

**QARSHI MUHANDISLIK-IQTISODIYOT INSTITUTI  
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI  
PhD.03/30.09.2020.T.111.03 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**FIZIKA-TEXNIKA INSTITUTI**

**XOLOV UYG‘UN RAUFOVICH**

**AVTONOM FOTOELEKTRIK QURILMALARNING ENERGIYA  
TA‘MINOTI ISHONCHLILIGINI OSHIRISH VA ENERGIYA  
YO‘QOTISHLARNI TAJRIBADA ANIQLASH**

**05.05.06 – Qayta tiklanadigan energiya turlari asosidagi energiya qurilmalari**

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

**QARSHI – 2024**

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi  
avtoreferati mundarijasi**  
**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по  
техническим наукам**  
**Contents of the Dissertation Abstract of Philosophy of Doctor (PhD) on  
technical sciences**

**Xolov Uyg'un Raufovich**

Avtonom fotoelektrik qurilmalarning energiya ta'minoti ishonchligini  
oshirish va energiya yo'qotishlarni tajribada aniqlash..... 3

**Холов Уйгун Рауфович**

Экспериментальное определение потерь энергии и повышение  
надежности автономных фотоэлектрических установок ..... 21

**Kholov Uygun Raufovich**

Increasing the reliability of the energy supply of autonomous photoelectric  
devices and experimental determination of energy losses..... 41

**E'lon qilingan ishlar ro'yxati**

Список опубликованных работ  
List of published works..... 45

**QARSHI MUHANDISLIK-IQTISODIYOT INSTITUTI  
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI  
PhD.03/30.09.2020.T.111.03 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**FIZIKA-TEXNIKA INSTITUTI**

**XOLOV UYG‘UN RAUFOVICH**

**AVTONOM FOTOELEKTRIK QURILMALARNING ENERGIYA  
TA‘MINOTI ISHONCHLILIGINI OSHIRISH VA ENERGIYA  
YO‘QOTISHLARNI TAJRIBADA ANIQLASH**

**05.05.06 – Qayta tiklanadigan energiya turlari asosidagi energiya qurilmalari**

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

**QARSHI – 2024**

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida № B2020.2.PHD/T1640 raqam bilan ro'yxatga olingan.**

Dissertatsiya Fizika-texnika institutida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (резюме)) Ilmiy kengash veb-sahifasida ([kiei\\_info@edu.uz](mailto:kiei_info@edu.uz)) va «Ziyonet» Axborot ta'lim portalida ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) joylashtirilgan.

**Ilmiy rahbar:**

**Tursunov Muxamad Nishanovich**  
texnika fanlari doktori

**Rasmiy opponentlar:**

**Mirzayev Shavkat Mustakimovich**  
texnika fanlari doktori, professor

**Payzullaxanov Muxammed-Sultanxon**  
**Saydivalixonovich**  
texnika fanlari doktori, k.i.x.

**Yetakchi tashkilot:**

**Guliston davlat universiteti**

Dissertatsiya himoyasi Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti huzuridagi falsafa doktori ilmiy darajasini beruvchi PhD.03/30.09.2020.T.111.03 raqamli Ilmiy kengashning 2024 yil 25 04 soat 10:00 dagi majlisida bo'lib o'tadi. Manzil: 180100, Qarshi sh. Mustaqillik ko'ch. 225-uy Tel. (99875) 224-02-89, faks: (99875) 224-13-95, e-mail: [kiei\\_info@edu.uz](mailto:kiei_info@edu.uz)

Dissertatsiya bilan Qarshi muhandislik-iqtisodiyot institutining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (№ 07 raqami bilan ro'yxatga olingan). Manzil: 180100, g. Qarshi sh. Mustaqillik ko'ch. 225-uy Tel: (99875) 224-02-89, faks: (99875) 224-13-95, e-mail: [kiei\\_info@edu.uz](mailto:kiei_info@edu.uz)

Dissertatsiya avtoreferati 2024 yil «25» 03 kuni tarqatildi.  
(2024 yil «25» 03 dagi № 18 raqamli reestr bayonnomasi).

  
**G.N. Uzoqov**  
Ilmiy darajalar beruvchi  
Ilmiy kengash raisi,  
t.f.d., professor

**X.A. Davlonov**  
Ilmiy darajalar beruvchi  
Ilmiy kengash kotibi,  
t.f.d., professor

**B. Urishev**  
Ilmiy darajalar beruvchi  
Ilmiy kengash qoshidagi  
Ilmiy seminar raisi, t.f.d.,  
professor

## KIRISH (Falsafa doktori (PhD) dissertatsiya annotatsiyasi)

**Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zaruriyati.** Jahonda qayta tiklar " an energiya manbalaridan foydalanish imkoniyatlarini kengaytirish, an'ar yoqilg'i-energiya zahiralari tejash, atrof-muhitga chiqadigan antropogen chiqindilarni kamaytirish muammolarini bartaraf etishda quyosh fotoelektrik batareyalarini joriy etish va samaradorligini oshirish masalalariga alohida ahamiyat berilmoqda. Hozirgi kunda tabiiy sharoitlarda fotoelektrik batareyalarning frontal yuzasiga tushadigan quyosh nurlanish oqimi zichligining 20 foizi elektr energiyasiga, qolgan qismi esa issiqlikka aylanadi<sup>1</sup>. Natijada, fotoelektrik batareyalarning ishlash samaradorligi pasayib ketadi. Bundan tashqari, tashqi havo harorati, changlanish, quyosh nurlanish oqimi zichligining o'zgarishi va gorizontga nisbatan o'rnatish burchaklari ham ta'sir qilib, fotoelektrik batareyalarning degradatsion jarayonlarini tezlashtiradi. Shuning uchun, amaliyotda fotoelektrik batareyalarni tashqi ta'sirlardan himoyalash asosida texnik-iqtisodiy, energetik va ekologik samaradorligini oshirish maqsadida takomillashgan fotoissiqlik qurilmalarini ishlab chiqish va avtonom energiya ta'minoti tizimlarida foydalanishga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Jahonda kristall kremniyli quyosh elementlaridan tashkil topgan fotoelektrik batareyalarning ishlashiga tashqi degradatsion ta'sir (havo harorati, changlanish va quyosh nurlanish oqimi)<sup>2</sup> larni kamaytirish va samaradorligini oshirish maqsadida faol va passiv metodlar yordamida turli xil materiallardan ishlab chiqilgan issiqlik kollektorlari bilan mujassamlashgan va takomillashtirilgan fotoissiqlik batareyalarni ishlab chiqish, kunduzgi vaqtda quyosh nurlanish oqim zichligini oshiruvchi, tunda esa changlanishdan himoyalash maqsadida reflektorlardan foydalanish yo'nalishida tadqiqotlar olib borilmoqda. Fotoelektrik batareyalarning frontal yuzasiga tushadigan quyosh nurlanish oqim zichligini oshirish va tunda changlanishdan saqlovchi reflektorlar o'rnatish asosida ilmiy tadqiqotlar ham o'tkazilmoqda. Ushbu yo'nalishda, jumladan, fotoelektrik batareyalar asosidagi fotoissiqlik qurilmalarning energiya samaradorligini oshirish, elektrofizik, issiqlik-texnikaviy parametrlarini o'rganish va nazariy tadqiqotlar natijalari bilan taqqoslash uchun modellashtirish asosida arzon, yengil, takomillashtirilgan va qulay ikki o'q bo'yicha harakatlanuvchi tayanch konstruksiyaga ega bo'lgan qurilmalarni ishlab chiqish va joriy etish dolzarb vazifalardan hisoblanmoqda.

Respublikamizda an'anaviy yoqilg'i zaxiralari tejash, ulardan foydalanishda havoning ifloslanish darajasini kamaytirish, global isishning oldini olish maqsadida hududning geografik joylashuvidan kelib chiqib qayta tiklanadigan energiya manbalaridan va energiya tejovchi texnologiyalardan foydalanish orqali iste'molchilarning energiyaga bo'lgan ehtiyojini ta'minlash, jumladan, markazlashgan energiya ta'minotidan uzoqda joylashgan hududlar uchun avtonom va barqaror energiya ta'minotini yo'lga qo'yish bo'yicha keng ko'lamlı chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020 yil 10 iyuldagi

---

<sup>1</sup>Weisz P.B. Basic Choices and Constraints on Long-Term Energy Supplies // Physics Today, 2004, pp. 141-144.

<sup>2</sup>Турсунов М.Н., Холов У.Р., Ахтамов Т., Эшматов М., Аликулов Р., Исмаилов Н. Влияние окружающей среды и структуры поверхности защитных стекол на параметры фотоэлектрических батарей // Сборник материалов международной научной конференции "Тенденции развития физики конденсированных сред", Фергана, 25.05, 2021 г. с.150-156.

PQ-4779-son “Iqtisodiyotning energiya samaradorligini oshirish va mavjud resurslarni jalb etish orqali iqtisodiyot tarmoqlarining yoqilg‘i-energetika mahsulotlariga qaramligini kamaytirishga doir qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”<sup>1</sup> gi Qarorida muhim vazifalar belgilangan. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda fotoelektrik batareyalar asosidagi takomillashgan fotoissiqlik qurilmalarini ishlab chiqish va ulardan avtonom energiya ta‘minoti tizimlarida foydalanish muhim vazifalardan biri hisoblanadi.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 28 yanvardagi PF-60-son “2022-2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”gi Farmoni va 2023 yil 16 fevraldagi PQ-57-son “2023-yilda qayta tiklanuvchi energiya manbalarini va energiya tejoychi texnologiyalarni joriy etishni jadallashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi Qarori hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirish uchun ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

**Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi.** Dissertatsiya ishi bo‘yicha tadqiqotlar O‘zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalarining IV. “Qayta tiklanadigan energiya manbalaridan foydalanish usullarini ishlab chiqish, nanotexnologiyalar, fotonika va boshqa ilg‘or texnologiyalar asosida texnika va qurilmalarni yaratish” ustuvor yo‘nalishiga mos keladi.

**Muammoning o‘rganilganlik darajasi.** Fotoelektrik batareyalar asosidagi fotoissiqlik batareyalarni ishlab chiqish va samaradorligini oshirish borasida jahonning yetakchi ilmiy tadqiqot institutlari va ilmiy markazlarida ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Chet el olimlaridan K.A. Moharram (Misr), N.A. Rahim (Saudiya Arabistoni), V. N. Palaskar (Hindiston), Muhammad Adil Khan (Koreya), Tresna Dewi (Indoneziya), D.S. Strebkov (Rossiya), Xuejian Ma (Xitoy), Muhammad A. BASHIR (Pokiston), Amit H. Munshi (AQSh), Ammar A. Farhan (Iroq), David Parlevliet (Avstraliya), Furqan Tahira (Qatar), Nasrin Abdollahi (Eron) va boshqalar tomonidan fotoelektrik batareyalarni ishlash samaradorligini oshirish bo‘yicha ilmiy tadqiqot ishlar olib borilgan.

Mamlakatimizda fotoelektrik batareyalarni samaradorligini oshirish va quyosh elementlarining elektrofizik va issiqlik xarakteristikalarini o‘rganish bo‘yicha T.T. Riskiyev, R.A. Zaxidov, R.A. Muminov, M.N. Tursunov, R.R. Avezov, V.G. Dyskin, X. Sabirov, B.E. Xayriddinov, I.A. Yuldoshev, A.G’. Komilov, J.S. Axatov va boshqalar tomonidan ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilgan.

Fotoelektrik batareyalar asosidagi fotoissiqlik batareyalarni ishlash samaradorligini oshirish bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlarda erishilgan ijobiy natijalarga qaramasdan, ishlab chiqarish texnologiyasini takomillashtirish va ishlatiladigan materiallarni tejash asosida xarajatlarni kamaytirish, tungi changlanish va quyosh nurlanish oqim zichligini oshiruvchi reflektorlarni o‘rnatish, barcha qurilmalar mujassamlashgan holda modellashtirish bo‘yicha yetarlicha tadqiqotlar amalga oshirilmagan.

---

<sup>3</sup>O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 10-iyuldagi PQ-4779-son “Iqtisodiyotning energiya samaradorligini oshirish va mavjud resurslarni jalb etish orqali iqtisodiyot tarmoqlarining yoqilg‘i-energetika mahsulotlariga qaramligini kamaytirishga doir qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida” gi Qarori

**Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi.** Dissertatsiya tadqiqoti Fizika-texnika institutining ilmiy tadqiqot ishlari rejasiga muvofiq PFI FA-F3-004 "Fundamental yangi fizik modellar, mexanizmlar, yuqori samarali, arzon fotoo'zgartirgichlarni shakllantirish usullari, shuningdek ular asosidagi chidamli fotoenergetik qurilmalarni o'rganish" (2017-2020) loyihasi doirasida bajarilgan.

**Tadqiqotning maqsadi** avtonom iste'molchilarni ishonchli elektr energiya va issiq suv bilan ta'minlashda fotoelektrik batareya asosidagi fotoissiqlik batareyasini takomillashtirish, energetik va texnik-iqtisodiy samaradorligini asoslashdan iborat.

**Tadqiqotning vazifalari:**

avtonom iste'molchilarni fotoelektrik qurilmalardan foydalanishning hozirgi holati, istiqbollari va muammolarini tahlil qilish;

avtonom fotoelektrik qurilmalarni ekspluatatsiya davomida yuzaga keladigan energiya yo'qotishlarni tajribada aniqlash;

avtonom fotoelektrik qurilmalarni energiya samaradorligini oshirishda fotoelektrik batareya asosidagi takomillashtirilgan fotoissiqlik batareyasini ishlab chiqish;

PV SYST.7.2 dasturi yordamida avtonom fotoelektrik qurilmaning energetik ko'rsatkichlarini tashqi omillarning ta'sirini hisobga olib prognozlash va modellashtirish;

takomillashtirilgan fotoissiqlik batareyasining issiqlik-texnikaviy va gidrodinamik jarayonlarini COMSOL Multiphysics 5.6 dasturi yordamida modellashtirish;

avtonom fotoelektrik va fotoissiqlik qurilmalarning ishlash samaradorligining texnik-iqtisodiy, ekologik ko'rsatkichlarni baholash.

**Tadqiqotning obyekti** sifatida monokristall kremniyli fotoelektrik batareya asosidagi yangi, yuqori samarali fotoissiqlik batareya tanlangan.

**Tadqiqotning predmeti** meteorologik omillarni (quyosh nurlanish oqimi zichligi, atrof-muhit harorati, atmosfera changlanishi, shamol tezligi va boshqalar) hisobga olgan holda fotoelektrik batareya asosidagi fotoissiqlik batareyalarning optik, elektrofizik xususiyatlari, issiqlik-texnikaviy, gidrodinamik jarayonlarni tadqiq qilish hisoblanadi.

**Tadqiqotning usullari.** Tadqiqot jarayonida matematik modellashtirish, volt-amper, volt-vatt xarakteristikalarini, fotoissiqlik qurilmasining elektrofizik, issiqlik parametrlarini tajribaviy tadqiqot qilish, tajriba natijalarini umumlashtirish hamda zamonaviy hisoblash nazariyasi usullaridan foydalanilgan.

**Tadqiqotning ilmiy yangiligi** quyidagilardan iborat:

ilk marotaba markazlashgan energiya ta'minotidan olisda joylashgan qishloq ob'ektlari va fermer xo'jaliklarini yil davomida uzluksiz va sifatli elektr energiya hamda issiq suv bilan ta'minlash imkonini beradigan avtonom va ko'chma polikarbonat kollektorli va to'la issiqlik kontaktli fotoissiqlik qurilmasi ishlab chiqilgan (SAP 02301);

ilk marotaba avtonom fotoissiqlik stansiyalar uchun frontal yuzasini tungi changlanishdan himoyalovchi va quyosh nurlanish oqim zichligining ortishini

ta'minlovchi reflektorli, orqa yuzasi suv bilan sovutiluvchi kristall kremniy asosidagi fotoelektrik batareyalardan iborat takomillashtirilgan ta'minot tizimi ishlab chiqilgan;

oqimning issiqlik uzatish va gidrodinamik tenglamalari asosida suvning sarfi, tashqi havo harorati, quyosh nurlanish oqim zichligi va Reynolds sonining 2300 dan kichik qiymatlarida fotoissiqlik batareyasi frontal yuzasi haroratining o'zgarishini hisoblash imkonini beradigan matematik model ishlab chiqilgan;

fotoissiqlik va fotoelektrik batareyalaridan avtonom foydalanishda tashqi havo haroratining o'zgarishiga bog'liq qisqa tutashuv toki va salt yurish kuchlanishini hamda avtonom fotoissiqlik qurilmalarida energiya yo'qotilishlarni hisobga olgan holda energiya samaradorligini aniqlash metodikasi ishlab chiqilgan.

**Tadqiqotning amaliy natijalari** quyidagilardan iborat:

kristall kremniyli fotoelektrik batareya asosidagi takomillashtirilgan va quruq iqlimga moslashtirilgan bir vaqtning o'zida elektr energiyasi va issiq suv olish imkonini beradigan fotoissiqlik batareyasining tajribaviy namunasi ishlab chiqilgan;

parallel kanalli polikarbonat kollektorli to'la issiqlik kontaktli fotoissiqlik batareyasi asosida avtonom va ko'chma fotoissiqlik qurilmasi ishlab chiqilgan

fotoissiqlik batareyalarning issiqlik-texnikaviy va gidrodinamik jarayonlari tajribaviy va nazariy ma'lumotlarni taqqoslash uchun kompyuter dasturi yordamida modellashtirilgan.

**Tadqiqot natijalarining ishonchliligi.** Tadqiqotda zamonaviy tadqiqot usullaridan foydalanilganligi, qurilmaning issiqlik-texnikaviy va elektrofizik parametrlarini o'rganish bo'yicha tabiiy sharoitlarda olib borilgan tajribalar natijalarining nazariy natijalarga mosligi bilan izohlanadi.

**Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.** Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati fotoelektrik batareyalarning ishlashiga tashqi havo haroratining va quyosh nurlanish oqim zichligining ta'sirini kamaytirish va samarali ishlash imkonini beradigan matematik model va ularni hisoblash algoritmi ishlab chiqilganligi hamda changlanish darajasini fotoissiqlik batareyalarning samaradorligiga ta'sirini o'rganilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati fotoelektrik batareyalarning ishlash samaradorligini oshirish uchun takomillashtirilgan arzon, sifatli fotoissiqlik batareyalar ishlab chiqilganligi va analoglariga nisbatan texnik-iqtisodiy va ekologik samarali ekanligi bilan izohlanadi.

**Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi.** Fotoissiqlik qurilmalardan avtonom foydalanish, ishlash samaradorligini oshirish va takomillashgan tayyorlash texnologiyasini ishlab chiqish va joriy qilishda olingan ilmiy natijalar asosida:

kichik quvvatli ko'chma fotoissiqlik qurilmasi uchun O'zbekiston Respublikasi intellektual mulk agentligidan sanoat namunasiga patent olingan (№ SAP 02301; 2022-yil). Natijada, markazlashgan energiya ta'minotidan uzoqda joylashgan avtonom iste'molchilar elektr energiya va issiq suv ishlab chiquvchi qurilma bilan ta'minlangan. Mazkur qurilmani amaliyotga qo'llash natijasida yillik o'rtacha 43 % quvvat samaradorligiga erishilgan;

avtonom fotoelektrik stansiyalarda takomillashtirilgan fotoissiqlik batareyasi "SOLAR NATURE" MChJ da joriy etilgan ("Uzeltexsanoat" uyushmasining 05.06.2023-yildagi 04-3/699 sonli ma'lumotnomasi). Olib borilgan tadqiqotlar

natijasida fotoissiqlik batareyalarning energiya samaradorligini an'anaviy fotoelektrik batareyalarga nisbatan 50% gacha qayta tiklashga va atrof-muhitga chiqariladigan zaharli chiqindilar miqdorini esa 90% gacha kamaytirishga erishilgan.

**Tadqiqot natijalarining aprotatsiyasi.** Tadqiqot natijalari 7 ta ilmiy-amaliy anjumanda, jumladan 5 ta xalqaro va 2 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarda muhokamadan o'tkazilgan.

**Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi.** Dissertatsiya mavzusi bo'yicha 25 ta ilmiy ish chop etilgan, jumladan, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalarining asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 5 ta, Scopus bazasida indeksatsiyalangan jurnallarda 2 ta maqola chop etilgan. O'zbekiston Respublikasi intellektual mulk agentligidan 1 ta sanoat namunasiga patent va 2 ta EHM dasturiy mahsuloti uchun mualliflik guvohnomalari olingan.

**Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi.** Dissertatsiya kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar va ilovalardan iborat bo'lib, 120 betni tashkil etadi.

## DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

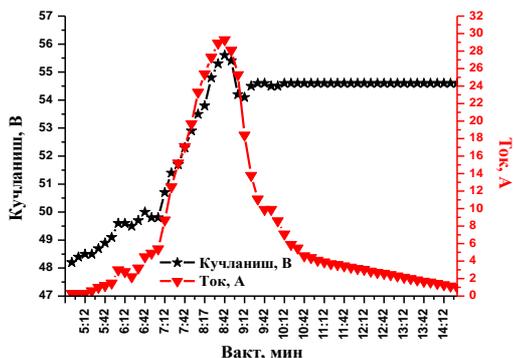
**Kirish** qismida dissertatsiya ishining dolzarbligi va zarurati asoslangan, tadqiqot mavzusiga oid xorijiy ilmiy tadqiqotlar sharhi va muammoning o'rganilganlik darajasi bayon qilingan, ishning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi asoslangan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari, shuningdek, obykti va predmeti aniqlangan, tadqiqot ishining ilmiy yangiligi qo'yilgan maqsad va vazifalarning amaliy natijasi asosida e'lon qilingan ishlar bilan tasdiqlangan, dissertatsiyaning hajmi va tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Fotoelektrik batareyalar samaradorligini oshirishning zamonaviy holat tahlili”** nomli birinchi bobida kremniy materialidan tayyorlangan quyosh elementi (QE) ni olish va tayyorlash texnologiyasining zamonaviy holati tahlil qilingan. Fotoelektrik batareya (FEB) larning ishlash samaradorligiga asosan harorat, changlanish va gorizontga nisbatan tayanch konstruksiyaga o'rnatish burchaklarining ta'siri chet el, MDH va mahalliy olimlar tomonidan olib borgan ilmiy izlanishlar tahlili keltirilgan. Olib borilgan tadqiqot natijalari FEB larni ekspluatatsiya qilishda yo'qotiladigan energiyani qayta tiklash uchun faol va passiv sovitish metodlari yordamida ishlash samaradorligini oshirish va changlanishdan himoya qilishga doir tahlil natijalari keltirilgan. Avtonom fotoelektrik stansiya (AFES) lardan foydalanishda ularni tashkil qiluvchi zamonaviy qo'shimcha butlovchi qismlarning ekspluatatsiya tahlili keltirilgan. O'rganilgan adabiyotlar tahlilidan kelib chiqib dissertatsiya ishining maqsadi va vazifalari shakllantirildi.

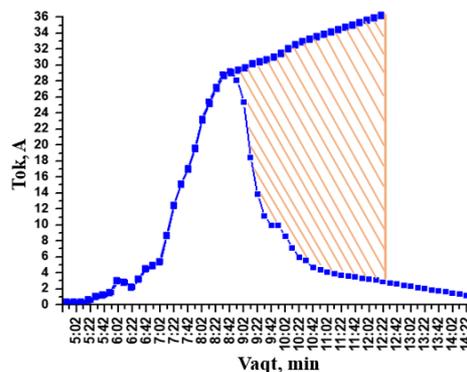
Dissertatsiyaning **“Avtonom fotoelektrik stansiyalardan foydalanishda energiya yo'qotishlarni tadqiq etish”** nomli ikkinchi bobida, asosan, AFES larda yuzaga keladigan (yuqori harorat, degradatsion jarayonlar, kommutatsiya nuqtalardagi va simlardagi) yo'qotishlar, tadqiqot natijalarni nazariy natijalar bilan taqqoslab kompyuter dasturidan foydalanib modellashtirilgan. FEB lar va butlovchi qurilmalarning texnik parametrlari bir-biriga mos kelmasligi ham AFES ning ishlash samaradorligini kamaytirishi aniqlangan. Olib borilgan tadqiqotlar davomida avtonom

va tarmoqqa to‘g‘ridan-to‘g‘ri ulangan holda ishlovchi fotoelektrik stansiya (FES) larning yutuq va kamchiliklari taqqoslab o‘rganilgan.

AFES larda ekspluatatsiya davomida yuzaga keladigan yo‘qotishlarni aniqlash uchun Toshkent shahri Fizika-texnika instituti avtoturargohida umumiy quvvati 2,7 kW ga mo‘ljallangan AFES ning tajriba varianti o‘rnatildi. AB larni zaryadlash toki 1 A gacha bosqichma-bosqich pasayishi MPPT kontrolleri orqali kuzatildi. Natijada, FEB lar tomonidan ishlab chiqarilgan elektr energiya AB ning zaryadlash bosqichi tugagandan so‘ng zaryadlash toki issiqlikka aylanishi aniqlandi (1-rasm).



**1-rasm. MPPT kontrolleridagi FEB lar ishlab chiqargan kuchlanish va tokning vaqtga bog‘liqlik grafigi (2020. 20-may)**



**2-rasm. AB zaryad miqdori to‘lgandan keyin MPPT kontrolleri FEB tokini issiqlikka aylantirgan qismi (2020. 20-may)**

1-rasmdan ko‘rinib turibdiki, kun davomida FEB lar ishlab chiqaradigan elektr energiya MPPT kontrolleri tomonidan AB larni zaryadlash jarayonining kun davomida o‘zgarishi ko‘rsatilgan. Qizil egri chiziq kontrollerdan AB larga uzatiladigan tok, qora egri chiziq kuchlanishni xarakterlaydi. 1-rasmdagi kuchlanishning avval ortib, keyin kamayishi atrof-muhit haroratiga bog‘liqligini ifodalaydi. Tok kuchining avval ko‘tarilib, keyin tushishi, birinchidan, FEB larning frontal yuzasiga quyosh nurlanish oqim zichligini ortib borishi natijasi hisoblanadi. Ikkinchidan, AB lar zaryadining to‘lishi natijasida kontroller tomonidan ortiqcha zaryad miqdori issiqlikka aylantirib atrof-muhitga tarqatilishini xarakterlaydi. Agar AFES lar ishlab chiqaradigan elektr energiyasiga nisbatan iste‘molchi quvvati kam bo‘lsa, ortiqcha zaryad miqdorini MPPT kontroller issiqlikka aylantiradi. Natijada, AFES ning ishlash samaradorligi pasayib ketadi. MPPT kontroller tomonidan issiqlikka aylantirilgan zaryad miqdori quyidagi 2-rasmda uzluksiz chiziqlar bilan chegaralangan yuzaga tengligi ko‘rsatilgan.

FEB larning frontal yuzasiga tushadigan maksimal quyosh nurlanish oqim zichligi qo‘zg‘almas tayanch konstruksiyaga o‘rnatilganligi uchun may oyida soat 12<sup>00</sup>÷13<sup>00</sup> lar oralig‘ida tushadi. Lekin 2-rasmdagi grafikda egri chiziq MPPT kontroller tomonidan AB larga uzatiladigan zaryad miqdori soat 8<sup>30</sup>÷9<sup>00</sup> oralig‘iga maksimalga erishgan. AB lar zaryadi to‘lib borgan sari MPPT kontroller tomonidan uzatiladigan zaryad miqdori avtomatik tarzda issiqlikka aylantirganligini ko‘rish mumkin. Tadqiqot ishida PV SYST.7.2 dasturidan foydalangan holda AFES lardan foydalanish jarayonida yuzaga keladigan yo‘qotishlarni o‘rganish uchun modellashtirildi. Tadqiqot natijalari avtoturargohning tomida umumiy quvvati 2,7 kW ga teng bo‘lgan AFES ning ishlash holati va yo‘qotishlari o‘rganildi. Iste‘molchi talabidan kelib chiqib AFES ni tashkil qiluvchi barcha qurilmalarning texnik

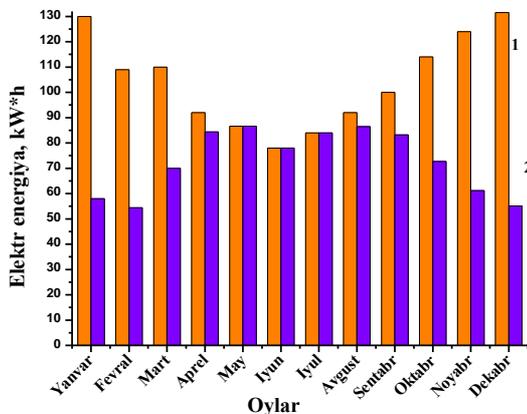
parametrlari mos holda tanlanganda ba'zi yo'qotishlarni kamaytirish mumkinligi aniqlandi. Avtoturargoh tomida qo'zg'almas holatda 38° da o'rnatilgan AFES apreldan sentyabr oyigacha bo'lgan oraliqda eng katta yo'qotish aniqlandi. Bu yo'qotish FEB larni o'rnatish burchagi orqali yuzaga keldi va 20% gacha yetdi. Oktyabrdan martgacha 1,7% ga teng bo'ldi. PR – ishlash koeffitsiyenti butun FEB tizimidan foydalanish darajasini aniqlash uchun 1-formula yordamida hisoblab topildi:

$$PR_{AFES} = \frac{E_{KIChEE} (kW \cdot h)}{E_{STC} (kW \cdot h)} \cdot 100\% \quad (1)$$

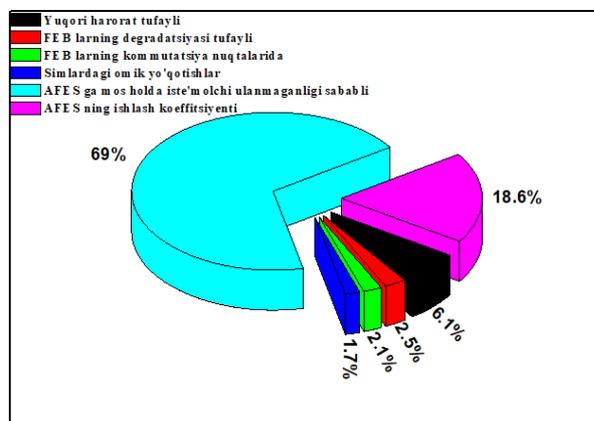
1-formula orqali AFES larning ishlash koeffitsiyenti hisoblandi. Agar AFES larda FEB asosidagi takomillashtirilgan FIB lardan foydalanilganda, ya'ni avtonom fotoissiqlik stansiyalar uchun PR-ishlash koeffitsiyentini hisoblash uchun 2-formula taklif qilindi:

$$PR_{AFIS} = \frac{E_{KIChEE} (kW \cdot h)}{E_{STC} (kW \cdot h)} \cdot 100\% \quad (2)$$

AFES quvvatidan kelib chiqib iste'molchi ulanmaganligi sababli 2,85 kW·h/kun elektr energiya, MPPT kontrolleri tomonidan issiqlikka aylantirilgan 0,89 kW·h/kun elektr energiya, zaryad yig'ishda yo'qotishlardagi 0,17 kW·h/kun elektr energiya va tizim yo'qotishlarida hamda akkumulyatorlarni zaryadlashdagi yo'qotishlarning samarasiz qismi aniqlandi. Agar AFES quvvatidan kelib chiqib iste'molchi ulanmasa, atrof-muhit, degradatsion va changlanish ta'sirlaridan tashqari, MPPT kontrolleri tomonidan ishlatilmagan elektr energiyani atrofga befoyda issiqlikka aylantirib yuborish natijasida qo'shimcha yo'qotishlar aniqlandi. 3-rasmda PV SYST.7.2 dasturidagi natijalar va tajriba natijalar keltirildi.



3-rasm. Elektr energiyani har bir oyda taqsimlanishi. 1 - PV SYST.7.2 da modellashtirish, 2-tajriba natijalari



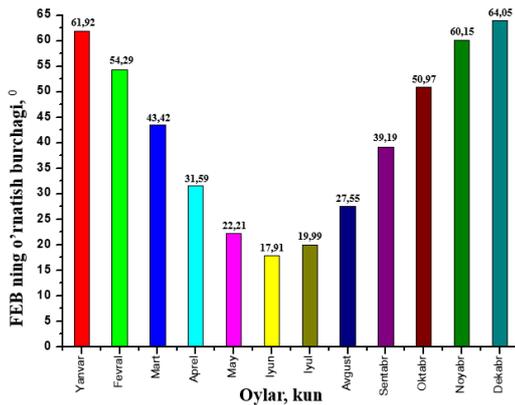
4-rasm. AFES ning ishlash samaradorligi va yuzaga keladigan yo'qotishlar ko'rsatkichi

Modellashtirish natijalari shuni ko'rsatdiki, tashqi degradatsion ta'sirlardan tashqari foydalanilmagan elektr energiyasi tufayli kunlik va oylik yo'qotishlar 69% ni tashkil qildi (4-rasm). 5-rasmda yil davomida har bir oy uchun FEB larni qo'zg'almas tayanch konstruksiyaga o'rnatish burchagining o'rtacha qiymati keltirildi. Bu o'rnatish burchaklarni hisoblashda FEB lar o'rnatilgan joyning geografik kengligi (Toshkent shahri uchun – 41°) hisobga olinib, 3-formula orqali hisoblandi:

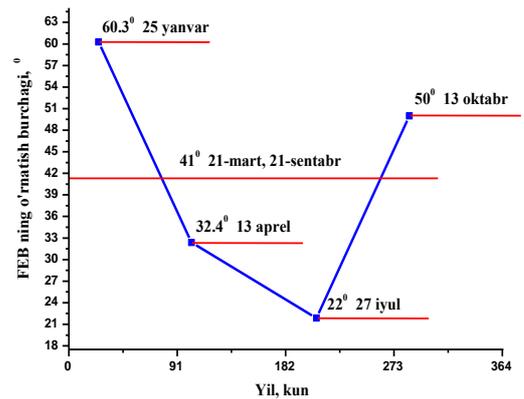
$$\beta_0 = \varphi - \delta_0 \quad (3)$$

FEB ning frontal yuzasini har doim quyoshga tik qaratishda quyoshning  $\delta_0$  – og'ish burchagi Kuper formulasi bilan aniqlandi:

$$\delta_0 = 23,45 \cdot \sin\left(360 \frac{284+n}{365}\right) \quad (4)$$

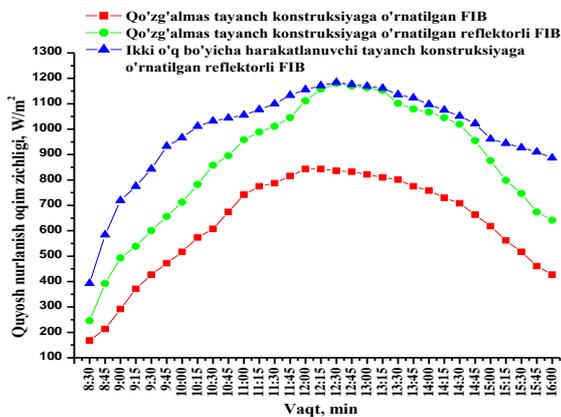


5-rasm. FEB larning yil davomida gorizontga nisbatan oylar bo'yicha optimal o'rnatish burchagi

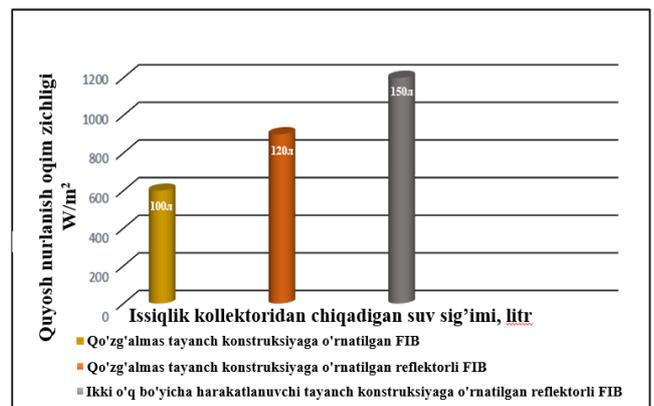


6-rasm. FEB larning yil davomida fasllar bo'yicha gorizontga nisbatan optimal o'rnatish burchagi

FEB larni 5-rasmda keltirilgan hisob-kitoblarga asoslanib o'rnatish uchun ikki o'q bo'yicha harakatlanuvchi sistema kerak bo'ladi. Ammo bunday konstruksiyadan foydalanib ishlab chiqariladigan elektr energiya narxi yanada oshib ketadi. Shuning uchun FEB larni fasllar kesimida yoki yil davomida optimal burchakka o'rnatish to'g'ri bo'ladi. 6-rasmga asosan olib borilgan tadqiqot natijalari uchun FEB lar har bir fasl uchun va yillik qo'zg'almas holatda optimal burchaklari aniqlandi. Yillik optimal o'rnatish burchagi tadqiqot olib borilgan joy uchun geografik kenglik (bahorgi va kuzgi teng kunglik) burchaklariga tengligi aniqlandi. FEB larni 3, 4 - formulalardan hisoblangan o'rnatish burchak qiymatlari yordamida olingan samarali natijalarga erishilganligi 7-rasmda ko'rsatilgan.



