

t.f.n Murodov Muzaffar Habibullayevich, Murodov Rivojiddin Nabijon o'g'li,
Abduraimov Muzaffar Rustamjon o'g'li
Namangan muhandislik qurilish instituti

QUYOSH ENERGETIK QURILMASI SAMARADORLIGINI OSHIRISH UCHUN KOMBINATSIYALASHGAN TERMOFOTOELEKTRIK QURILMA

Аннотация: Mazkur ilmiy ishda bir qabul qiluvchi sirtidan ham issiqlik, ham elektr energiyasini birgalikda ishlab chiqarish uchun termofotoelektrik qurilma ishlab chiqilgan va o'rganilgan. Tavsiya etilgan energetik qurilma quyosh issiqlik kollektori uchun absorberdan iborat bo'lib, uning ustki qismiga polikristal quyosh elementlari joylashtirilgan.

Ushbu qurilma bino va inshootlar tom qismiga o'rnatiladigan kombinatsiyalashgan gelioprofilidir. Konstruksiya quyosh energiyasi konvertorlarining quvvat xarakteristikalarini oshirish uchun mo'ljallangan.

Калит so'zlar: absorber, fotoelektrik o'zgartirgichlar, termofotoelektrik qurilma, kremniyli quyosh elementlari, gelioprofil, quyosh energiyasining termofotoelektrik o'zgartirish.

КОМБИНИРОВАННАЯ ТЕРМОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Аннотация: В статье было разработано и исследовано термофотоэлектрическое устройство для совместного производства тепла и электричества с одной принимающей поверхности. Предлагаемое энергетическое устройство состоит из абсорбера солнечного коллектора тепла, поверх которого размещены поликристаллические солнечные элементы.

Эта установка представляет собой комбинированный гелиопрофиль, который можно устанавливать на крышах зданий и сооружений.

Конструкция предназначена для повышения энергетических характеристик преобразователей солнечной энергии.

Ключевые слова: абсорбер, фотоэлектрические преобразователи, термофотоэлектрическая установка, кремниевые солнечные элементы, гелиопрофили, термофотоэлектрическое преобразование солнечной энергии.

COMBINED THERMOPHOTOELECTRIC INSTALLATION FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF A SOLAR POWER INSTALLATION

Abstract: The article developed and investigated a thermo-photoelectric device for the combined production of heat and electricity from a single receiving surface. The proposed energy device consists of a solar heat collector absorber, on top of which polycrystalline solar cells are placed.

This unit is a combined helioprofile that can be installed on the roofs of buildings and structures. constructions. The design is intended to improve the energy performance of solar energy converters.

Key words: absorber, photoelectric converters, thermo-photoelectric installation, silicon solar cells, helioprofiles, thermo-photoelectric conversion of solar energy.

Kirish

Quyosh energetikasining muammolaridan biri bu tushayotgan quyosh radiatsiyasining energetik potensialining yetarli emasligi va fotoo'zgartirgichlar va boshqa quyosh qurilmalarining F.I.K. ining pastligi. Ushbu tizimlarning samaradorligini oshirish uchun quyosh qurilmalarining ishchi yuzalariga tushadigan energiya oqimidan to'liqroq foydalanish kerak.

Ushbu bosqichda quyosh energiyasini qayta o'zgartirishda asosan elektr energiyasini ishlab chiqarish uchun fotoelektrik modullar va issiqlik tashuvchini

qizdirish uchun quyosh issiqlik kollektorlaridan foydalaniladi. Biroq, zamonaviy ilm-fan va texnologiyaning rivojlanishi bilan bir qatorda aynan bir sirt orqali bir vaqtning o'zida ham issiqlik, ham elektr energiyasini ishlab chiqarish mumkin bo'lgan quyosh qurilmalari tobora ko'proq paydo bo'la boshladi. Bunday qurilmalarni, termofotoelektrik quyosh qurilmalari – geliotexnikaning yangi sinfi deb ishonch bilan aytish mumkin. Ushbu qurilmalar bir vaqtning o'zida sirtga tushadigan barcha quyosh nurlanishlarini issiqlik va elektr energiyasiga aylantiradi, ya'ni bir vaqtning o'zida issiqlik tashuvchini qizdiradi va o'zgarmas tok elektr generatori bo'lib xizmat qiladi [1].

