



## FOTOELEMENTLARGA INTEGRATSIYALANGAN FOTO-ISSIQLIK O'ZGARTIRGICHLAR TIZIMINI MODELLASHTIRISH

Nasrullayev Yu.Z.

*Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti, Qarshi, O'zbekiston*

**Annotatsiya:** Maqolada mono-kristal (*m-Si*), polikristal (*p-Si*) va CIGS asosidagi fotoelementlarning haroratga bog'liq elektr va issiqlik samaradorligining analitik modeli keltirilgan. Ushbu model o'rnatilgan foto-issiqlik o'zgartirgichlar tizimini qurishda haroratni ularning ishlashiga ta'sirini aniqlashga yordam beradi. Nazariy jihatdan hisoblangan natijalar tashqi muhitda eksperimental ravishda hisoblangan. Elektr va issiqlik samaradorligi suvning yuqori va past massali oqim tezligi uchun hisoblangan bo'lib, *m-Si*, *p-Si* va CIGS asosidagi fotoelektrik modullarning kunlik o'rtacha elektr samaradorligi suv oqimi bilan va suvsiz tizim uchun FIK o'zgarishi taxminan 12,30%, 10,98%, va 7,71% va 11,41%, 10,30% va 6,99% ni tashkil qilishi aniqlangan. Doimiy xona harorati rejimida suvning massa oqimining o'zgarishi ham baholangan bo'lib, ikkala holatda ham barcha fotoelektrik modullar uchun umumiy issiqlik samaradorligi va umumiy eksergetik samaradorligi ham hisoblangan. Sinov elementlariga birlashtirilgan fotoelektrik modullarning xarakterli tenglamalari ikkala holat uchun ham ishlab chiqilgan.

**Kalit so'zlar:** quyosh elementlari, mis-selen indiy-galiy (CIGS), yorug'likni yutish, tashuvchining konsentratsiyasi, foydali ish koeffitsiyenti (FIK), Volt-amper xarakteristikasi (VAX).

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ФОТОТЕПЛООБМЕННИКОВ, ИНТЕГРИРОВАННЫХ В ФОТОЭЛЕМЕНТЫ

Насруллаев Ю.З.

*Каршинский инженерно-экономический институт, Карши, Узбекистан*

**Аннотация:** Аналитическая модель температурно-зависимого электрического и теплового КПД монокристаллических (*m-Si*), поликристаллических (*p-Si*) и фотоэлектрических элементов на основе CIGS. Данная модель помогает определить влияние температуры на их производительность при построении системы встроенных фототермических преобразователей. Теоретически рассчитанные результаты были рассчитаны экспериментально на открытом воздухе. Рассчитан электрический и тепловой КПД для высоких и малых массовых расходов воды, среднесуточный электрический КПД фотоэлектрических модулей на основе *m-Si*, *p-Si* и CIGS; Изменение КПД для системы с протоком воды и без него составило около 12,30%, 10,98%, 7,71% и 11,41%, 10,30% и 6,99%. Также оценивается изменение массового расхода воды при постоянной комнатной температуре. В обоих случаях также рассчитываются общий тепловой КПД и общая эксергия для всех фотоэлектрических модулей. Для обоих случаев разработаны характеристические уравнения фотоэлектрических модулей, интегрированных в тестовые элементы.

**Ключевые слова:** солнечные элементы, медь-селен-индий-галлий (CIGS), светопоглощение, концентрация носителей, коэффициент полезного использования (КПД), вольт-амперная характеристика (VAX).





## MODELING OF THE SYSTEM OF PHOTO-HEAT EXCHANGERS INTEGRATED INTO PHOTO ELEMENTS

Nasrullaev Yu.Z.