7-rasm. Quyosh nurlanish oqim zichligini vaqtga bog'liqlik grafigi

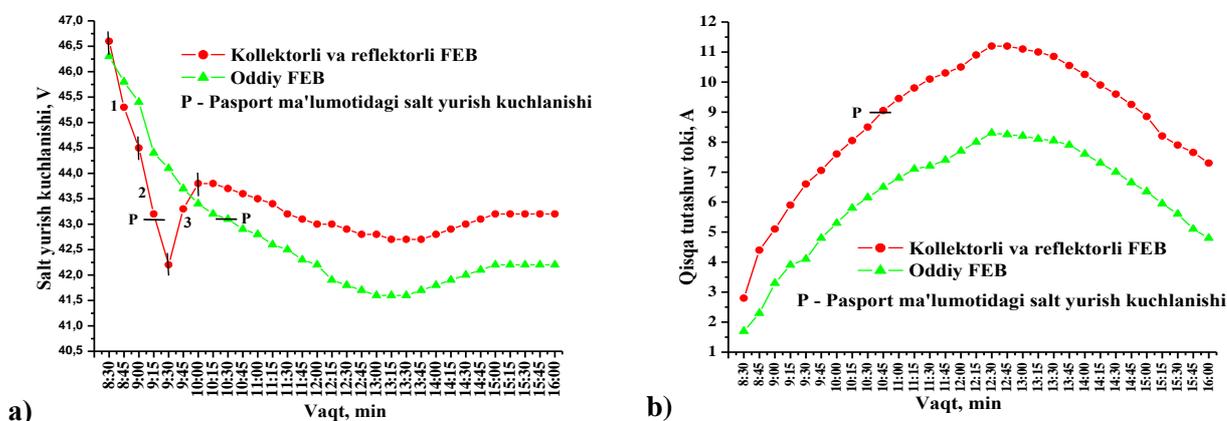


8-rasm. Issiq suv sig'imini quyosh nurlanish oqim zichligiga bog'liqlik grafigi

Qo'zg'almas tayanch konstruksiyaga o'rnatilgan FEB ning frontal yuzasiga tushgan quyosh nurlanish oqim zichligi (qizil egri chiziq) hisobiga tajriba davomida 100 litr issiq suv olindi (7-rasm). FEB qo'zg'almas tayanch konstruksiyaga o'rnatilgan, faqat quyosh nurlanish oqim zichligini orttiruvchi yon reflektorlar o'rnatilgan holatda (yashil egri chiziq) 120 litr issiq suv olindi. FEB ning frontal yuzasiga quyosh nurlanish oqim zichligini oshiruvchi yon reflektorlardan foydalanilganda va ikki o'q bo'yicha harakatlanuvchi tayanch konstruksiyaga mahkamlanganda (ko'k egri chiziq) olingan

issiq suv sig'imi 150 litrga yetdi. Uchta holatda ham kiruvchi sovuq suv harorati 8 °C, chiquvchi suv harorati esa 40 °C gacha ko'tarilganligi tajribada aniqlandi (8-rasm).

Tadqiqotlar davomida FEB, FIB larning salt yurish kuchlanishi va qisqa tutashuv toklari taqqoslandi (9-rasm). 9a-rasmning 1-intervalida FIB FEB rejimida ishlaydi. FEB orqa yuzasi tashqi muhit bilan konvektiv issiqlik almashinish (FEB ning orqa yuzasiga sovutuvchi IK va izolyatsion qatlamlar borligi) yo'qligi uchun salt yurish kuchlanishi tez pasayib ketadi. 2-intervalda yon reflektorlar ochilishi bilan FEB yuzasiga tushayotgan quyosh nurlanish oqim zichligining ortishi orqa yuzasining qo'shimcha qizishiga olib keldi. Salt yurish kuchlanishi kamayishi davom etdi va 3-intervalda IK dan suv o'tkazilganda FEB salt yurish kuchlanishi ortishi kuzatildi. 9b-rasmda FEB va FIB lar qisqa tutashuv tokining vaqtga bog'liqligi ko'rsatilgan. 9b - rasmdan quyosh nurlanish oqim zichligi 1000 W/m<sup>2</sup> bo'lganda qisqa tutashuv toki 9 A ga tengligi aniqlandi.



9-rasm. FEB va FIB ning a) salt yurish kuchlanishining, b) qisqa tutashuv tokining vaqtga bog'liqlik grafiklari

Bu qiymat FEB ning sertifikatlash pasportidagi ko'rsatkichidir. FEB larning frontal yuzasiga quyosh nurlanish oqim zichligini qo'zg'almas tayanch konstruksiyaga o'rnatilganda 1,5 marta, ikki o'q bo'yicha harakatlanuvchi tayanch konstruksiyaga o'rnatilganda esa 1,7 martaga ortishi bilan ishlab chiqarilgan issiqlik energiyasi 20 % dan 50 % gacha oshganligi aniqlandi. Qish fasli (yanvar oyi) da olingan tadqiqot natijalari asosida xulosa qilib aytish mumkinki, FIB lar asosidagi qurilmalar aholini yil davomida elektr energiya va issiq suv bilan ta'minlash mumkinligi isbotlandi.

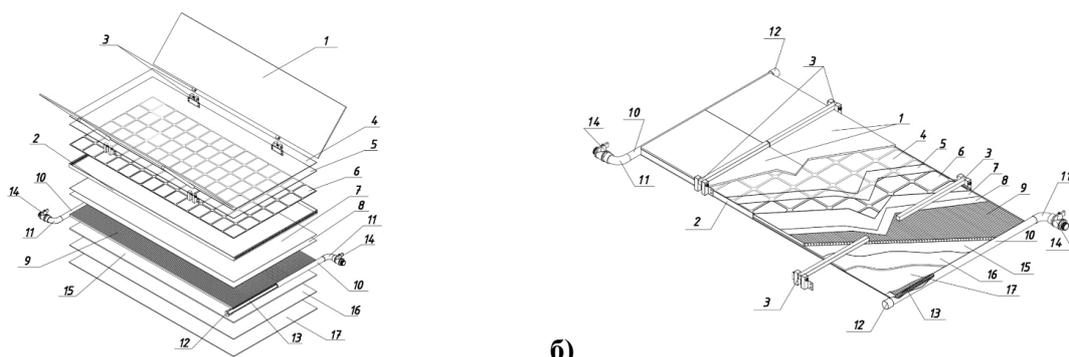
Dissertatsiyaning **“Avtonom fotoelektrik stansiyalarning energiya ta'minoti ishonchliligini oshirish usullari”** nomli uchinchi bobida FIB ni tayyorlash texnologiyasi keltirildi. Takomillashtirib ishlab chiqilgan FIB ning elektr samaradorligi 5-formula orqali hisoblandi:

$$\eta_{el} = \frac{P_n}{E \cdot S_{faol}} \quad (5)$$

FIB dan olingan issiq suvning issiqlik samaradorligini hisoblashda 6-formuladan foydalanildi:

$$\eta_T = \frac{P_T}{E \cdot S_{IK}} \quad (6)$$

10a,b-raslarda parallel kanalli polikarbonat kollektorli to‘la issiqlik kontaktli FIB ning aksionometrik proyeksiyasi va tashqi tomondan ko‘rinishi keltirilgan.



a) b)  
 1-reflektor, 2-FEB mustahkamligini saqlovchi korpus, 3-qo‘sh gaykali boltli oshiq-moshiqlar, 4-FEB (4-himoya shishasi, 5,7-old va orqa laminatsiya qatlam, 6-QE lari, 8-orqa himoya plyonkasi (tedlar), 9-parallel kanalli uyali polikarbonat, 10-polimer quvur, 11-mis metall rezbali adapter, 12-probkalar, 13-tirqish, 14-jo‘mraklar, 15-folgoizol, 16-penoplast, 17-orqa qopqoq, 18-klemma qutisi.

10-rasm. FIB ning a - aksionometrik va b - tashqi tomondan ko‘rinishi

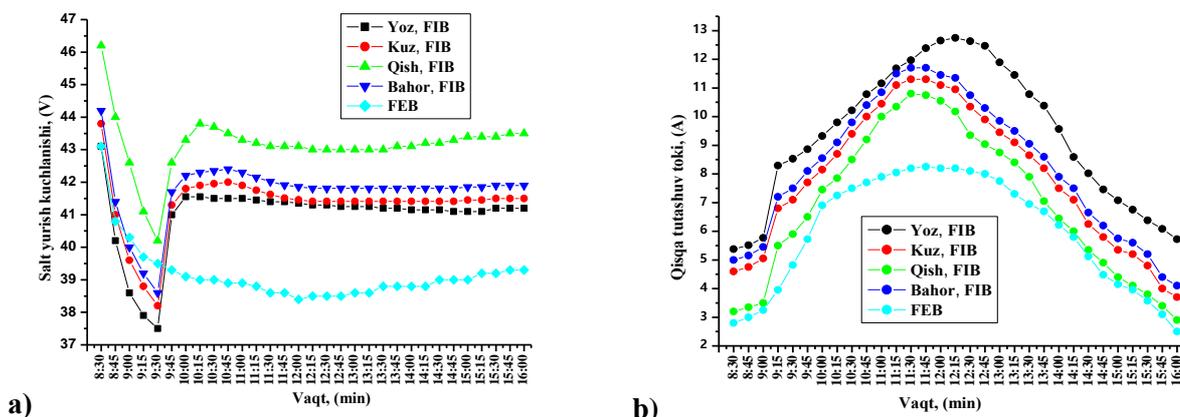
Optimal burchaklarda o‘rnatilgan qurilmadan olingan natijalar 1-jadvalda keltirildi. Yilning har bir fasli uchun optimal o‘rnatish burchaklar aniqlanib, tadqiqot natijalari olib borildi. Aniqlangan o‘rnatish burchaklar har bir fasl uchun optimal hisoblanadi.

1-jadval

Fasllar bo‘yicha aniqlangan burchaklarda o‘rnatilgan qurilmadan olingan natijalar

Fasllar	Bahor	Yoz	Kuz	Qish
Quyosh nurlanish oqim zichligi reflektorsiz, W/m <sup>2</sup>	690-750	735-820	670-720	640-670
Quyosh nurlanish oqim zichligi reflektorli, W/m <sup>2</sup>	970	1100	930	870
O‘rnatish burchagi, °	32	22	50	60
IK ga kiruvchi suv harorati, °C	13	22	14	6
IK dan chiquvchi suv harorati, °C	40	40	40	40
IK dan chiquvchi suv sig‘imi, litr/soat	42	65	39	20

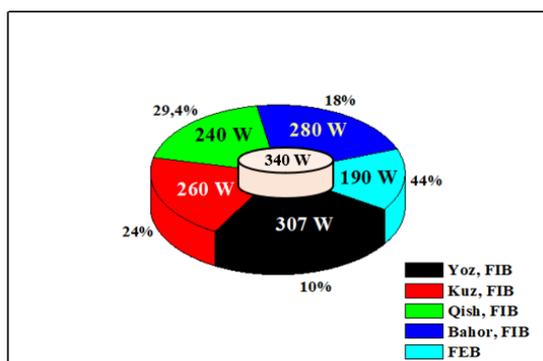
1-jadval ma‘lumotlari yordamida FIB FEB salt yurish kuchlanishi va qisqa tutashuv tokining kun davomiyligiga bog‘liqligi 11a,b-raslarda keltirilgan.



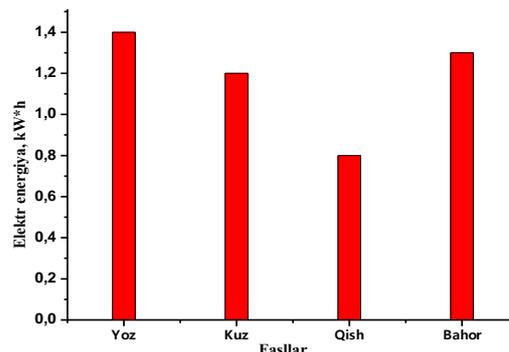
11-rasm. FEB va FIB a) salt yurish kuchlanishining, b) qisqa tutashuv tokining (fasllar kesimiga asosan) kun davomidagi o‘zgarish grafiklari

FEB va FIB larning salt yurish kuchlanishining vaqtga bog‘liqligi 11a-rasmda keltirildi. Quyosh nurlanish oqim zichligini oshiruvchi reflektorlar ko‘tarilganda salt yurish kuchlanishining o‘zgarishi juda kichik farq (o‘zgarishsiz) largacha

pasaygandan keyin IK dan tashqi haroratdagi sovuq suv ulanganligini 11a-rasmda ko‘rish mumkin. FIB ning orqa yuzasidagi harorat ko‘tarilib ketmasligi uchun IK dan chiqadigan suvning haroratini optimal 40 °C ga muvozanat holatda saqlandi. Shu haroratda har doim FIB ning kun davomidagi o‘rtacha salt yurish kuchlanishi 340 W li FEB dan foydalanilganda yozda 41 V, bahorda 42 V, kuzda 41,5 V va qishda esa pasport ma’lumotiga yaqin, ya’ni 43 V gacha qayta tiklash mumkinligi o‘rganildi. Asosan qisqa tutashuv toki FIB ning frontal yuzasiga tushadigan quyosh nurlanish oqim zichligiga bog‘liqdir. 11b-rasmda fasllar kesimida optimal burchakka o‘rnatilgan FIB ning frontal yuzasiga quyosh nurlanish oqim zichligini oshiruvchi reflektorlar qo‘llanilganda yozda 12,5 A, bahorda 11.7 A, kuzda 11,2 A va qishda 10.7 A ga tengligi tadqiqot davomida aniqlandi.

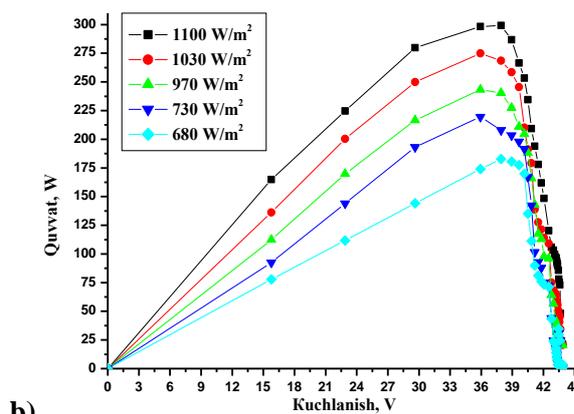
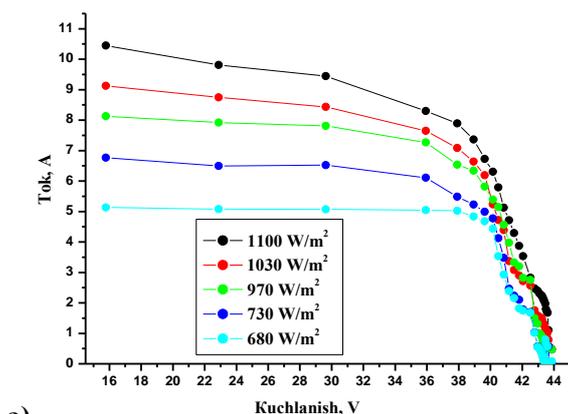


12-rasm. FIB va FEB quvvatining fasllar kesimiga bog‘liq holda o‘zgarish koeffitsiyenti



13-rasm. FIB dan olingan issiq suvni isitish uchun iqtisod qilingan elektr energiyasining fasllar kesimidagi bir soatlik taqsimoti

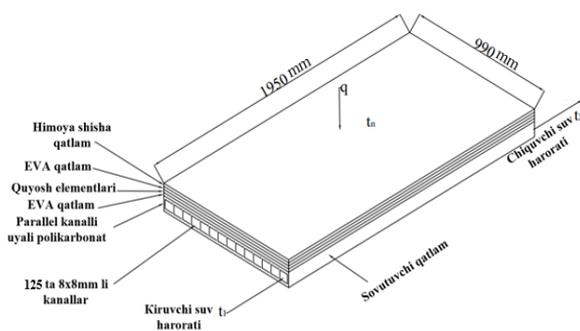
FIB ning fasllar kesimida va FEB ning yillik o‘rtacha quvvati 12-rasmda keltirilgan. Agar an’anaviy FEB dan foydalanilsa 1-jadvaldagi ma’lumotlar yordamida suvning haroratini 40 °C ga elektr suv isitgich (ESI) bilan ko‘tarishda yozda 1,4 kW·h, kuzda 1,2 kW·h qishda 0,8 kW·h va bahorda 1.3 kW·h elektr energiya kerak bo‘ladi. Agar taklif qilingan FIB dan foydalanilsa 13-rasmda keltirilgan elektr energiya tejaladi.



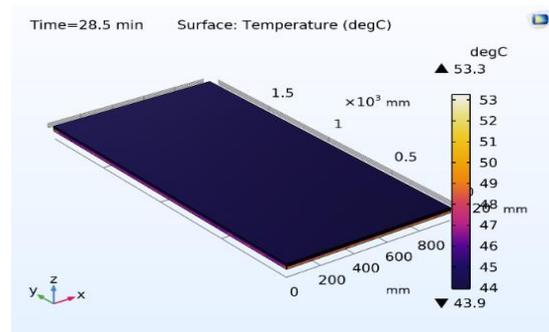
14-rasm. FIB va FEB ning a) volt-amper va b) volt-vatt xarakteristikalarini

Tadqiqotlar davomida olingan natijalar asosida FIB va FEB ning VAX va VVX lari 14a,b -rasmlarda keltirilgan. FEB ni orqa yuzasini suv bilan sovutishda olingan tadqiqot natijalari nazariy hisoblangan natijalarga mos kelishini o‘rganish maqsadida modellashtirildi. Tadqiqot uchun 15-rasmda ko‘rsatilgan model tanlandi. Unda sovutish suyuqligi harakatlanishi uchun 8x8 mm o‘lchamdagi kvadrat kesimdagi

parallel kanalli uyali polikarbonat tanlandi. Kanallar orqali sovutish suyuqligi sifatida suv o'tkazildi. COMSOL Multiphysics 5.6 uchun hisoblash natijalari 16-rasmda ko'rsatilgan uch xil holatda suv tezligi  $v = 0,1, 0,2$  va  $0,3$  m/c bo'lganda suv oqim sarfi 6,4, 12,8 va 19,2 g/s tengligi aniqlandi.



15-rasm. Tadqiqot modeli



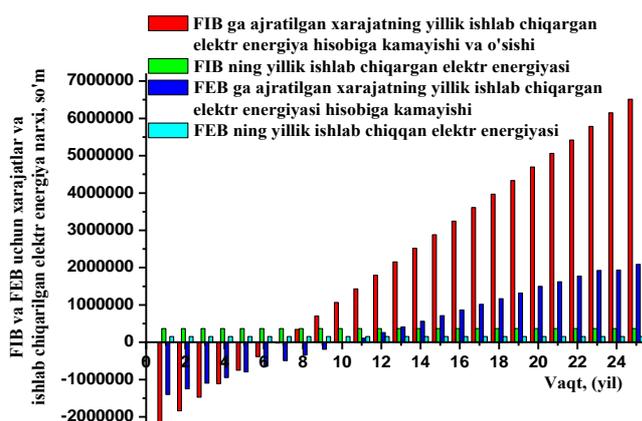
16-rasm. COMSOL Multiphysics 5.6 da FIB frontal yuzasi haroratining o'zgarishi

Kiruvchi suv tezligi  $0,1$  m/c bo'lganda, Reynolds soni 2300 dan kichik ekanligi aniqlandi. Natijada, IK dan harakatlanadigan suvning harakati yopishqoq laminar rejimda ekanligi aniqlandi. Taqqoslashlardan COMSOL Multiphysics 5.6 dasturi va tadqiqot natijalari 3% farqlanganligi aniqlandi. COMSOL Multiphysics 5.6 dasturida gidrodinamik va issiqlik uzatish tenglamalaridan foydalanish aniq va yetarlicha ma'lumotlarni berdi. Modellashtirish natijalari nazariy natijalarga mosligi o'rganildi.