Adabiyotlar tahlili.

Turli adabiyotlarda quyosh fotoelektrik va issiqlik qurilmalarini o'rganishlar keltirilgan [2-5]. Shu bilan birga, bunday ilmiy manbalarda gibrid fototermik qurilmalarning turli xil kombinatsiyalari bo'yicha ma'lumotlar mavjud [3, 5].

Kombinatsiyalashgan termofotoelektrik qurilmalardan foydalanish, ularni ishlab chiqarish uchun quvvat birligiga sarflanadigan materiallar sarfini sezilarli darajada tejashga imkon beradi, ularning umumiy F.I.K. va foydalanish samaradorligini oshiradi [1]. Buning sababi shundaki, termal geliotizimlarning absorberlari va quyosh panellari quyosh spektrining turli to'lqin uzunliklarini qabul qiladi hamda qayta o'zgartiradi, shuning uchun bitta ishchi sirtdan ham issiqlik, ham elektr energiyasini olish mumkin. Gelio-fotoelektrik panellarini tayyorlash, ularni bitta qurilmaga birlashtirib seriyali ishlab chiqish natijasida qimmat selektiv qoplamali absorberlar va fotoelektrik modul konstruktsiyalar uchun talab qilinadigan materiallarga xarajatlarni kamaytiradi [2].

Quyosh energetik qurilmalarining asosiy muammolari elektr va issiqlik energiyasiga aylantiriladigan quyosh nurlanishi zichligining kichikligi, F.I.K. past ko'rsatkichga ega ekanligi, natijada esa birlik quvvat uchun tannarxning qimmatligidir. Quyosh energetikasining past potentsiali tufayli issiqlik va elektr energiyasi bilan ta'minlashda quyosh qurilmalaridan foydalanish samaradorligiga, samaradorlikning asosiy parametrlarini aniqlash metodlariga

fotoelektrik modullarga hamda geliokollektorlarga yuqori talablar qo'yiladi. Yassi issiqlik absorber va fotoelektrik batareyaning kombinatsilashuvi hisobiga tushayotgan quyosh radiatsiyasidan samarali foydalanishga va uni o'zgartirish ko'effitsientini ortishiga imkon beruvchi konstruksiyani yaratish mumkin.

Zamonaviy sanoat miqyosidagi mono va polikremniyli quyosh elementlari yassi konstruksiyaga ega va yutilish ko'effitsienti 95% ga teng bo'lgan holda F.I.K.i 18-20% ni tashkil etadi. Quyosh elementlarida nurlanishni o'zgartirishda 80% energiya asosan elementning qizishiga sarf bo'ladi va uning sifatli ishlashiga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Quyosh elementlarini geliokollektor absorberining sirtiga joylashtirilganda, ideal issiqlik almashinuvi amalga oshirilsa qurilmaning umumiy F.I.K.i sezilarli ortadi.

Quyoshli tizimning konturi bo'ylab aylanadigan issiqlik tashuvchi suyuqlik tomonidan issiqlikni olib ketilishi fotoo'zgartirgichlarning o'ta qizib ketishini oldini oladi va shunga muvofiq umumiy ishlab chiqarilgan elektr energiya miqdori ortadi. Quyosh elementlarining yuqori yutilish ko'effitsienti yutilgan quyosh energiyasining 80 foizigacha bo'lgan qismini issiqlik absorberining qabul qiluvchi yuzasini isitish uchun sarflashga imkon beradi. Sanoat miqyosidagi quyosh issiqlik qurilmalarida aksariyat absorberlar uchun 80% gacha o'zgartirish darajasi yuqori yuqori ko'rsatkich hisoblanadi.

Materiallar va tadqiqot metodlari

Maqolada kombinatsilashgan termo-fotoelektrik qurilmaning ishlash printsipi ko'rib chiqilgan va tadqiq qilingan, uning issiqlik va elektr ko'rsatkichlari hisoblangan.

