma usulida bosildi.
Shartli bosma tabog‘i 3,62 Adadi: 80. Buyurtma:№83
QarDTU “INTELLEKT” nashriyoti MIU bosmaxonasida chop etildi.
Manzil: Qarshi shahri, Mustaqillik shox ko‘chasi, 225–uy.