Dissertatsiyaning “**Markazlashgan energiya ta'minotidan uzoqda joylashgan aholini elektr energiya va issiq suv bilan ta'minlashning energetik, iqtisodiy va ekologik asoslari**” deb nomlangan to'rtinchi bobida FEB, FIB larni AFES va AFIS larda qo'llash bo'yicha texnik, iqtisodiy va ekologik ko'rsatkichlari taqqoslandi. FEB va FIB larning iqtisodiy samardorligini baholash ikki metod bilan hisoblanadi. Birinchi metodda FEB va FIB lardan foydalanishda mamlakat yalpi ichki mahsulotlar tannarxiga nisbatan inflyatsiya (qurilma va ishlab chiqargan energiya narxlarining ortishi) hisobga olindi. Ikkinchi metodda FIB, FEB va ularni butlovchi qurilmalar sotib olingan kundan boshlab yaroqlilik muddatini hisobga olgan holda inflyatsiya va boshqa o'zgarishlar hisobga olinmaydi. FIB va FEB larning bir-biriga nisbatan iqtisodiy tahlil qilish uchun oddiy to'lov metodidan foydalanildi.

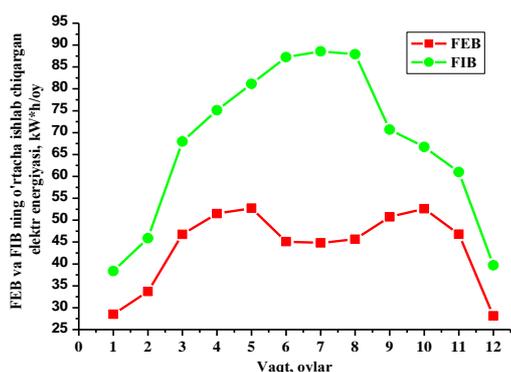
Taklif etilayotgan yechimlarning iqtisodiy samaradorligini baholash uchun FIB larni avtonom qo'llashda ham elektr energiya, ham issiq suvdan foydalanish davomida sarflangan xarajatlarni an'anaviy FEB lar bilan taqqoslandi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, FIB dan foydalangan holda ishlab chiqarilgan elektr energiyasining fasllar o'zgarishiga qarab 20-35% gacha oshirishni ta'minlaydi. Tadqiqot o'rtacha nominal quvvati 340 W bo'lgan FEB dan avtonom foydalangan holda o'tkazildi. Kutilayotgan iqtisodiy samarani FEB quvvatini IK va quyosh nurlanishini zichlashtirib beruvchi reflektorlar yordamida oshirish natijasida FEB larning sonini kamaytirish orqali erishildi. Oddiy to'lov metodi bilan FIB va FEB larning o'z-o'zini qoplash muddati va sof foyda ko'rsatkichlari 17-rasmda keltirildi. Hisob-kitoblar shuni ko'rsatdiki, bir dona 340 W quvvatdagi FEB dan FIB tayyorlash uchun 800 000 so'm qo'shimcha xarajat sarflandi. Agar FEB larni sovutish uchun ishlatilgan qo'shimcha materiallarning narxi (800 000 so'm) dan kelib chiqib olingan issiqlik energiya

miqdoriga nisbatan hisoblansa, FIB ning issiqlik kollektor qismi 4,3 yilga o‘z-o‘zini qoplashi aniqlandi.

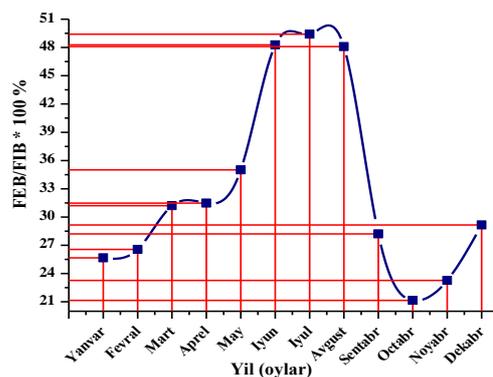


17-rasm. FIB va FEB larining o‘z-o‘zini qoplash muddati va sof foyda ko‘rsatkichlari

Umumiy ishlab chiqilgan energiya miqdoriga nisbatan FIB 6 yilga, FEB esa 9 yilga o‘z-o‘zini qoplab foyda olishga erishilishi aniqlandi. Shuning uchun markazlashgan energiya ta‘minotidan uzoqda yashovchi aholini turmush tarzini yaxshilash maqsadida AFIS lardan foydalanish maqsadga muvofiqdir.



18-rasm. FEB va FIB ning yil davomida ishlab chiqarilgan elektr energiyasining oylar kesimiga bog‘liq holda o‘zgarishi

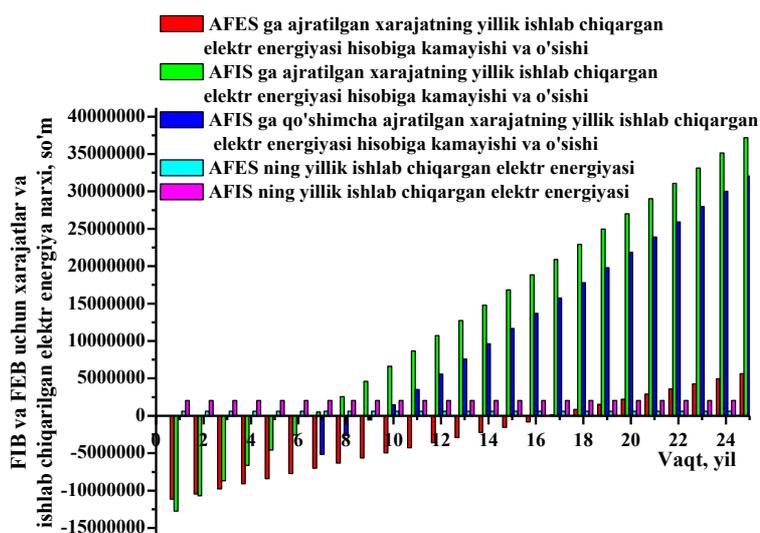


19-rasm. FEB va FIB ning yil davomida ishlab chiqarilgan elektr energiyasining oylar kesimiga bog‘liq holda o‘zgarishi

18-rasmda FEB va FIB larning ishlab chiqarilgan umumiy elektr energiya miqdori juda katta farq qilganligini ko‘rish mumkin. FIB FEB ga nisbatan energiya samaradorligi 50% gacha farqlanganligi 19-rasmda keltirilgan.

0,7 kW quvvatga ega sovitish sistemasi va quyosh nurlanish oqim zichligini oshiruvchi reflektorlar bilan jihozlangan FIB asosidagi AFIS o‘rnatgan oila o‘zining iste‘mol ehtiyojidan ortig‘ini O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 16-fevraldagi PQ-57-son (jismoniy shaxslarga tegishli obyektlarda o‘rnatilgan FEB larda ishlab chiqarilgan va o‘z iste‘molidan ortirib yagona elektr energetika tizimiga uzatilgan elektr energiyasining har bir kW·h ga Davlat byudjetidan 1 000 so‘mdan subsidiya ajratiladi) qarorida ko‘rsatilgan stavka bo‘yicha sotganda, bu stansiya o‘z-o‘zini 6 yilga qoplaydi. Agar AFIS ning butlovchi qismlarini yaroqlilik muddatini hisobga olgan holda almashtirilsa yoki qayta ta‘mirlansa 9 yilda qoplanishi aniqlandi. AFES va AFIS larning iqtisodiy samaradorliklari oddiy to‘lov metodi yordamida aniqlandi va olingan natijalar 20-rasmda keltirildi. AFES lar esa o‘z-o‘zini qoplash

muddati 14-16 yilni qamrab olishi aniqlandi. Har bir oila 0,7 kW quvvatga ega AFIS dan foydalansa, bir yil davomida 2460 kW·h elektr energiya ishlab chiqaradi.

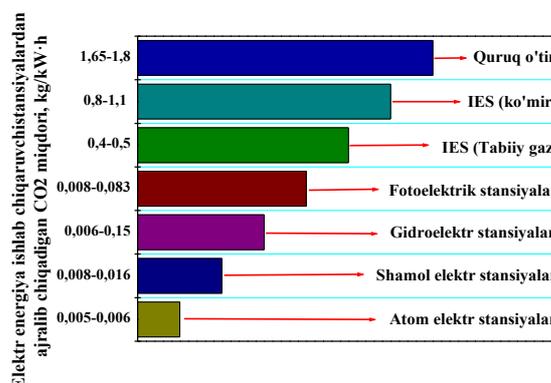


20-rasm. AFIS va AFES ning o'z-o'zini qoplash muddati va sof foyda ko'rsatkichlari

Natijada, bir yil davomida 2460 kW·h elektr energiya uchun ishlab chiqiladigan neft va gaz mahsulotlari zaxirasi ortadi. Tabiat shuncha miqdordagi neft va gaz mahsulotining yonishi natijasida ajralib chiqadigan zaharli chiqindilardan himoyalanaadi. An'anaviy yoqilg'ildan va FEB lardan foydalanib energiya ishlab chiqishda ajralib chiqadigan CO<sub>2</sub> miqdori tahlil qilindi. O'rganilgan tahlillar natijasida, butun dunyoda 1kW·h energiya ishlab chiqarish uchun ajralib chiqadigan CO<sub>2</sub> miqdori 21-rasmda keltirildi. AFES, AFIS lardan va boshqa issiqlik, elektr stansiyalaridan foydalanib ishlab chiqariladigan energiyadan ajralib chiqadigan CO<sub>2</sub> miqdori (kg CO<sub>2</sub> ekv/kW·h) 7-formula yordamida aniqlandi.

$$CO_2 K_{FEB} = \frac{CO_{2FEB25}}{E_{25ICHEE}} \quad (7)$$

7-formula yordamida 1kW·h elektr energiya ishlab chiqaruvchi an'anaviy yoqilg'idan foydalanuvchi stansiyalardan ajralib chiqadigan CO<sub>2</sub> miqdori aniqlandi. CO<sub>2</sub> ob-havoning o'zgarishiga olib keladi va global iqlim o'zgarishining muhim omilidir.



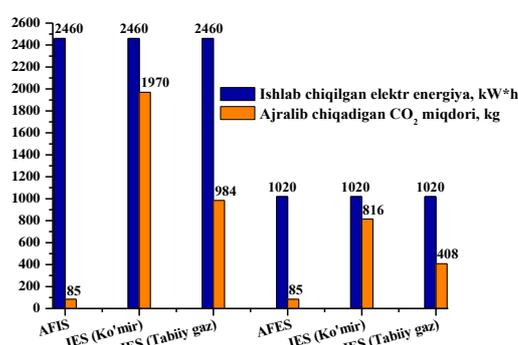
21-rasm. 1 kW·h elektr energiya ishlab chiqarish uchun sarflanadigan yoqilg'i miqdori va undan ajralib chiqadigan CO<sub>2</sub> miqdori

2-jadvalda 21-rasm ma'lumotlaridan kelib chiqib, taklif qilingan AFIS, AFES lardan foydalanib ishlab chiqiladigan energiyani an'anaviy yoqilg'ildan foydalanib ishlab chiqiladigan elektr energiya bilan taqqoslash orqali ajralib chiqadigan CO<sub>2</sub> miqdori taqqoslandi.

**Energiya ishlab chiqarish uchun AFIS, AFES va an'anaviy yoqilg'ildan foydalanishda ajralib chiqadigan CO<sub>2</sub> miqdori**

№	Stansiyalar nomi va yoqilg'i turi	Yillik ishlab chiqilgan elektr energiya, (kW·h)	Elektr energiya ishlab chiqaruvchi stansiyalardan foydalanilganda ajralib chiqadigan CO <sub>2</sub> miqdori, (kg)
1	AFIS	2460	85
	IES (Ko'mir)	2460	1970
	IES (Tabiiy gaz)	2460	984
2	AFES	1020	85
	IES (Ko'mir)	1020	816
	IES (Tabiiy gaz)	1020	408

2-jadval ma'lumotlari yordamida an'anaviy yoqilg'i manbalarining ishlab chiqargan CO<sub>2</sub> miqdori FEB lari ishlab chiqqan CO<sub>2</sub> bilan taqqoslangan grafigi 22-rasmda ko'rsatilgan. CO<sub>2</sub> chiqindilarini kamaytirish maqsadida FEB lari asosidagi FIB larni ishlab chiqarish, ekspluatatsiya qilib energiya ta'minoti tizimlarining samaradorligini oshirish metodlari taklif etildi. Markazlashgan energiya tarmoqlaridan uzoqda joylashgan aholini issiq suv va elektr energiyasi bilan ta'minlashda, asosan, AFES lardan foydalanish taklif qilindi. AFES lar uchun FEB lar asosidagi takomillashtirilgan FIB larni mintaqamizning markazlashgan energiya tarmoqlaridan uzoqda joylashgan hududlarida qo'llash taklif etildi. Taklif etilgan metod iqtisodiy jihatdan o'zini oqlashi asoslandi. Bundan tashqari, ekologik jihatdan ham o'z-o'zini oqlashi 22-rasmdagi ma'lumotlarda keltirilgan.



**22-rasm. AFIS, AFES dan va an'anaviy yoqilg'ildan foydalanishda elektr energiya ishlab chiqarishda ajralib chiqadigan CO<sub>2</sub> miqdorini taqqoslash**

22-rasmda AFES, AFIS va an'anaviy yoqilg'ildan foydalanishda ajralib chiqadigan CO<sub>2</sub> miqdori taqqoslandi. Natijada, an'anaviy yoqilg'iga nisbatan FEB lardan foydalanish CO<sub>2</sub> gazlar chiqindisini 90 % kamaytirishga erishildi. 3-jadval ma'lumotlariga ko'ra, taklif qilingan qurilmani aholi soni o'rtacha bo'lgan oilaga o'rnatilsa, bir kunda ~2 kg an'anaviy yoqilg'ini tejashga erishadi. Natijada, atrof-muhit 2 kg yoqilg'idan ajralib chiqadigan ~8,45 kg CO<sub>2</sub> dan himoyalaniadi. 0,7 kW li FIB dan bir yil davomida fodalanihganda, 0,73 tonna an'anaviy yoqilg'i tejaladi. Ekologik asoslaganda, atrof-muhitni 1 tonna CO<sub>2</sub> dan himoya qilish uchun 0,1 gektar maydondagi o'rmonni barpo etish kerak.

FIB asosidagi AFIS dan foydalanilganda, 3,1 tonna CO<sub>2</sub> dan atrof-muhit himoya qilinadi. Demak, 0,3 gektar o'rmon barpo qilingan sarf xarajatlar tejaladi. Bitta daraxt ekish uchun 57 000 (5\$) so'm sarflanadi. 0,3 gektar o'rmonga 1 200 ta ko'chat to'g'ri keladi. Taklif qilingan AFIS lardan foydalanilganda bir yilda 68,4 mln so'm

foйда keladi. FEB o‘z-o‘zini iqtisodiy qoplash muddati uzoq vaqtni o‘z ichiga oladi. Ammo ekologik juda katta foyda keltiradi. Qayta tiklanadigan energiyaning eng istiqbolli manbai sifatida energiya tizimlarida FEB larni modernizatsiya qilish taklif etildi. Ushbu texnologiya FEB asosidagi FIB lardan foydalanish muhim, bu esa yoqilg‘i sarfini va CO<sub>2</sub> chiqindilarini kamaytiradi.

## XULOSA

Dissertatsiya ishi bo‘yicha olib borilgan tadqiqot natijalaridan kelib chiqib quyidagi xulosalar taklif qilindi:

1. Markazlashgan energiya tarmoqlaridan uzoqda yashovchi aholini uzluksiz energiya bilan ta‘minlashda AFES lardan foydalanish imkoniyatlari o‘rganildi. Kristalli kremniy asosidagi FEB larning ishlash samaradorligiga ta‘sir qiluvchi tashqi omillar va ularni oldini olish imkoniyatlari aniqlandi.

2. AFES larni ishlash samaradorligini oshirishda tashqi omillarning ta‘sirini, ya‘ni harorat ta‘sirini kamaytirishda FEB lar orqa yuzasiga issiqlik kollektori o‘rnatish, quyosh nurlanish oqim zichligini oshirish uchun yon tomonlarga reflektorlar o‘rnatish, quyosh nurlanish oqimining tushish burchagini optimallashtirish uchun ikki o‘q bo‘yicha harakatlanuvchi mobil konstruksiya ishlab chiqildi;

3. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, FIB frontal yuzasiga tushadigan quyosh nurlanishi oqim zichligini oshirishda reflektorlardan foydalanib qo‘zg‘almas tayanch konstruksiyaga o‘rnatilganda 1,5 marta, ikki o‘q bo‘yicha harakatlanuvchi tayanch konstruksiyaga o‘rnatilganda esa 1,7 martaga ortishi bilan ishlab chiqarilgan issiqlik energiyasi 20%, 50% gacha oshirildi. FEB larning quvvat samaradorligi yozda 62%, bahorda 47%, kuzda 37% va qishda 26% gacha qayta tiklashga erishildi.

4. PV SYST.7.2 dasturi yordamida AFES larda tashqi ta‘sirlar natijasida yuzaga keladigan yo‘qotishlar o‘rganildi. O‘rganishlardan aniqlandiki, AFES lar quvvatining iste‘molchi quvvatiga mos kelmasligi (iste‘molchi quvvatidan AFES ning quvvati katta yoki kichik bo‘lishi) sababli yuzaga keladigan eng katta yo‘qotish 69% tengligi aniqlandi.

5. COMSOL Multiphysics 5.6 dasturiy paketi yordamida FEB lar asosidagi FIB larning issiqlik va gidrodinamik parametrlari ekstremal sharoitlarda olib borilgan tadqiqot natijalari bilan taqqoslandi. Taqqoslashlar natijasida tajriba va nazariy natijalar bir-biriga mosligi aniqlandi.

6. Markazlashgan energiya tarmoqlaridan uzoqda yashovchi aholini arzon sifatli va ekologik toza elektr energiya bilan ta‘minlash maqsadida AFIS lardan foydalanish yuqori samardorlikka egaligi aniqlandi. Tajriba natijalari shuni ko‘rsatdiki, AFIS va AFES lardan foydalanishda oddiy to‘lov usuli bilan iqtisodiy jihatdan o‘z-o‘zini qoplash 6-9 va 14-16 yilga tengligi aniqlandi.