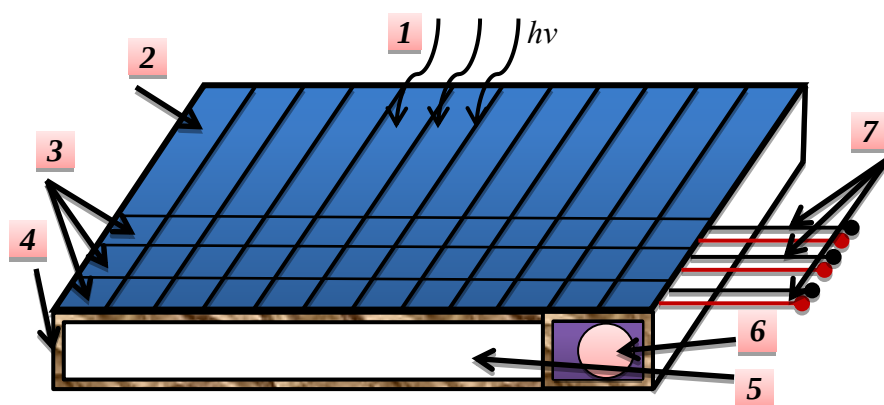
Tadqiqotning maqsadi – termo-fotoelektrik qurilma sirtiga tushayotgan quyosh nurlanishining oqimidan foydalanish samaradorligini oshirish va uning qabul qiluvchi birlik yuzasi uchun qayta o'zgartirish ko'effitsientini oshirishni nazariy va eksperimental tasdiqlash.

Barcha tajribalar Namangan viloyati hududi tabiiy sharoitlarida, ya'ni tajriba paytida doimiy quyosh nurlari ostida, o'lchov asboblari bilan amalga oshirildi [6].

Tadqiqotni amalga oshirish davomida o'zgaruvchan yuklamali qarshilik bilan fotoo'zgartirgichning toki va kuchlanishini to'g'ridan-to'g'ri o'lchash usuli va issiqlik tashuvchi haroratini o'lchash usullaridan foydalanilgan. Tajribalar keng tabiiy sharoitda, ochiq maydonda, tabiiy quyosh nurlari ostida o'tkazildi.

Kombinatsiyalashgan termo-fotovoltaik qurilma (1-rasm) to'g'ridan-to'g'ri turar-joy binolari tom qismini qoplash uchun mo'ljallangan to'liq hajmli sanoat gelioprofilidir. Gelioprofil ichida suyuq holatdagi issiqlik tashuvchi uchun quvurlar, havo yoki issiqlik saqllovchi material uchun bo'shliqlar (kanallar) mavjud.

Bunday gelioprofillar bilan tomni balandligi 7 m gacha va kengligi cheklanmagan maydonini qoplash mumkin. Gelioprofilning qabul qiluvchi yuzasida ketma-ket ulangan 36 ta quyosh elementlari zanjiri mavjud. Fotoelementlar qabul qiluvchi yuzaga yuqori omik qarshilikka ega bo'lgan maxsus issiqlik o'tkazuvchi pasta yordamida biriktiriladi. Elementlar gelioprofilning quyi qismi yuzasini 1/3 dan 1/2 qismigacha qoplaydi (1-rasm).



1-rasm. Termo-fotoelektrik qurilma

1 – tushayotgan quyosh nurlanishi; 2 – issiqlik yutuvchi sirt; 3 – quyosh elementlari; 4 – gelioprofil yutuvchi yuzasining devorlari; 5 – havo kanali; 6 – suv kanali; 7 - quyosh batareyalarining elektr kontaktlari.

Issiqlik tashuvchi suyuqlikning past harorati va sirkulyatsiyasi tufayli elementlar sovutiladi, bu esa ish sifatini yaxshilaydi. Kremniyli quyosh elementlari spektrning issiqlik absorberiga tegishlisidan boshqa qismini o'zgartirganligi sababli, energiya ishlab chiqarishning umumiy o'sishi kuzatiladi.

Termo-fotoelektrik qurilma fotobatareyasi va absorberi ish jarayoniga oid nazariy tavsiflar quyidagi formulalar (1-4) bilan ifodalanadi [7]:

Quyosh batareyasining maksimal quvvati quyidagicha ifodalanadi:

$$P_{max} = F_{ff} I_{QT} U_{SI} = I_{max} U_{max} \quad (1)$$

bu yerda, F_{ff} – VAX to'ldirish koeffisienti, I_{QT} – qisqa tutashuv toki, U_{SI} – salt ishlash kuchlanishi, I_{max} – ishchi nuqtadagi tok kuchi, U_{max} – ishchi nuqtadagi kuchlanish.

Quyosh batareyasi F.I.K.i esa quyidagicha hisoblanishi ma'lum:

$$\eta_{QB} = \frac{I_{max} U_{max}}{S_{el.} E_0} = \frac{P_{max}}{S_{el.} E_{yo.}} \quad (2)$$

bu yerda, $S_{el.}$ – quyosh elementlarining foydali yuzasi (m^2), $E_{yo.}$ – ishchi yuzaning yoritilganligi (W/m^2).

Shuningdek, issiqlik absorberini hisoblash ham ma'lum usul bilan amalga oshiriladi. Vaqt birligi bo'yicha kollektordan chiqadigan foydali energiya Q_u (W) [13]:

$$Q_u = F_R A [I_T (\tau a) - U_L (T_i - T_a)] \quad (3)$$

bu yerda, A – kollektor yuzasi (m^2), F_R – kollektor issiqlik chiqarish koeffitsienti; I_T – kollektor tekisligidagi quyosh nurlanishining umumiy zichligi (R burchak koeffisientini hisobga olgan holda), W/m^2 ; τ – quyosh nurlanishiga nisbatan shaffof qoplamalarning yoruglik o'tkazuvchanligi; a – kollektor plastinasining quyosh nurlanishiga nisbatan yutish qobiliyati; U_L – kollektorning umumiy issiqlik yo'qotish koeffitsienti, $W/(m^2 grad)$; T_i – kollektorga kirishdagi suyuqlikning harorati, $^{\circ}C$ (nominal rejimda); T_a – atrof-muhit harorati, $^{\circ}C$.

Amaliy hisob-kitoblar uchun ushbu formulaning soddalashtirilgan varianti ko'proq mos keladi:

$$Q_u = S_{QK} G C_P (T_{chiq.} - T_i) (W) \quad (4)$$

bu yerda S_{QK} – kollektor yuzasi (m^2).

Shunga ko'ra, quyosh kollektorining F.I.K.i quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\eta_{QK} = \frac{Q_u}{S_{QK} E_{yo.}} \quad (5)$$

Kombinatsiyalashgan qurilma uchun $E_{yo.}$ yoritilganlik kollektorli va fotoelementli qismlar uchun bir xil. S_{QK} va S_{el} yuzalarining qiymatlari esa ekvivalent, ya'ni:

$$\eta_{QK} = \frac{P_{QK}}{S_{KQQ} E_{yo.}}, \eta_{QB} = \frac{P_{QB}}{S_{KQQ} E_{yo.}} \quad (6)$$

kabi yozish mumkin.

bu yerda (kombinatsiyalashgan qurilmaning) η_{QK} – quyosh kollektori, va η_{SB} – quyosh batareyasi F.I.K.i; P_{QK} va P_{QB} – mos ravishda kollektor va quyosh

batareyasidan chiqayotgan quvvat, S_{KQQ} – bu quyosh elementlari bilan to'ldirilgan kombinatsiyalashgan quyosh qurilmasining foydali yuzasi.

Kombinatsiyalashgan qurilmaning umumiy quvvati qurilmaning termal va fotovoltaik qismlari quvvatlarining yig'indisiga teng:

$$P_{KQQ} = P_{QK} + P_{QB} = S_{KQQ} E_{yo} (\eta_{QK} + \eta_{QB}) = S_{KQQ} E_{yo} \eta_{KQQ} \quad (7)$$

bu yerda η_{KQQ} kombinatsiyalashgan qurilmasining umumiy F.I.K.i.

Shunday qilib, fotoelektrik tashkil etuvchi tufayli quyosh energiyasidan olinadigan quvvatning ko'payishi bilan qurilmaning umumiy F.I.K.i ortadi, ishchi yuzaning maydoni va yoritilganligi o'zgarmas bo'lib qoladi.