7. AFIS lardan foydalanishning asosiy afzalliklari shundan iboratki, 1 tonna shartli yoqilg‘ilardan foydalanib, elektr energiya ishlab chiqarishda ajralib chiqadigan CO<sub>2</sub> gazidan atmosferani himoya qilish uchun 0,1 gektar maydondagi o‘rmon barpo qilishga sarflangan xarajatlar tejaladi. Natijada, 0,3 gektar o‘rmon barpo qilish uchun sarflangan xarajatlar tejalishi aniqlandi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD.03/30.09.2020.Т.111.03  
ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ КАРШИНСКОМ  
ИНЖЕНЕРНО-ЭКОНОМИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

---

**ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**ХОЛОВ УЙГУН РАУФОВИЧ**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ И  
ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ АВТОНОМНЫХ  
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

**05.05.06 – Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии**

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

**Карши – 2024**

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2021.1.PhD/T1641

Диссертация выполнена в Физико-техническом институте  
Автореферат диссертации на трех языках (русский, узбекский, английский) размещен на веб-странице Научного совета ([www.qmtii.uz](http://www.qmtii.uz)) и информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ziyounet.uz](http://www.ziyounet.uz)).

**Научный руководитель:** Турсунов Мухамад Нишанович  
доктор технических наук

**Официальные оппоненты:** Мирзаев Шавкат Мустакимович  
доктор технических наук, профессор

Пайзуллахонов Мухаммеде-Султанхон  
Сайдивалиханович  
доктор технических наук, с.н.с

**Ведущая организация:** Гулистанский государственный университет

Защита состоится «3» 04 2024 года в 10<sup>00</sup> часов на заседании Научного Совета PhD.03/30.09.2020.T.111.03 при Каршинском инженерно-экономическом институте. (Адрес: 180100, г. Карши, ул. Мустакиллик, 225. Зал конференции Каршинского инженерно-экономического института. Тел/Факс: (75) 224-02-89/224-13-95, e-mail: [kiei\\_info@edu.uz](mailto:kiei_info@edu.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в информационно-ресурсном центре Каршинского инженерно-экономического института (зарегистрирована за № 97). (Адрес: 180100, г. Карши, ул. Мустакиллик, 225. Тел: (99875) 224-02-89, факс: (99875) 224-13-95, e-mail: [kiei\\_info@edu.uz](mailto:kiei_info@edu.uz)).

Автореферат диссертации разослан «25» 03 2024 года.  
(протокол рассылки № 15 от «25» 03 2024 г.)



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

**А.А. Давлонов**  
Заместитель секретаря научного совета по присуждению ученых степеней, д.ф.т.н., доцент

**Б. Уришев**  
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 при решении проблем расширения возможностей использования возобновляемых источников энергии, экономии традиционных топливно-энергетических ресурсов и сокращения антропогенных выбросов в окружающую среду особое значение придается вопросам внедрения и повышения эффективности использования солнечных фотоэлектрических батарей. В настоящее время в естественных условиях 20% плотности потока солнечного излучения, падающего на фронтальную поверхность фотоэлектрических батарей, преобразуется в электрическую энергию, а остальная часть – в тепло<sup>1</sup>. В результате эффективность работы фотоэлектрических батарей снижается. Кроме того, температура наружного воздуха, запыленность, плотность потока солнечного излучения и углы установки относительно горизонта также оказывают огромное воздействие, ускоряя процессы деградации фотоэлектрических батарей. Именно поэтому на практике уделяется особое внимание разработке и применению в автономных системах энергоснабжения усовершенствованных фототепловых установок с целью повышения технико-экономической, энергетической и экологической эффективности фотоэлектрических батарей путем их защиты от внешних воздействий.

В целях снижения внешнего деградационного воздействия (температуры воздуха, пыли и потока солнечного излучения)<sup>2</sup> на функциональные возможности фотоэлектрических батарей, состоящих из кристаллических кремниевых солнечных элементов, и повышения их эффективности в мире проводятся исследования по таким направлениям, как разработка фототепловых батарей, усовершенствованных и доукомплектованных тепловыми коллекторами из различных материалов двух методов действия (активным и пассивным), использование рефлекторов для повышения плотности потока солнечного излучения днем и защиты от запыления в ночное время суток. Осуществляются и научные исследования, связанные с установкой рефлекторов, которые позволяют увеличить солнечное излучение, падающее на фронтальную поверхность фотоэлектрических батарей, и защитить их от запыления в ночное время. В ходе исследований по данному направлению, и в частности, по повышению эффективности фототепловых батарей на основе фотоэлектрических батарей, особое внимание уделяется разработке и внедрению устройств, имеющих доступную, легкую, усовершенствованную и удобную опорную конструкцию, на основе моделирования для изучения электрофизических и тепло-технических параметров и сравнения их с результатами теоретических исследований.

В целях экономии запасов органического топлива, снижения уровня загрязнения воздуха при их использовании и предотвращения глобального

---

<sup>1</sup>Weisz P.V. Basic Choices and Constraints on Long-Term Energy Supplies // Physics Today, 2004, pp.141-144.

<sup>2</sup>Турсунов М.Н., Холов У.Р., Ахтамов Т., Эшматов М., Аликулов Р., Исмаилов Н. Влияние окружающей среды и структуры поверхности защитных стекол на параметры фотоэлектрических батарей // Сборник материалов международной научной конференции “Тенденции развития физики конденсированных сред”, Фергана, 25.05, 2021 год. с.150-156.

потепления в нашей республике проводится ряд научных исследований и достигаются важные результаты по обеспечению потребностей потребителей в энергии за счет использования возобновляемых источников энергии и энергосберегающих технологий, в том числе по наладке автономного и устойчивого энергоснабжения для территорий, удаленных от систем централизованного энергоснабжения. В постановлении Президента Республики Узбекистан от 10 июля 2020 года №ПП-4779 “О дополнительных мерах по сокращению зависимости отраслей экономики от топливно-энергетической продукции путем повышения энергоэффективности экономики и задействования имеющихся ресурсов” намечен ряд важнейших задач, нацеленных на “...стимулирования эффективного и рационального использования топливно-энергетических ресурсов, широкого внедрения возобновляемых источников энергии в экономике страны...”<sup>3</sup> и их эффективное использование.

Данная диссертационная работа служит в определенной мере способствовать реализации задач, сформулированных в Указе Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № УП-60 “О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы” и постановления Президента Республики Узбекистан от 16 февраля 2023 года № ПП-57 “О мерах по ускорению внедрения возобновляемых источников энергии и энергосберегающих технологий в 2023 году”, а также других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Данное диссертационное исследование соответствует приоритетному направлению развития науки и технологий IV “Развитие методов использования возобновляемых источников энергии, создание устройств и технологий на основе нанотехнологий, фотоники и других современных передовых технологий”.

**Степень изученности проблемы.** Научные исследования, связанные с разработкой фототепловых батарей на основе фотоэлектрических батарей и повышением их эффективности, осуществляются в ведущих мировых научно-исследовательских институтах и научных центрах. Из зарубежных ученых научные исследования по повышению эффективности работы фотоэлектрических батарей проводили К.А. Moharram (Египет), N.A. Rahim (Саудовская Аравия), V. N. Palaskar (Индия), Muhammad Adil Khan (Корея), Tresna Dewi (Индонезия), Д.С. Стребков (Россия), Хуеjian Ма (Китай), Muhammad A. Bashir (Пакистан), Amit H. Munshi (США), Ammar A. Farhan (Ирак), David Parlevliet (Австралия), Furqan Tahira (Катар), Nasrin Abdollahi (Иран) и другие.

В нашей стране научно-исследовательскую работу по повышению эффективности фотоэлектрических батарей и изучению электрофизических и тепловых характеристик солнечных элементов проводили Т.Т.Рискиев,

---

<sup>3</sup>Постановление Президента Республики Узбекистан от 10 июля 2020 года №ПП-4779 “О дополнительных мерах по сокращению зависимости отраслей экономики от топливно-энергетической продукции путем повышения энергоэффективности экономики и задействования имеющихся ресурсов”

Р.А.Захидов, Р.А.Муминов, М.Н.Турсунов, Р.Р.Авезов, В.Г.Дыскин, Х.Сабилов, Б.Е.Хайриддинов, И.А.Юлдошев, А.Г. Комилов, Ж.С.Ахатов и другие.

Не смотря на положительные результаты, достигнутые при проведении исследований по повышению эффективности работы фототепловых батарей на основе фотоэлектрических батарей, вопросы сокращения затрат путем совершенствования технологии производства и экономии используемых материалов, установки рефлекторов, повышающих плотность потока солнечного излучения и снижающих уровень запыления ночью, моделирования с учетом интеграции всех устройств, исследованы недостаточно.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательских работ Физико-технического института в рамках проекта № PFI FA-F3-004 “Изучение методов формирования новых фундаментальных физических моделей, механизмов, высокоэффективных и доступных фотопреобразователей, а также созданных на их основе устойчивых фотоэнергетических устройств” (2017-2020).

**Цель исследования** заключается в совершенствовании и обосновании энергетической и технико-экономической эффективности фототепловой батареи на основе фотоэлектрической батареи в процессе надежного снабжения автономных потребителей электроэнергией и горячей водой.

**Задачи исследования:**

анализ текущего состояния, перспектив и проблем использования фотоэлектрических устройств автономными потребителями;

экспериментальное определение потерь энергии, возникающих при эксплуатации автономных фотоэлектрических устройств;

разработка усовершенствованной фототепловой батареи на основе фотоэлектрической батареи для повышения энергоэффективности автономных фотоэлектрических устройств;

прогнозирование и моделирование при помощи программы PV SYST.7.2 энергетических показателей автономного фотоэлектрического устройства с учетом влияния внешних факторов;

моделирование теплотехнических и гидродинамических процессов усовершенствованной фотоэлектрической батареи при помощи программы COMSOL Multiphysics 5.6;

оценка технико-экономических и экологических показателей эффективности работы автономных фотоэлектрических и фототепловых установок.

**Объектом исследования** является выбрана новая, высокоэффективная фототепловая батарея на основе фотоэлектрической батареи из монокристаллического кремния.

**Предметом исследования** является изучение оптических и электрофизических свойств фототепловых батарей на основе фотоэлектрических батарей, а также теплотехнических, гидродинамических процессов с учетом метеорологических факторов (плотности потока солнечного

излучения, температуры окружающей среды, атмосферной пыли, скорости ветра и других).

**Методы исследования.** Применялись такие методы, как математическое моделирование, экспериментальное исследование вольт-амперных и вольт-ваттных характеристик, электрофизических и тепловых параметров фототепловой установки, обобщение результатов эксперимента и современная теория расчета.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

впервые разработана автономная и передвижная фототепловая установка с тепловым коллектором из сотового поликарбоната с параллельным каналом, полным тепловым контактом и позволяющая круглогодично непрерывно и качественно обеспечивать электроэнергией и горячей водой сельские объекты и фермерские хозяйства, удаленные от систем централизованного энергоснабжения (SAP 02301);

впервые для автономных фотоэлектрических станций разработана усовершенствованная система обеспечения, состоящая из фотоэлектрических батарей на основе кристаллического кремния с водяным охлаждением задней поверхности и рефлектором, защищающим фронтальную поверхность от ночного запыления и обеспечивающим увеличение плотности потока солнечного излучения;

разработана математическая модель, позволяющая на основе уравнений теплоотдачи потока и гидродинамики рассчитать изменение температуры фронтальной поверхности фотоэлектрической батареи исходя из расхода воды, температуры наружного воздуха, плотности потока солнечного излучения при значениях числа Рейнольдса ниже 2300;

разработана методика определения энергоэффективности при автономном использовании фототепловых и фотоэлектрических батарей с учетом тока короткого замыкания и напряжения холостого хода, связанных с изменением температуры наружного воздуха, а также потерь энергии в автономных фототеплоэлектрических установках.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

на основе фотоэлектрической батареи из кристаллического кремния разработан опытный образец усовершенствованной и адаптированной к сухому климату фототепловой батареи;

разработана автономная и передвижная фототепловая установка, созданная на основе фототепловой батареи с коллектором из поликарбоната, полным тепловым контактом и параллельным каналом;

тепло-технические и гидродинамические процессы фототепловых батарей смоделированы при помощи компьютерной программы для сравнения экспериментальных и теоретических данных.

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность результатов исследования подтверждается использованием современных методов исследования, а также соответствием результатов экспериментов по изучению теплотехнических и электрофизических параметров установки, проведенных в естественных условиях, теоретическим результатам.

### **Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов исследования заключается в разработке математической модели, позволяющей снизить воздействие температуры наружного воздуха и плотности потока солнечного излучения на работу фотоэлектрических батарей и обеспечить их эффективное функционирование, а также в создании алгоритма расчета параметров и в изучении влияния степени запыленности на производительность фотоэлектрических батарей.

Практическая значимость результатов исследования состоит в том, что для повышения эффективности работы фотоэлектрических батарей были созданы усовершенствованные, качественные и доступные фототепловые батареи, которые являются более эффективными в технико-экономическом и экологическом плане по сравнению с другими аналогами.

**Внедрение результатов исследования.** На основе научных результатов, полученных в процессе автономного использования фототепловых устройств, повышения эффективности их работы, разработки и внедрения усовершенствованной технологии создания:

в Агентстве по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан получен патент на промышленный образец передвижной фототепловой установки малой мощности (№ SAP 02301; 2022 год). В результате автономные потребители, расположенные вдали от систем централизованного энергоснабжения, обеспечены установкой, производящей электроэнергию и горячую воду. Благодаря внедрению данной установки в практику достигнута среднегодовая эффективность мощности до 43%.

Фототепловая батарея, усовершенствованная на автономных фотоэлектрических станциях, была внедрена в ООО “SOLAR NATURE” NATURE” (справка № 04-3/699 от 5 июня 2023 года ассоциации “Uzeltexsanoat”). В результате проведенных исследований было достигнуто восстановление энергоэффективности фототепловых батарей до 50 % относительно традиционных фотоэлектрических батарей и сокращение до 90% вредных выбросов в окружающую среду.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования апробированы на 7 научно-практических конференциях, в том числе 5 международных и 2 – республиканских.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано 25 научных работ, в том числе 5 – в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан к публикации основных научных результатов докторских диссертаций, еще 2 – в журналах, индексируемых в базе Scopus. В Агентстве по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан получен патент на промышленный образец и 2 свидетельства об официальной регистрации программных продуктов для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 120 страницы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** обосновывается актуальность и востребованность исследования, содержится обзор зарубежных научных работ по теме исследования и раскрывается степень изученности проблемы, показывается соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий в нашей республике, указываются цель и задачи, объект и предмет исследования, научная новизна исследовательской работы подтверждается работами, опубликованными на основе практического результата реализации поставленных цели и задач, приводятся данные по объему и структуре диссертации.

В первой главе диссертации, озаглавленной **“Анализ современного состояния повышения эффективности фотоэлектрических батарей”**, проанализировано современное состояние технологии получения и изготовления солнечного элемента (СЭ) из кремниевого материала. Представлен анализ научных исследований, проведенных зарубежными учеными, в том числе из стран СНГ, а также отечественными учеными в основном о влиянии на эффективность работы фотоэлектрических батарей (ФЭБ) температуры, запыления и углов установки ФЭБ на опорную конструкцию относительно горизонта. Также приводятся результаты анализа по повышению эффективности работы ФЭБ и защите ее от запыления при помощи активных и пассивных методов охлаждения ФЭБ для восстановления потерь энергии в ходе эксплуатации. Вместе с тем анализируется и эксплуатация современных дополнительных комплектующих при использовании автономных фотоэлектрических станций (АФЭС). Исходя из анализа изученной литературы, сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе диссертации, озаглавленной **“Исследование потерь энергии при использовании автономных фотоэлектрических станций”**, при помощи компьютерной программы путем сравнения результатов экспериментов с теоретическими результатами смоделированы потери, возникающие в результате работы АФЭС (из-за высоких температур, процессов деградации, а также в точках коммутации и проводах). При этом было выявлено, что несоответствие технических параметров ФЭБ и комплектующих устройств также снижает эффективность работы АФЭС. В ходе проведенных исследований были сопоставлены и изучены преимущества и недостатки фотоэлектрических станций (ФЭС), работающих автономно и с прямым подключением к сети. Определены важные задачи по выбору оптимального варианта использования АФЭС, ее изучению, эксплуатации и снижению затрат на техническое обслуживание.

Для определения потерь, возникающих при эксплуатации АФЭС, на автомобильной стоянке Физико-технического института в городе Ташкенте был установлен экспериментальный вариант АФЭС мощностью 2,7 кВт. Постепенное снижение силы зарядного тока в АБ до 1 А наблюдалось посредством МРРТ контроллера. В результате было выявлено, что после

завершения стадии заряда АБ от электроэнергии, произведенной ФЭБ, зарядный ток преобразуется в тепло (рис. 1).

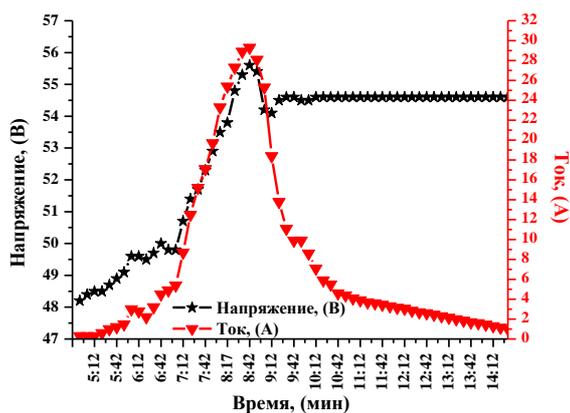


Рис. 1. График зависимости напряжения и силы тока, произведенного ФЭБ и подаваемого посредством МРРТ контроллера, от времени (20 мая 2020 года)

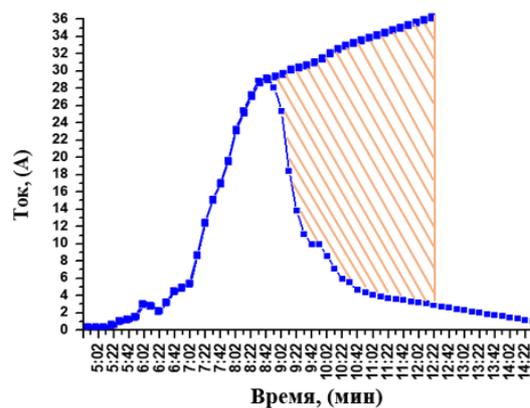


Рис. 2. Часть тока, произведенного ФЭБ и преобразованного МРРТ контроллером в тепло после заполнения заряда АБ (20 мая 2020 года)

На рис. 1 показана зависимость процесса заряда АБ посредством МРРТ контроллера при помощи электроэнергии, произведенной ФЭБ в течении дня, от времени суток. Красная кривая характеризует ток, подаваемый от контроллера к АБ, а черная кривая – напряжение. Увеличение, а затем уменьшение напряжения, показанное на рис. 1, отражает его зависимость от температуры окружающей среды. А сила тока сначала возрастает и затем падает, во-первых, в результате повышения плотности потока солнечного излучения на фронтальную поверхность ФЭБ. Во-вторых, избыточный заряд, подаваемый контроллером в результате заполнения заряда АБ, преобразуется в тепло и рассеивается в окружающую среду. Если мощность потребителя будет меньше электроэнергии, произведенной АФЭС, МРРТ контроллер преобразует избыточное количество заряда в тепло. В результате эффективность работы АФЭС снизится. На рис. 2 показано, что количество заряда, преобразованного МРРТ-контроллером в тепло, равняется поверхности, выделенной сплошными линиями. Максимальная плотность потока солнечного излучения, падающего на фронтальную поверхность ФЭБ, приходится на промежуток времени  $12^{00} \div 13^{00}$  часов, поскольку ФЭБ установлена на неподвижной опорной конструкции. Но на графике на рисунке 2 кривая показывает, что количество заряда, подаваемого МРРТ-контроллером в АБ, достигло максимума в промежутке времени  $8^{30} \div 9^{00}$  часов. Можно увидеть, что количество заряда, передаваемого МРРТ-контроллером, автоматически преобразуется в тепло по мере того, как происходит заполнение заряда АБ.