Kombinatsiyalashgan qurilmaning qabul qiluvchi yuzasi quyosh elementlari bilan to'liq qoplanmagan bo'lsa, (7) formulani quyidagich almashtirish mumkin:

$$P_{KQQ} = S_{KQQ} E_{yo} (\eta_{QK} + f_{QEK} \eta_{QB}) \quad (8)$$

bu yerda f_{QEK} – kombinatsiyalashgan qurilmaning qabul qiluvchi yuzasini quyosh elementlari bilan to'ldirish koeffitsienti. Bizning holatda bu 1/2 dan 1/3 gacha o'zgaradi.

Qizish natijasida quyosh elementlarining F.I.K.i (9) formula bo'yicha kamayadi:

$$\eta_{QB} = f_{QEK} \eta_0 (1 - k(T_i - T_0)) \quad (9)$$

bu yerda η_0 – fotoelementning $T_0=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ dagi F.I.K.i, T_i – qizigan fotoelementning harorati (biz uni kollektorga kirish joyidagi suyuqlikning

haroratiga teng deb olamiz), quyosh elementi F.I.K.ining kamayishi k – harorat gradientiga bog'liq va $0,3 \div 0,5\%/^{\circ}C$ gacha [5].

Buni hisobga olgan holda, (8) formula (10) ko'rinishga keladi:

$$P_{KQQ} = S_{KQQ} E_{yo} \cdot \frac{G_{CP}(T_{chiq.} - T_i)}{E_0} + S_{KQQ} E_{yo} \cdot f_{QEK} \eta_0 (1 - k(T_i - T_0)) \quad (10)$$

(1-10) formulalarga ko'ra, kollektorli va fotoelementli qismlarini hisobga olgan holda KQQning barcha parametrlari hamda xususiyatlarini aniqlash mumkin.

Natijalar va ularning tahlili

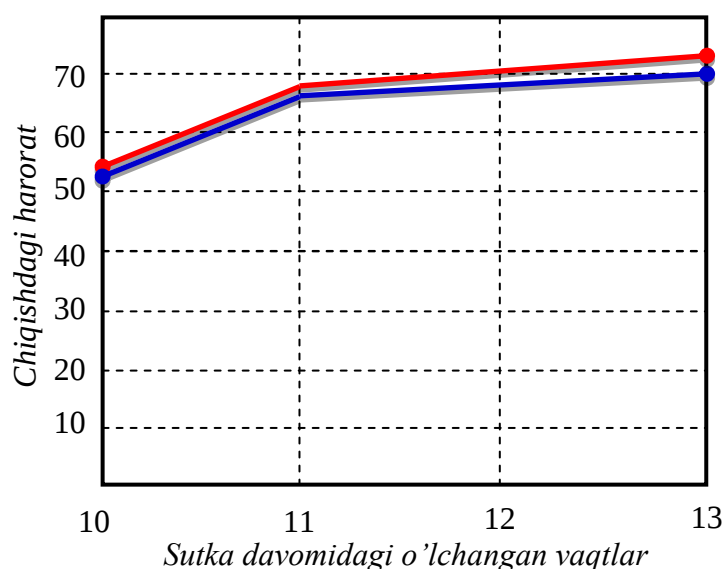
Tajribalar uchun biz bir xil issiqlik absorberiga ega quyoshga bir xil burchak ostida joylashgan, teng o'lchamdagi ikkita quyosh qurilmasidan foydalandik (2-rasm). Bitta qurilmaning absorberi sirtiga quyosh elementlari joylashtirilgan va qurilmalarning o'lchamlari 3x2 metr. Qurilmaning fotoelektrik qismi bir xil quvvatga ega uchta fotoelektrik moduldan iborat. Qurilmalar yuzalari teng bo'lganligi sababli, ikkala qurilmaga ham bir xil quyosh nurlanishi tushadi.



2-rasm. Quyush issiqlik (chapda) va termo-fotoelektrik (o'ngda) qurilmalari

Tajribalar davomida ikkita quyosh qurilmasining grafikda ko'rsatilgandek ishlab chiqargan issiqlik energiyalari solishtirilgan (3-rasm).