В ходе исследовательской работы для изучения потерь, возникающих в процессе использования АФЭС, было проведено моделирование с использованием программы PV SYST. 7.2. В результате исследования были изучены рабочее состояние и потери АФЭС общей мощностью 2,7 кВт, установленной на крыше автостоянки. Определено, что, исходя из требований потребителя, при соответствующем выборе технических параметров всех устройств, составляющих АФЭС, некоторые потери можно свести к минимуму.

На АФЭС, установленной в неподвижном состоянии под углом  $38^\circ$  на крыше автостоянки, самая большая потеря была зафиксирована в период с апреля по сентябрь. Она произошла из-за угла установки ФЭБ и достигла 20%. С октября по март этот показатель составил 1,7%. PR - коэффициент работы для определения степени использования всей системы ФЭБ рассчитывается по формуле 1:

$$PR_{AFES} = \frac{E_{KichEE} \text{ (кВт}\cdot\text{час)}}{E_{СТС} \text{ (кВт}\cdot\text{час)}} \cdot 100\% \quad (1)$$

При помощи формулы 1 был произведен расчет коэффициента работы АФЭС. Однако, если в АФЭС используется усовершенствованная ФТБ на основе ФЭБ, то есть для расчета PR-коэффициент работы автономных фототепловых станций была предложена формула 2:

$$PR_{AFTC} = \frac{E_{KichEE} \text{ (кВт}\cdot\text{час)}}{E_{СТС} \text{ (кВт}\cdot\text{час)}} \cdot 100\% \quad (2)$$

Установлены нерациональные потери электроэнергии при организации работы системы и в процессе заряда аккумуляторов, которые составили 2,85 кВт·ч/день электроэнергии по причине подключения потребителя, несоответствующего мощности АФЭС, 0,85 кВт·ч/день электроэнергии, преобразуемой MPPT контроллером в тепло, 0,17 кВт·ч/день электроэнергии, теряемой при сборе заряда. В случае подключения потребителя, несоответствующего мощности АФЭС, наряду с воздействием окружающей среды, деградиционных процессов и запыления, выявлены также дополнительные потери в результате преобразования MPPT контроллером

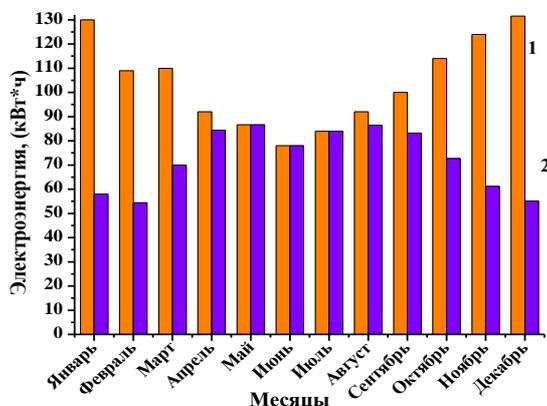


Рис. 3. Распределение электроэнергии по месяцам года. 1 - моделирование в программе PV SYST.7.2, 2 - результаты эксперимента



Рис. 4. Эффективность работы АФЭС и показатели возникающих потерь

неиспользованной электроэнергии в бесполезное тепло. На рис. 3 приведены результаты расчетов в программе PV SYST.7.2 и результаты эксперимента. Результаты моделирования показали, что, помимо внешних деградиционных эффектов, ежедневные и ежемесячные потери из-за неиспользованного электричества составили 69% (рис. 4). На рис. 5 приведено среднее значение угла установки ФЭБ на неподвижную опорную конструкцию для каждого месяца в течение года. Расчет углов установки производился с учетом географической широты места установки (для города Ташкента –  $41^\circ$ ) по формуле 3:

$$\beta_0 = \varphi - \delta_0 \quad (3)$$

Для того, чтобы фронтальная поверхность ФЭБ была постоянно расположена перпендикулярно солнечным лучам, угол склонения солнца  $\delta_0$  был определен при помощи формулы Купера:

$$\delta_0 = 23,45 \cdot \sin\left(360 \frac{284+n}{365}\right) \quad (4)$$

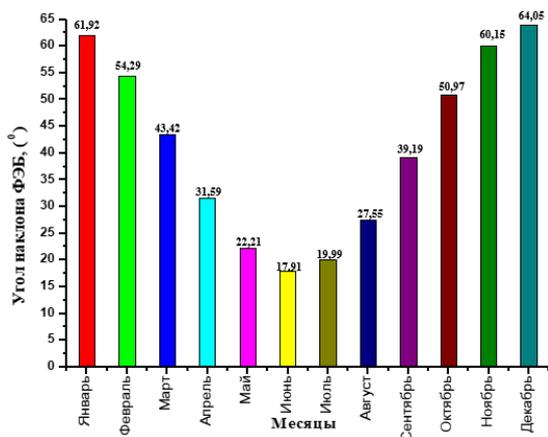


Рис. 5. Оптимальный угол установки ФЭБ относительно горизонта по месяцам года

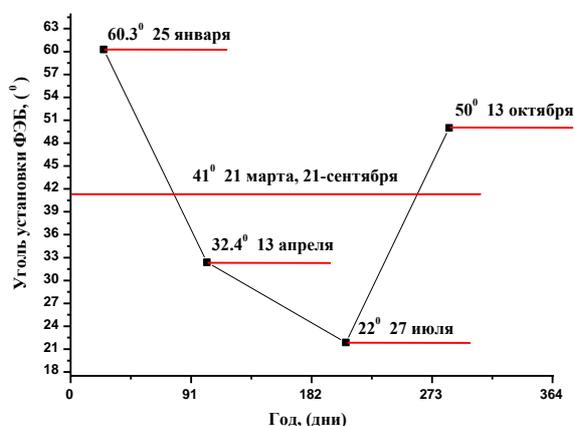


Рис. 6. Оптимальный угол установки ФЭБ относительно горизонта в разное время года

Для установки ФЭБ в соответствии с расчетами, представленными на рис. 5, потребуется система, движущаяся вдоль двух осей. Однако стоимость электроэнергии, вырабатываемой с использованием такой конструкции, вырастет еще больше. Поэтому правильнее будет установить ФЭБ под оптимальным углом в разрезе сезонов или в течение всего года. Для получения результатов исследования, показанных на рис. 6, были определены оптимальные углы установки ФЭБ в неподвижном состоянии для каждого сезона и в течение года. Установлено, что годовой оптимальный угол установки равен углам географической широты (весеннее и осеннее равноденствие) места проведения исследования. Эффективность результатов, полученных с использованием значений углов установки ФЭБ, расчет которых производился по формулам 3, 4, показаны на рис. 7.

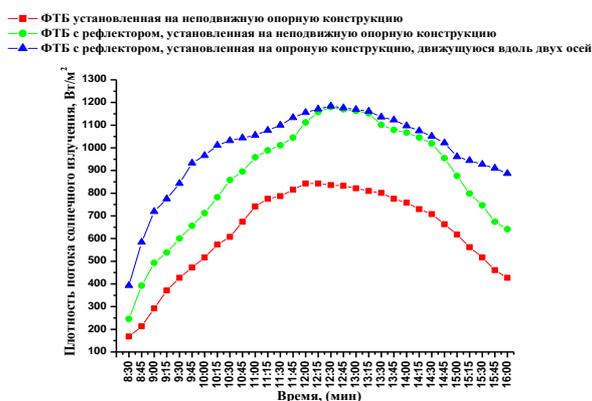


Рис. 7. График зависимости плотности потока солнечного излучения от времени

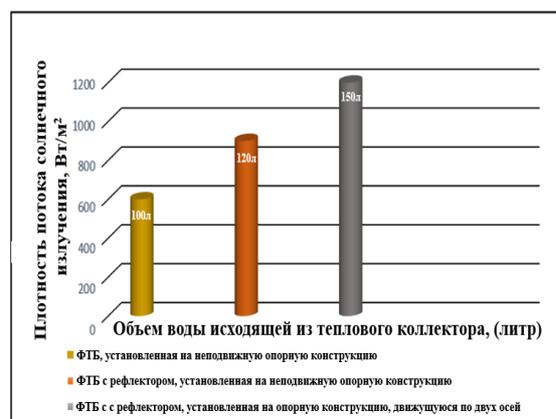


Рис. 8. График зависимости объема горячей воды от плотности потока солнечной радиации.

За счет плотности потока солнечного излучения (красная кривая), падающего на фронтальную поверхность ФТБ, установленной на неподвижной опорной конструкции, в ходе эксперимента было получено 100 литров горячей

воды (рис.7). В положении, при котором ФТБ также была установлена на неподвижной опорной конструкции, только с размещенными соответствующим образом боковыми рефлекторами, увеличивающими плотность потока солнечного излучения (зеленая кривая), было получено 120 литров горячей воды. Объем горячей воды, полученной при использовании боковых рефлекторов, увеличивающих плотность потока солнечного излучения на фронтальную поверхность ФТБ, закрепленной на подвижной опорной конструкции и движущейся вдоль двух осей (синяя кривая), достиг 150 литров. В ходе эксперимента во всех трех случаях температура входящей холодной воды составляла  $8^{\circ}\text{C}$ , а температура исходящей воды повышалась до  $40^{\circ}\text{C}$  (рис. 8).

В ходе исследований были сопоставлены значения напряжения холостого хода и тока короткого замыкания ФЭБ и ФТБ (Рис. 9). На 1-ом интервале на рис. 9а отражена работа ФТБ в режиме ФЭБ. Из-за отсутствия конвективного теплообмена задней поверхности ФЭБ с внешней средой (на задней поверхности ФЭБ имеется охлаждающий ТК и изоляционный слой) напряжение холостого хода резко снизилось. На 2-ом интервале после открытия боковых рефлекторов повышение плотности потока солнечного излучения, падающего на поверхность ФЭБ, привело к дополнительному нагреванию задней поверхности. В результате снижение напряжения холостого хода продолжилось и на 3-ем интервале, после циркуляции в ТК воды наблюдалось повышение напряжения холостого хода ФЭБ. На рис. 9б отражена зависимость значений тока короткого замыкания ФЭБ и ФТБ от времени.

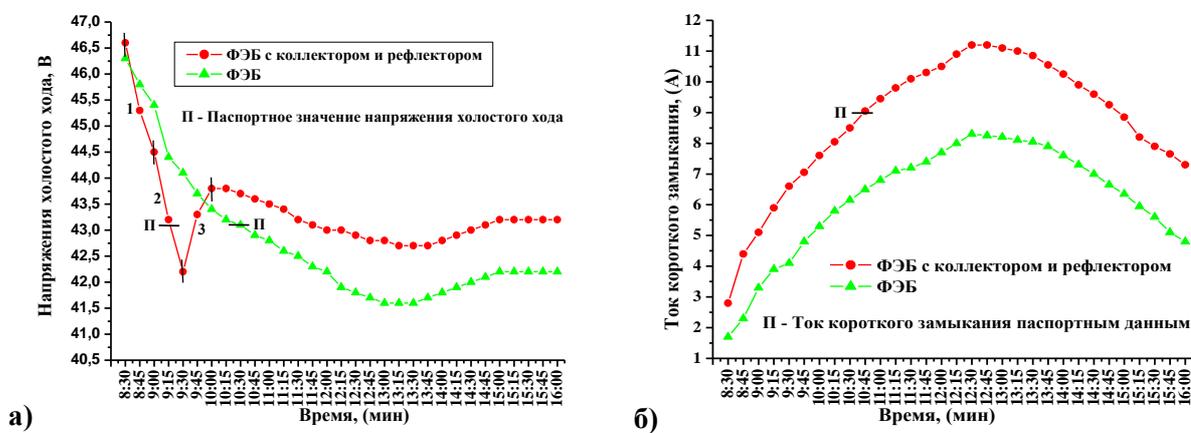


Рис. 9. Графики зависимости напряжения холостого хода (а), тока короткого замыкания (б) от времени

По рис. 9б было определено, что, если плотность потока солнечного излучения составляет  $1000 \text{ Вт/м}^2$ , то значение тока короткого замыкания будет равно 9А. Это показатель, указанный в паспорте сертификации ФЭБ. Определено, что плотность потока солнечного излучения, падающего на фронтальную поверхность ФЭБ, если та установлена на неподвижной опорной конструкции, возрастает в 1,5 раза, если ФЭБ установлена на подвижной опорной конструкции, движущейся вдоль двух осей, - в 1,7 раза, а объем произведенной тепловой энергии увеличивается от 20% до 50%. В зимнее время использование боковых рефлекторов и оптимальных углов установки обеспечивает эффективную работу ФТБ. Основываясь на результатах исследований, полученных в зимнее время (в январе), можно сделать вывод, что

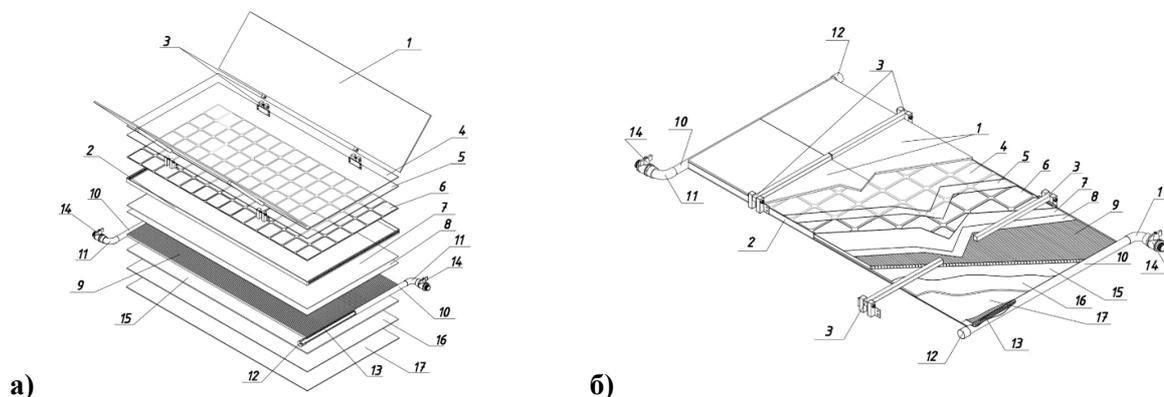
при помощи установок на основе ФТБ можно обеспечивать население электроэнергией и горячей водой круглогодично.

В третьей главе диссертации, озаглавленной “**Методы повышения надежности автономных фотоэлектрических станций**”, описана технология изготовления ФТБ. Используя результаты, полученные с помощью усовершенствованного устройства, эффективность фототепловой батареи была рассчитана по формуле 5:

$$\eta_{эл} = \frac{P_H}{E \cdot S_{акт}} \quad (5)$$

При расчете тепловой эффективности полученной из ФТБ горячей воды была использована формула 6:

$$\eta_T = \frac{P_T}{E \cdot S_{ТК}} \quad (6)$$



1-рефлектор, 2-рама из алюминия, 3-двойные гайки-болт, 4-ФЭБ (4-закалённое стекло, 5,7-плёнка ЭВА, 6-СЭ, 8-белая защитная пленка, 9- сотовый поликарбонат, 10-полимерная труба, 11-медный металлический переходник с резьбой, 12-пробки, 13-щель, 14-краны, 15-фольгоизол, 16-пенопласт, 17-тыльная крышка, 18-коробка для клеммы

**Рис. 10. Аксонометрический - а, и внешний вид - б ФТБ.**

На рис. 10 а,б показаны аксонометрическая проекция и внешний вид ФТБ с параллельно канальным поликарбонатным коллектором и полным тепловым контактом. Результаты, которые были получены на устройствах, установленных под оптимальными углами, приведены в таб. 1. Для каждого времени года были определены оптимальные углы установки ФЭБ и проведены исследования. Выявленные углы установки считаются оптимальными для каждого времени года.

**Таблица 1.**

**Результаты, полученные на устройствах, установленных под оптимальными для различных времен года углами**

Сезоны	Весна	Лето	Осень	Зима
Плотность потока солнечного излучения без рефлектора, Вт/м <sup>2</sup>	690-750	735-820	670-720	640-670
Плотность потока солнечного излучения с рефлектором, Вт/м <sup>2</sup>	970	1100	930	870
Угол установки, °	32	22	50	60
Температура входящей воды ТК, °С	13	22	14	6
Температура исходящей воды ТК, °С	40	40	40	40
Объем воды, исходящей из ТК, литр/час	42	65	39	20

Зависимость напряжения холостого хода и тока короткого замыкания ФЭБ/ФТБ от времени суток, определенные при помощи данных таблицы 1, отражены на рис. 11а,б.

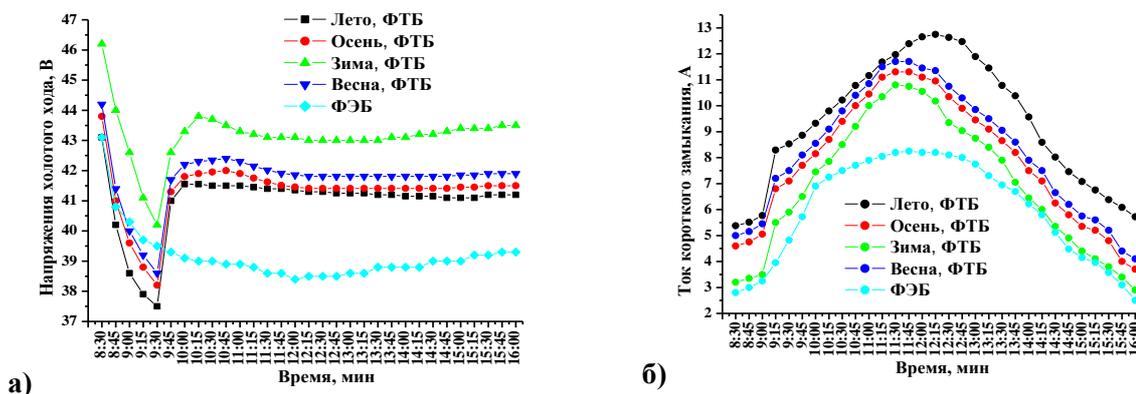


Рис. 11. Графики зависимость напряжения холостого хода (а) и тока короткого замыкания (б) ФЭБ, ФТБ от времени суток

Зависимость напряжения холостого хода ФЭБ и ФТБ от времени отражена на рис. 11а. На рис. 11а можно увидеть, что, после того, как при подъеме рефлекторов, повышающих плотность потока солнечного излучения, изменение напряжения холостого хода снижается на очень малые значения (остается без изменений), к ТК подсоединяется вода наружной температуры. Для предупреждения повышения температуры задней поверхности ФТБ температура воды, исходящей из ТК, сохранялась строго на уровне оптимальных 40°C. Было установлено, что, используя ФЭБ мощностью 340 Вт, при такой температуре исходящей воды можно постоянно восстанавливать среднее значение напряжения холостого хода ФТБ летом до 41 В, весной до 42 В, осенью до 41,5 В и зимой до близкого к паспортному значению 43 В. В то же время значение тока короткого замыкания ФЭБ и ФТБ зависит в основном от плотности потока солнечного излучения, падающего на фронтальную поверхность ФТБ. Как показано на рис. 11б, при использовании рефлекторов, которые повышают плотность потока солнечного излучения, падающего на фронтальную поверхность ФТБ, установленной под оптимальным углом для соответствующего времени года, эти значения составляют летом 12,5А, весной 11,7А, осенью 11,2А и зимой 10,7А.

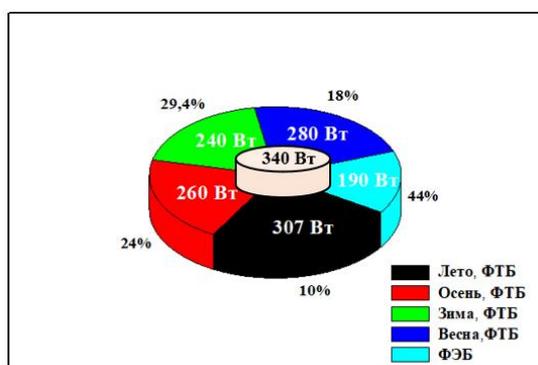


Рис. 12. Коэффициент изменения мощности ФТБ и ФЭБ в зависимости от времени года

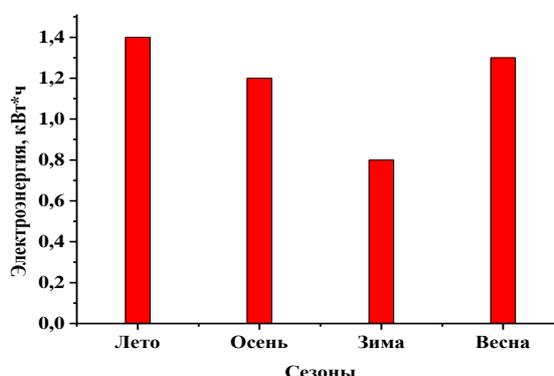


Рис. 13. Часовое распределение электроэнергии, сэкономленной на подогреве горячей воды, полученной из ФТБ, в разрезе по временам года

На рис. 12 показана мощность ФТБ в разрезе по временам года и среднегодовая мощность ФЭБ. В случае использования традиционной ФЭБ для нагрева до температуры  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  указанных в таб. 1 объемов воды при помощи электрического водонагревателя (ЭВН) понадобилась бы электроэнергия в объемах: летом  $1,4\text{ кВт}\cdot\text{ч}$ , осенью  $1,2\text{ кВт}\cdot\text{ч}$ , зимой  $0,8\text{ кВт}\cdot\text{ч}$  и весной  $1,4\text{ кВт}\cdot\text{ч}$ . При использовании предлагаемой ФТБ экономия электроэнергии достигнет показателей, которые отражены на рис. 13.

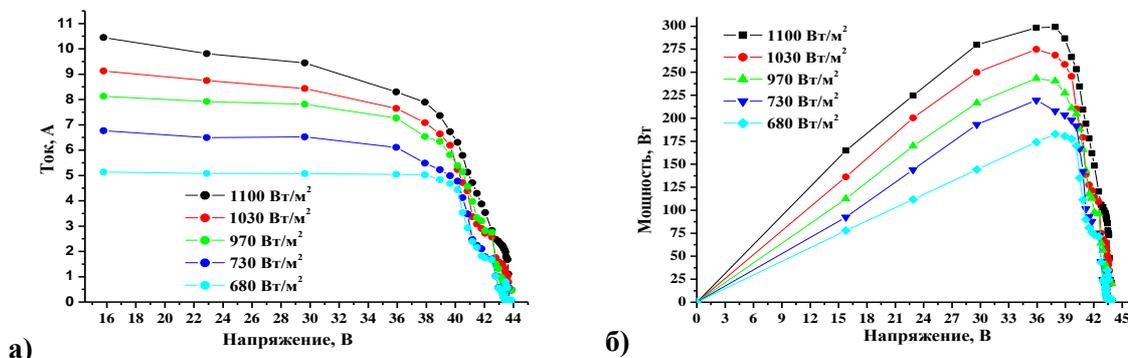


Рис. 14. Вольт-амперная и вольт-ваттная характеристика ФТБ И ФЭБ

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) и вольт-ваттная характеристика (ВВХ) ФТБ И ФЭБ, полученные на основе результатов исследований, приведены на рис. 14а,б. Результаты исследования, полученные при водяном охлаждении задней поверхности ФЭБ, были смоделированы с целью изучения их соответствия теоретически рассчитанным результатам. Для эксперимента была выбрана модель, представленная на рис. 15. Для циркуляции в нем охлаждающей жидкости использован сотовый поликарбонат с параллельными каналами квадратного сечения размером  $8\times 8\text{ мм}$ . В качестве охлаждающей жидкости использовалась вода.

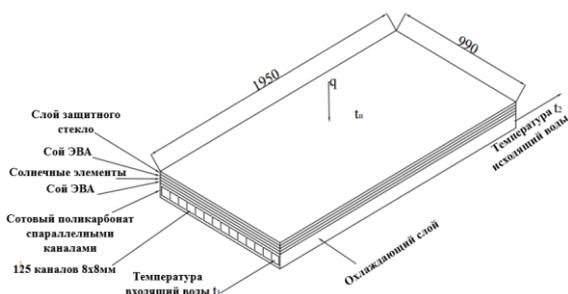


Рис.15. Экспериментальная модель

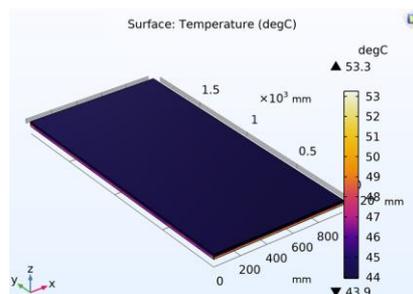


Рис.16. Изменение температуры фронтальной поверхности ФЭБ в COMSOL Multiphysics 5.6

Результаты расчетов для COMSOL Multiphysics 5.6 показали, что при скорости воды  $v=0,1, 0,2$  и  $0,3\text{ м/с}$  в трех различных состояниях, показанных на рис. 16, расход потока равен  $6,4, 12,8$  и  $19,2\text{ г/с}$ . Если скорость входящей воды равна  $0,1\text{ м/с}$ , число Рейнольдса составит ниже  $2300$ . В результате движение воды, циркулирующей в ТК, происходит в вязком ламинарном режиме. В ходе сравнений было установлено, что разница между результатами, полученными при помощи программы COMSOL Multiphysics 5.6, и результатами исследований, составляет  $3\%$ . Использование уравнений гидродинамики и теплопередачи в программе COMSOL Multiphysics 5.6 позволило получить

достаточный объем точных данных. Изучено соответствие результатов моделирования теоретическим результатам.

В четвертой главе диссертации, озаглавленной **“Энергетические, экономические и экологические основы электроснабжения и горячего водоснабжения населения, удаленного от централизованных энергосистем”**, были сравнены технико-экономические и экологические показатели применения ФЭБ и ФТБ в работе АФЭС и АФТС. Оценка экономической эффективности ФЭБ и ФТБ проводится двумя методами. Первый метод при использовании ФЭБ и ФТБ учитывает инфляцию (повышение стоимости устройства и произведенной энергии) по отношению к себестоимости валового внутреннего продукта государства. При втором методе учитывается срок годности ФТБ, ФЭБ и их комплектующих, начиная со дня покупки, а инфляция и другие изменения не принимаются во внимание. Для осуществления сравнительного экономического анализа ФТБ и ФЭБ был использован простой метод расчета. Для оценки экономической эффективности предлагаемых решений проведено сравнение затрат, понесенных при автономном применении ФТБ и использовании как электроэнергии, так и горячей воды, с затратами на традиционные ФЭБ. Исследования показали, что использование ФТБ обеспечивает увеличение объема произведенной электроэнергии на 20-35% в зависимости от времени года. Экспериментальные испытания проводились путем автономного использования ФЭБ средней номинальной мощностью 340 Вт. Ожидаемый экономический эффект был достигнут за счет уменьшения количества ФЭБ путем увеличения их мощности при помощи ТП и рефлекторов, уплотняющих солнечное излучение. Показатели срока окупаемости и чистой прибыли ФЭБ и ФТБ, которые определены простым методом расчета, приведены на рис. 17. Расчеты показали, что для изготовления одной ФТБ из ФЭБ мощностью 340 Вт было дополнительно израсходовано 800 000 сумов. В результате расчетов, исходя из стоимости дополнительных материалов, использованных для обеспечения охлаждения ФЭБ (800 000 сумов), в соотношении с объемом полученной тепловой энергии, было установлено, что тепловой коллектор как часть конструкции ФТБ окупается за 4,3 года. Также было определено, что с учетом общего объема выработанной энергии ФТБ окупится и начнет приносить прибыль за 6 лет, а ФЭБ – за 9 лет.

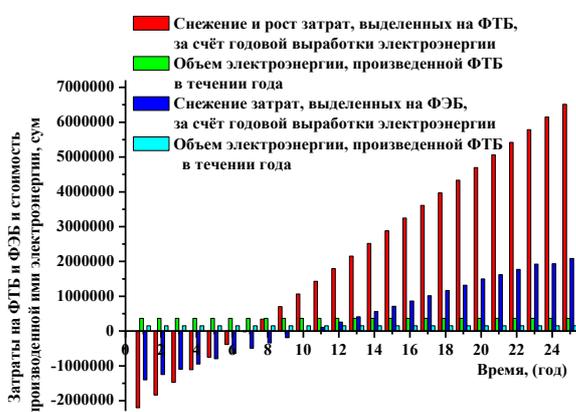
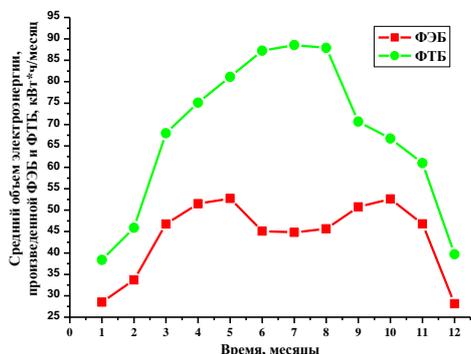
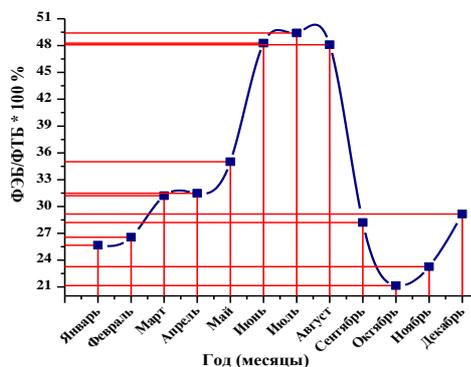


Рис. 17. Показатели срока окупаемости и чистой прибыли ФЭБ и ФТБ

Поэтому в целях повышения уровня жизни населения, проживающего вдали от систем централизованного энергоснабжения, целесообразно использование АФТС, которые позволяют одновременно обеспечивать потребителей и электроэнергией, и горячей водой.

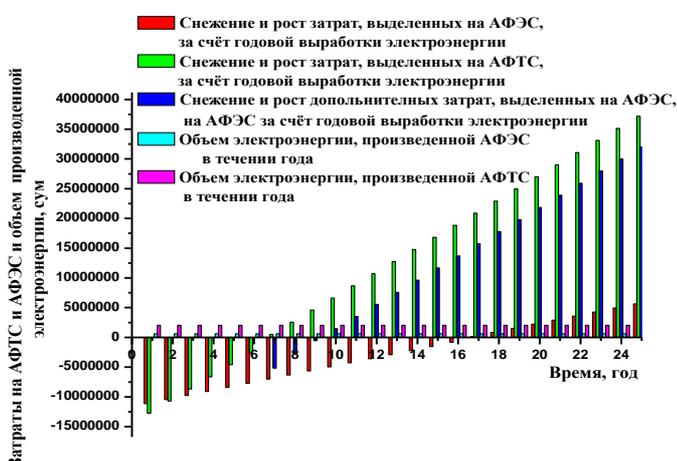


**Рис. 18. Изменение объемов электроэнергии, произведенной ФЭБ и ФТБ в течение года в разрезе по месяцам**



**Рис. 19. Изменение объемов электроэнергии, произведенной ФЭБ и ФТБ в течение года в разрезе по месяцам**

На рис. 18 можно увидеть большую разницу в объемах электроэнергии, произведенной при помощи ФЭБ и ФТБ. А на рис. 19 показано, что энергоэффективность ФТБ до 50% выше энергоэффективности ФЭБ. Если семья, которая установила АФТС мощностью 0,7 кВт на основе ФТБ, оснащенной системой охлаждения и рефлекторами, повышающими плотность потока солнечного излучения, будет продавать излишки выработанной электроэнергии по ставке, указанной в постановлении Президента от 16 февраля 2023 года №ПП-57, то эта станция окупится за 6 лет (за каждый киловатт/час электрической энергии, произведенной на солнечных панелях, установленных на принадлежащих физическим лицам объектах, излишки от собственного потребления которой переданы в единую электроэнергетическую систему, выделяется по 1 000 сумов субсидии из Государственного бюджета). Установлено, что в случае возникновения необходимости замены комплектующих с учетом их срока годности или ремонта АФТС срок окупаемости затрат составит 9 лет. Экономическая эффективность АФЭС и АФТС была определена простым методом расчета, полученные результаты приведены на рисунке 20.



**Рис. 20. Срок окупаемости и показатели чистой прибыли АФТС и АФЭС**

Для АФЭС данный показатель составляет 14-16 лет. Одна семья, использующая АФТС мощностью 0,7 кВт, за год сможет выработать электроэнергию в объеме 2460 кВт·ч. В результате в течение года вырастут запасы нефти и газа, необходимых для производства электроэнергии в объеме 2 460 кВт·ч, сократится объем вредных выбросов, выделяемых при сжигании такого количества топлива, что будет способствовать защите природы. Проведен анализ объемов CO<sub>2</sub>, выделяемого при производстве электроэнергии с использованием традиционных видов топлива и ФЭБ. Полученные в результате анализа показатели объемов газа CO<sub>2</sub>, выделяемого в мире в процессе выработки 1 кВт·ч электроэнергии, приведены на рис. 21. Объемы CO<sub>2</sub>, выделяемого при производстве электроэнергии с использованием АФЭС, АФТБ и других, в том числе тепловых электростанций, определялись при помощи формулы 7 (кг CO<sub>2</sub> экв/кВт·ч).

$$CO_2 K_{ФЭБ} = \frac{CO_{2ФЭБ25}}{E_{25ПЭЭ}} \quad (7)$$

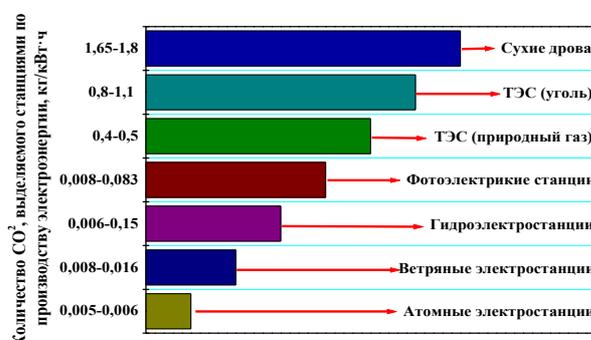


Рис. 21. Объем топлива, расходуемого для производства 1 кВт·ч электроэнергии, и выделяемого при этом CO<sub>2</sub>

При помощи формулы 7 были установлены объемы CO<sub>2</sub>, выделяемого при производстве 1 кВт·ч электроэнергии на станциях, использующих ископаемые виды топлива. Как известно, CO<sub>2</sub> оказывает большое влияние на погоду и считается важным фактором глобального изменения климата. В таб. 3, исходя из данных, показанных на рис. 22, приводится сравнение объемов CO<sub>2</sub>, выделяемого при производстве электроэнергии с использованием предлагаемой АФТС и с использованием традиционных видов топлива.

Таблица 3

Определение объемов CO<sub>2</sub>, выделяемого при производстве электроэнергии с использованием АФТС, АФЭС и традиционных видов топлива

№	Виды станций и топлива	Годовое производство электроэнергии (кВт·ч)	Количество CO <sub>2</sub> , выделяемого при эксплуатации станций по производству электроэнергии
1	АФТС	2460	85
	ТЭС (уголь)	2460	1970
	ТЭС (природный газ)	2460	984
2	АФЭС	1020	85
	ИЭС (уголь)	1020	816
	ИЭС (природный газ)	1020	408

График на основе данных таб. 3, на котором объем CO<sub>2</sub>, выделяемого при выработке электроэнергии с использованием традиционных видов топлива,

сравнивается с объемом  $\text{CO}_2$ , выделяемого при использовании ФЭБ, показан на рисунке 22. В целях сокращения выбросов углекислого газа были предложены методы повышения эффективности энергоснабжения посредством производства и эксплуатации ФТБ на основе ФЭБ. В частности, для обеспечения электроэнергией и горячей водой населения, проживающего вдали от централизованных энергосетей, выдвинуто предложение использовать в основном АФЭС. Обоснована экономическая оправданность предложенного метода.

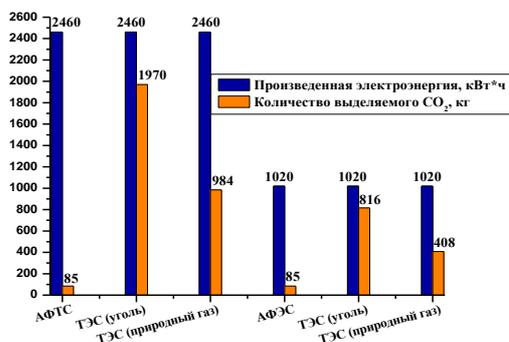


Рис. 22. Сравнение объемов  $\text{CO}_2$ , выделяемого при производстве электроэнергии с использованием АФТС, АФЭС и традиционных видов топлива

В то же время оправданность использования данного метода с экологической точки зрения отражена на рис. 22, на котором сравниваются объемы газа  $\text{CO}_2$ , выделяемого при использовании АФЭС, АФТС и станций, работающих на традиционных видах топлива. Из этого следует, что в результате использования ФЭБ вместо традиционных видов топлива объем выбросов газа  $\text{CO}_2$  увеличивается на 90% и более. Согласно данным таб. 3, если предложенное устройство будет установлено средне статистической семьей, то будет достигнута экономия  $\sim 2$  кг традиционного топлива ежедневно. В результате будет предотвращен выброс в окружающую среду  $\sim 8,45$  кг  $\text{CO}_2$ , выделяемого при использовании  $\sim 2$  кг топлива. При применении ФТБ мощностью 0,7 кВт в течение года будет сэкономлено 0,73 тонны традиционного топлива. С экологической точки зрения для предотвращения выброса в окружающую среду 1 тонны газа  $\text{CO}_2$  необходимо посадить лес площадью 0,1 гектара.