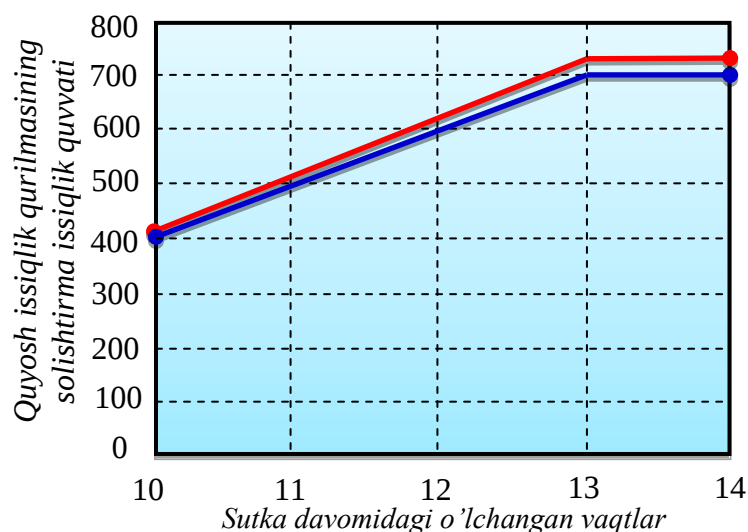
Ma'lumotlardan ko'rinib turibdiki, bir vaqtning o'zida issiqlik va elektr energiyasini ishlab chiqarishda qurilmaning chiqishidagi issiqlik tashuvchilar haroratlari farqi atigi 1-2 °C ni tashkil qilmoqda va bu qurilmalar issiqlik ishlab chiqarishda deyarli farq qilmaydi. Faqat bu yerda kombinatsiyalashgan termo-fotoelektrik qurilma elektr energiyasini ham ishlab chiqaradi. Issiqlik energiyasini fotoelementlardan absorberga o'tkazishdagi yo'qotishlar tufayli isitish vaqtida 1-2 °C li farqlar qayd etiladi. Agar kombinatsiyalashgan absorberning sifati yaxshilansa, unda yo'qotishlarni yanada kamaytirish mumkin.



3-rasm. Issiqlik tashuvchi suyuqlikning chiqishdagi harorati

— issiqlik gelioprofil; — kombinatsiyalashgan gelioprofil.

4-rasmda esa har bir quyosh qurilmasining solishtirma issiqlik quvvati xarakteristikalarini (W/m^2) grafiklarini keltirilgan.



4-rasm. Qurilmalarning solishtirma issiqlik quvvati xarakteristikalarini

— issiqlik gelioprofil; — kombinatsiyalashgan gelioprofil.

Gelioprofilidagi fotoelektrik batareyalar ihchi holatda bo'lganda uch fotobatareyaning har biri 48 W dan quvvat ishlab chiqaradi. Bunda gelioprofil yuzasining 1/3 qismi fotoelementlar bilan qoplangan va modullarining umumiy quvvati 144 W ni tashkil etadi. 1-jadvalda termo-fotoelektrik qurilma chiqishidagi elektr xarakteristikalarini keltirilgan.

O'tkazilgan tadqiqotlar natijasi shuni ko'rsatadiki, quyosh infraqizil nurlanishlari tufayli qizigan yuza ta'sirida yuqori haroratga ega bo'lgan issiqlik tashuvchi va fotoelementlardan foydalanish gelioprofilning umumiy qayta o'zgartirish koeffitsientini sezilarli darajada orttiradi. Shunqay qilib, kombinatsiyalashgan gelioprofil fotobatareyalari har biri taxminan 50 W elektr energiyasini ishlab chiqaradi (1-jadval) va solishtirilayotgan ikkala quyosh qurilmalarining issiqlik quvvati taxminan o'zgarmas bo'lib qoldi (4-rasm).

Gelioprofilning alohida fotobatareyalarining yuklama ko'rsatkichlari ma'lumotlari.

1-jadval. Gelioprofilidagi alohida quyosh batareyasining yuklama xarakteristikasi ma'lumotlari

Alohida quyosh batareyasining xarakteristikalari											
I (A) – eksperimental qiymat	3,5	3,5	3,5	3,5	3,3	3,25	3,2	3,2	3	2,2	0
U (V) – eksperimental qiymat	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	19
P (W) – eksperimental qiymat	0	7	14	21	26,4	32,5	38,4	44,8	48	39,6	0
Modul xarakteristikalari yoritilganlik 808 W/m^2 , $T_{havo}=30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ sharoitida olingan											

Buning sababi, fotoelementlar kollektor issiqlik tashuvchi suyuqlikni isitishi uchun kerakli (yetarli) bo'lgan spektrdan farq qiladigan boshqa to'liq uzunlikdagi nurlanishlarni o'zgartiradi [6]. Issiqlik olib ketilmaydigan quyosh elementlari ishlaganda, quyosh nurlanishining infraqizil tashkil etuvchisi energiyasi fotoelementlarni qizdirishga sarf bo'ladi va bu ko'pincha ularning o'ta qizib ketishiga, fotoelementlar F.I.K.ining kamayishiga olib kelishi mumkin [7].

Xulosa

1. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, ishlab chiqilgan kombinatsiyalashgan gelioprofil sirtidan 1 m^2 dan 750 W gacha issiqlik va 150 W gacha elektr energiyasi olish mumkin.

2. Tajribalar natijalariga ko'ra, quyosh energiyasi bilan ishlaydigan qurilmalar uchun issiqlik va elektr energiyasini birgalikda ishlab chiqarish samarali bo'ladi deb xulosa qilish mumkin.
3. Issiqlik kollektori va kombinatsitalashgan qurilma ish jarayonini amalda solishtirish natijasida olingan eksperimental ma'lumotlarni taqqoslash orqali o'zgartirish koeffitsientini oshirish bo'yicha olingan nazariy hisob-kitoblar tasdiqlandi.
4. Kombinatsiyalashgan termo-fotoelektrik qurilmaning quyosh energiyasini umumiy o'zgartirish koeffitsienti 85% gacha oshiriladi. Bunda gelioprofilning F.I.K.i 70% gacha, quyosh batareyalarining F.I.K.i esa 15% dan yuqorinitashkil etadi.

Tadqiqot ishlarining davomida kollektor yuzasini fotoelementlar bilan to'liq qoplash natijalarini o'rganish, hosil bo'lgan issiqlikni energetik maqsadlarda qayta yo'naltirish, elektr energiyasini esa to'gridan-tog'ri iste'molchilarga uzatish orqali quyosh energiyasidan samarali foydalanishni tadqiq qilish ham ko'zda tutilgan.

Foydalanilgan adabiyotlar

- [1] Кузнецов К. В. Исследование характеристик солнечного воздушного гибридного коллектора / К. В. Кузнецов, И. И. Тюхов, Э. Д. Сергиевский // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве, Труды 6-й Международной научно-технической конференции, 13-14 мая 2008 г. – Москва, ГНУ ВИЭСХ, 2008. – Ч. 4. – С. 227 - 231.
- [2] Кувшинов В.В. Пат. 150121 Российская федерация; МПК Н 01 L 31/00. Фототермопреобразователь солнечной энергии / Кувшинов В. В., Башта А.И., Сафонов В. А.; патентообладатель Кувшинов В. В. – Заявка № 2014149414/93; заявл. 17.10.2014; опубл. 27.01.2015, Бюл. № 3.

- [3] Tursunov M. N. et al. Photothermal batteries of different designs: comparative analysis //Heliotechnika. – 2017. – №. 1. – С. 26. (in Russian)
- [4] Yuldoshev, I.A., Shoguchkarov, S.K., Kudratov, A.R. *et al.* A Study of the Parameters of a Combined Photo-Thermoelectric Installation under Field Conditions. *Appl. Sol. Energy* **56**, 125–130 (2020). <https://doi.org/10.3103/S0003701X20020115>.
- [5] Tursunov M. N. et al. Photothermal electric battery based on silicon solar cells //Applied Solar Energy. – 2011. – Т. 47. – №. 1. – С. 63-65. (in English)
- [6] Колтун М.М. Оптика и метрология солнечных элементов / М.М. Колтун // – М.: Наука, 1985. – 300 с.
- [7] В.В. Кувшинов, Какушина Е.Г., Чванова Д.А. Использование фотоэлектрической установки для обеспечения бесперебойной работы автономных потребителей. Энергетические установки и технологии, Том 2, № 1., стр. 3-12, 2016.