При использовании АФТС на основе ФТБ окружающая среда будет защищена от выбросов 3,1 тонны углекислого газа. Это значит, что будут сэкономлены средства, необходимые для посадки 0,3 гектара леса. На посадку одного дерева тратится в среднем 57 000 сумов ( $\sim 5$  \$). Для посадки леса площадью 0,3 гектара необходимо 1 200 саженцев. Таким образом, использование АФЭС принесет 68,4 млн сумов прибыли в год. Срок окупаемости ФЭБ в экономическом плане составляет довольно длительное время. Однако с экологической точки зрения солнечные батареи приносят очень большую выгоду и пользу. В качестве наиболее перспективного источника возобновляемой энергии предложено модернизировать энергетические системы с ФЭБ, и в этом плане важное значение имеет использование ФТБ на основе ФЭБ, что способствует сокращению расхода топлива и выбросов  $\text{CO}_2$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов исследования, проведенного в рамках данной диссертационной работы, были предложены следующие выводы:

1. Изучены возможности использования АФЭС для бесперебойного энергоснабжения населения, проживающего вдали от централизованных энергосистем. Были установлены внешние факторы, влияющие на эффективность работы ФЭБ на основе кристаллического кремния, и возможности их преодоления.

2. В целях повышения эффективности работы АФЭС для снижения воздействия внешних факторов, то есть температуры, на задней поверхности ФЭБ был установлен тепловой коллектор, для увеличения потока солнечного излучения установлены боковые рефлекторы, а для оптимизации угла падения плотности потока солнечного излучения разработана мобильная конструкция, движущаяся вдоль двух осей.

3. Согласно результатам исследования, при использовании рефлекторов для повышения плотности потока солнечного излучения, падающего на фронтальную поверхность ФТБ, и установке ее на неподвижной опорной конструкции плотность потока солнечного излучения увеличилась в 1,5 раза, а при установке на опорной конструкции, двигающейся вдоль двух осей, - в 1,7 раза, вследствие этого объем произведенной тепловой энергии возрос на 20-50%. Достигнуто восстановление эффективности мощности ФЭБ летом до 62%, весной до 47%, осенью до 37% и зимой до 26%.

4. При помощи программы PV SYST.7.2 изучены потери энергии, возникающие в АФЭС вследствие внешних воздействий. В ходе исследования установлено, что самая большая потеря энергии, возникающая по причине несоответствия мощности АФЭС мощности потребителя (когда мощность АФЭС больше или, наоборот, меньше мощности потребителя), составляет 69%.

5. При помощи программного пакета COMSOL Multiphysics 5.6 тепловые и гидродинамические параметры ФТБ на основе ФЭС были сопоставлены с результатами исследования, проведенного в экстремальных условиях. В ходе сравнения установлено соответствие опытных и теоретических результатов.

6. Определено, что использование АФТС в целях обеспечения населения, проживающего вдали от централизованных энергосистем, доступной качественной и экологически чистой электроэнергией, является высокоэффективным. Результаты эксперимента показали: срок окупаемости АФТС и АФЭС с экономической точки зрения, установленный простым методом расчета, составляет 6-9 и 14-16 лет соответственно.

7. Основные преимущества использования АФТС заключаются в том, что достигается экономия затрат на посадку леса площадью 0,1 гектара, позволяющего защитить атмосферу от газа  $CO_2$ , выделяемого при производстве электроэнергии с использованием 1 тонны условного топлива. В целом использование АФТС даст возможность сэкономить средства, необходимые для посадки 0,3 гектара леса.

**SCIENTIFIC COUNCIL PhD.03/30.09.2020.T.111.03  
ON AWARDING SCIENTIFIC DEGREES AT  
KARSHI ENGINEERING-ECONOMICS INSTITUTE**

---

**PHYSICAL-TECHNICAL INSTITUTE**

**KHOLOV UYGUN RAUFOVICH**

**INCREASING THE RELIABILITY OF THE ENERGY SUPPLY OF  
AUTONOMOUS PHOTOELECTRIC DEVICES AND EXPERIMENTAL  
DETERMINATION OF ENERGY LOSSES**

**05.05.06 - Power plants on the basis of renewable energy**

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

**Karshi –2024**

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 No. B2021.1.PhD/T1641

Dissertation has been prepared at the Physical-technical institute  
Abstract of the dissertation is posted in three (Uzbek, Russian, English (resume)) languages on the website ([kiei\\_info@edu.uz](mailto:kiei_info@edu.uz)) and on Information and Educational portal "ZiyoNet" ([www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)).

**Scientific supervisor:** **Tursunov Mukhamad Nishanovich**  
Doctor of technical sciences

**Official opponents:** **Mirzayev Shavkat Mustakimovich**  
doctor of technical sciences, professor

**Payzullokhonov Mukhammade-Sultankhon**  
**Saydivalikhonovich**  
doctor of technical sciences, scientist

**Leading organization:** **Gulistan state university**

The defense will take place "5" 04 2024 year in 10<sup>00</sup> hours at the meeting of the Scientific Council PhD.03/30.09.2020.T.111.03 at the Karshi engineering-economics institute. (Address: Mustakillik str. 225, Karshi, 180100. Conference hall of the Karshi engineering-economics institute. Tel/Fax: (75) 224-02-89/224-13-95, e-mail: [kiei\\_info@edu.uz](mailto:kiei_info@edu.uz)).

The dissertation can be reviewed in the information resource center of the Karshi engineering-economics institute (registered as No. 97). (Address: Mustakillik street, 225, Karshi, 180100, Tel: (99875) 224-02-89, fax: (99875) 224-13-95, e-mail: [kiei\\_info@edu.uz](mailto:kiei_info@edu.uz)).

Abstract of the dissertation distributed on "25" 03 2024.  
(Registry record No. 13 on "25" 03 2024)



**G.N. Uzakov**  
Chairman of scientific council for awarding Scientific degrees, doctor of technical sciences, professor

**Mh.A. Davlonov**  
Scientific secretary of the Scientific Council on awarding Scientific degrees, Phd in technical sciences, docent

**B. Urishev**  
Chairman of Scientific seminar under Scientific Council on award of scientific degrees, Doctor of technical sciences, professor.

## INTRODUCTION (Abstract of PhD dissertation)

**The aim of the research is** to improve the photothermal battery based on the photoelectric battery in providing autonomous consumers with reliable electricity and hot water, and to substantiate its energy and technical-economic efficiency.

**The tasks of the research:**

to analyze the current situation, prospects and problems of autonomous consumers in the use of photoelectric devices;

experimental determination of losses occurring during operation of autonomous photoelectric devices;

development of a photothermal battery based on a photoelectric battery to improve the energy efficiency of autonomous photoelectric devices;

Forecasting and modeling of the energy indicators of the autonomous photoelectric device taking into account the influence of external factors using the PV SYST.7.2 program;

modeling of thermotechnical and hydrodynamic processes of the improved photothermal battery using COMSOL Multiphysics 5.6 software;

evaluation of technical, economic and ecological indicators of autonomous photoelectric and photothermal devices.

**The object of the research is** a new, highly efficient photothermal battery based on a monocrystalline silicon photoelectric battery.

**The scientific novelty of the research** is as follows:

For the first time, an autonomous and portable parallel channel, polycarbonate collector and full thermal contact photothermal device has been developed, which allows providing uninterrupted and high-quality electricity and hot water to rural facilities and farms located far from the centralized energy supply. (SAP 02301);

For the first time, a mathematical model has been developed that allows to eliminate external degradation effects in the autonomous use of crystalline silicon-based photoelectric batteries with a rear surface cooled by water, with a reflector that protects the frontal surface from night dust and provides an increase in solar radiation current density;

based on the heat transfer and hydrodynamic equations of the flow, a mathematical model was developed that allows calculating the temperature change of the frontal surface of the photothermal battery at values of water consumption, outside air temperature, solar radiation flow density and Reynolds number less than 2300;

In the autonomous use of photo thermal and photoelectric batteries, a methodology for calculating energy efficiency has been developed, taking into account energy losses in autonomous photo thermal devices, as well as short-circuit current and short-circuit voltage due to changes in outdoor air temperature.

**Implementation of the research results.** Based on the scientific results obtained in the development and implementation of autonomous use of

photothermal devices, improvement of performance and improved preparation technology:

An industrial model patent was obtained for a small power portable photovoltaic device from the Intellectual Property Agency of the Republic of Uzbekistan for rural objects and farms. (No. SAP 02301; 2022). As a result, autonomous consumers located far from centralized energy supply have been provided with electricity and hot water generators. As a result of putting this device into practice, an annual average power efficiency of 43% was achieved;

An improved photothermal battery in autonomous photoelectric plants was introduced at "SOLAR NATURE" LLC. (Reference No. 04-3/699 dated 05.06.2023 of the "Uzeltexsanoat" association). As a result of the conducted research, it was possible to restore the energy efficiency of photothermal batteries up to 50% compared to conventional photoelectric batteries and to reduce the amount of toxic waste released into the environment by up to 90%.

**Publication of research results.** 25 scientific works have been published on the subject of the dissertation. In particular, 5 articles were published in scientific publications recommended to publish the main scientific results of doctoral dissertations of the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan, and 2 articles were published in Scopus indexed journals. Patents for 1 industrial model and copyright certificates for 2 ECM software products were received from the Intellectual Property Agency of the Republic of Uzbekistan.

**The structure and volume of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, used literature and appendices and is 120 pages long.

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

**I бўлим (I часть, I part)**

1. Tursunov M.N., Sabirov X., Axtamov T.Z, Yuldoshev B.A., Xolov U.R. Kichik quvvatli ko'chma fotoissiqlik qurilmasi // Patent UZ. № SAP 02301, 25.07.2022.

2. Tursunov M. N., Sabirov X., Xolov U. R., and Eshmatov M. Investigation of the Parameters of a Photovoltaic Thermal Battery in Extreme Natural Conditions // Applied Solar Energy. USA 2021. Vol. 57, No. 4, pp. 272–277. (05.00.00; №4), Scopus.

3. Муминов Р.А., Турсунов М.Н., Сабилов Х., Холов У.Р., Эшматов М.М. Оценка производительности автономных фотоэлектрических станций с использованием программы PV SYST // Инновацион технологиялар. Qarshi, 2023. №2(50). 3-12 б. (05.00.00; №38).

4. Tursunov M.N., Sabirov X., Yuldoshev I.A., Xolov U.R. Evaluation of energy efficiency of photoelectric heat batteries with mechanism of solar observation // Technical science and innovation. Toshkent, 2022. №4(14), 100-106 betlar. Олдинги номи Тошкент давлат техника университети хабарлари (05.00.00; №16).

5. Турсунов М.Н., Сабилов Х., Холов У.Р., Шоғўчқоров С.Қ. Фотоэлектрик ва фотоиссиқлик батареяларини техник-иктисодий кўрсаткичларини баҳолаш // Energiya va reusr tejash muammolari. Тошкент, 2022. №4, 253-258 betlar. (05.00.00; №21).

6. Турсунов М.Н., Сабилов Х., Холов У.Р., Ахтамов Т. Автономная фотоэлектрическая система круглогодичного гарантийного обеспечения электроэнергией сельских объектов // Ирригация и Мелиорация. Ташкент, 2020. №3(21), с. 82-86. (05.00.00; №22).

7. Муминов Р. А., Турсунов М.Н., Сабилов Х., Холов У. Р., Ахтамов Т.З., Eshmurodova M.N. Комбинированная установка на основе фототепловой батареи - электроводонагреватель для обеспечения электроэнергией и водой сельские домохозяйства // Ирригация и мелиорация. Ташкент, 2020. №2(20), с. 62-66. (05.00.00; №22).

**II бўлим (II часть, II part)**

8. Муминов Р.А., Турсунов М.Н., Сабилов Х., Холов У.Р. Экстремал шароитларда фотоиссиқлик ва фотоэлектрик батареяларини параллел улашинг қурилма самарадорлигига таъсири // Муқобил энергетика илмий-техник журнали. Қарши 2022. № 3, 7-11 б.

9. Турсунов М.Н., Сабилов Х., Холов У.Р. Avtonom fotoissiqlik stansiyasidan foydalanib atrof-muhitni issiqxona chiqindi gazlaridan himoya qilish // Муқобил энергетика илмий-техник журнали. Қарши 2023. № 2, 22-27 б.

10. Muminov R.A, Tursunov M.N, Yuldoshev I.A., Sabirov H., Kholov U.R. Features of optimization of increasing the efficiency of an autonomous photo thermal installation for rural regions // E3S Web of Conferences 2020, 01146 (2020) Scopus.

11. Muminov R.A., Tursunov M.N., Sabirov X., Kholov U., Janzaqov A. Study of the efficiency of electrical and thermal energy photo of a thermal battery // Physical and Mathematical Research. Andijan 2022. Vol. 4 Iss. 1, pp. 41-45, Олдинги номи Научный вестник (01.00.00; №13).

12. Холов У.Р., Юлдошев И.А., Тураев Ф.Ш., Абдуфаттоева Э., Эшанкулов Ж.Ч., Холматов Б.М. Гидравлический и теплотехнический расчет при ламинарном режиме работы фотоэлектрической тепловой батареи // материалы международной научно-технической конференции, “Актуальные проблемы цифровизации и повышения энергоэффективности автоматизированных электромеханических и электро-технологических систем”, 2023, 25-26 май, с. 304-309.

13. Турсунов М.Н., Сабилов Х., Холов У.Р., Эшматов М.М. Анализ с использованием программы pv syst автономная фотоэлектрическая станция для освещения автомобильной парковки // Материалы международной научной конференции “Новые материалы и гелиотехнологии”, 15-16 мая, г.Паркент, Узбекистан, 2023, с. 23-24.

14. Турсунов М.Н., Сабилов Х., Холов У.Р., Эшматов М.М., Бойназаров Ш. Применения фототепловых установок в системах электроснабжения и горячей воды для сельских регионов // Каракалпакский государственный университет имени Бердаха материалы Международной научно-практической конференции “Инновационные основы сельскохозяйственных и биологических исследований в регионе Приаралья”, 17 марта 2023 года, г. Нукус ЧАСТЬ I, III, с. 188-190.

15. Tursunov M.N., Sabirov Kh., Xolov U.R. Efficiency of electric and thermal energy of solar photo thermal battery // Scientific research of the SCO countries: synergy and integration. Beijing, China 2022. 20-aprel, pp. 124-130.

16. Турсунов М.Н., Сабилов Х., Холов У.Р. Моделирование энергетических параметров автономной фотоэлектрической станции с использованием программы PV syst // Сборник тезисов Международной научной конференции, которой посвящена памяти академика Национальной академии наук РК ЭРНСТА ГЕРБЕРТОВИЧА БООСА 27 февраля 2023 г. Алматы 2023, с. 49-50.

17. Холов У.Р. Фотоиссиқлик батареяларининг самарадорлигига куёш нурланиш оқим зичлигининг таъсири // Физика-техника институти II-ёш олимлар конференцияси, анжуман материаллар тўплами, 2022, 23-ноябрь, 59-61 б.

18. Турсунов М.Н., Сабилов Х., Холов У.Р., Ҳазратов С.С., Азимов С. Повышение энергоэффективности автономных фототепловых установок // “Проблемы и решения эффективного использования альтернативных

источников энергии” Республика илмий-техникавий анжуман материаллари тўплами, Қарши, 2022, 27-июнь, 134-135 б.

19. Холов У.Р. Фотоэлектрик батареялари асосида юқори самарали фото-иссиқлик батареялари ва қурилмаларини яратиш // Физика-техника институти Ёш олимлар конференцияси, 2021, 13-14 декабрь, 7-8 б.

20. Сабилов Х., Холов У.Р., Умархонов С., Исмоилов Н., Аликулов Р. Переносной фотоэлектрической источник питания малой мощности // Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети, муқобил ва қайта тикланувчи энергетиканинг ривожланиш тенденциялари: муаммолар ва ечимлар, халқаро илмий техник анжуман, 2021, 17-18-май, 324-328 б.

21. Турсунов М.Н., Сабилов Х., Холов У.Р., Ахтамов Т.З., Эшматов М.М., Қудратов А., Умархонов С. Модернизированной автономная мобильная многофункциональная фотоэлектрическая станция экстренного обеспечения энергией сельских объектов // Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети “Муқобил ва қайта тикланувчи энергетиканинг ривожланиш тенденциялари: муаммолар ва ечимлар”, Халқаро илмий-техник анжуман, Тошкент, 2021, 324-328 б.

22. Турсунов М.Н., Холов У.Р., Ахтамов Т., Эшматов М., Аликулов Р., Исмаилов Н. Влияние окружающей среды и структуры поверхности защитных стекол на параметры фотоэлектрических батарей // Ферганский государственный университет, Международной научной конференции “Тенденции развития физики конденсированных сред” Фергана, 25 май, 2021 год, с.150-156.

23. Турсунов М.Н., Сабилов Х., Юлдошев И.А., Холов У.Р., Ахтамов Т.З. Исследование эффективности использования автономных фотоэлектрических станций в условиях жаркого климата // Международная конференция “Фундаментальные и прикладные вопросы физики”. Ташкент 2020. 22-23 сентября, с. 25-29.

24. Турсунов М.Н., Сабилов Х., Юлдошев И.А., Холов У.Р., Эшматов М.М. Автоном фотоэлектрик иссиқлик қурилмаларида энергия йўқотишларни ҳисобга олиб электр самарадорликни ҳисоблаш дастури // № DGU 19467, 18.11.2022.

25. Турсунов М.Н., Сабилов Х., Юлдошев И.А., Холов У.Р., Эшматов М.М. Фотоэлектрик ва фотоиссиқлик батареяларининг ҳарорат таъсирида қисқа туташув токи ва салт юриш кучланишини ҳисоблаш дастури // № DGU 18822, 18.10.2022.

Avtoreferat «Innovatsion texnologiyalar» ilmiy jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazildi va o‘zbek, rus, ingliz (tezis) tillaridagi matnlar mosligi tekshirildi  
22.01.2024 yil

Chop etishga ruxsat etildi: \_\_.\_\_.2024 yil Bichimi 60x841/1,  
«Times New Roman» garniturada raqamli bosma usulida bosildi.

Shartli bosma tabog‘i 3,12 Adadi: \_\_.

Buyurtma № \_\_

QarMII «INTELLEKT» nashriyoti MIU da chop etilgan.

Qarshi shahri, Mustaqillik ko‘chasi, 225-uy