Karshi Engineering Economics Institute, Karshi, Uzbekistan

**Abstract:** The article presents an analytical model of temperature-dependent electrical and thermal efficiency of mono-crystalline (m-Si), polycrystalline (p-Si), and CIGS photocells. This model helps to determine the effect of temperature on their performance when building a system of integrated photo-heat exchangers. The theoretically calculated results were calculated experimentally in the outdoor environment. The electrical and thermal efficiencies were calculated for high and low mass flow rates of water, and the daily average electrical efficiency of photovoltaic modules based on m-Si, p-Si, and CIGS with and without water flow is about 12.30 FIK change %, 10.98%, and 7.71%, and 11.41%, 10.30%, and 6.99%. The change in mass flow rate of water at constant room temperature was also evaluated, and total thermal efficiency and total exergetic efficiency were calculated for all photovoltaic modules in both cases. Characteristic equations of photoelectric modules integrated into test elements are developed for both cases.

**Keywords:** solar cells, copper-selenium-indium-gallium (CIGS), light absorption, carrier concentration, useful duty ratio (FIK), Volt-ampere characteristic (VAX).

**Kirish.** Quyosh foto issiqlik o'zgartirgichlarda energiya bo'shlig'iga mos keladigan quyosh nurlanishining chegaraviy nurlanishi (foton energiyasi)ga ega bo'lib, undan tashqarida hech qanday elektron teshik jufti hosil bo'lmaydi, o'z energiyasini issiqlik shaklida tarqatmaydi [1-8]. Fotoelementlar texnologiyasi va ishlash sharoitlariga qarab, keladigan quyosh nurlanishining taxminan 6-19% ni elektr energiyasiga aylantirish qobiliyatiga ega. Quyosh nurlanishining deyarli 50% dan ortig'i chiqindiga aylanadi va issiqlikka aylanadi, bu esa fotoelementlarni ish haroratining atrof-muhit haroratidan 50 °C ga oshishiga olib keladi [9]. Bunday holat, uzoq muddatli issiqlik va elektr samaradorligining pasayishi va doimiy strukturaning shikastlanishiga olib keladi [5]. Sovutish suyuqligi sifatida havo/suv kabi suyuqlik oqimi sifatida foydalanish fotoelektrik modulni sovetishga yordam beradi, elektr quvvatini oshiradi va sovetish suvi orqali olingan issiqlikni qayta ishlatish uchun quyosh foto issiqlik o'zgartirgichlar texnologiyasini rivojlantirish uchun asosiy manba hisoblanadi [10]. Bu yerda ham tabiiy, ham majburiy aylanish fotoelektrik modulning ish haroratini pasaytirishga yordam beradi va fotoelektrik modulning bir vaqtning o'zida sovetilishi qabul qilinadigan elektr samaradorligiga erishadi.

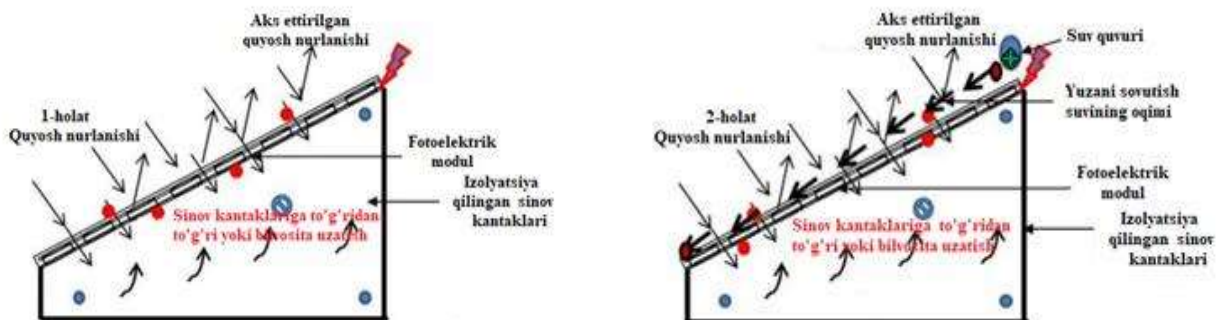
**Materiallar va metodlar.** Tajribalarda Quyosh foto issiqlik o'zgartirgichlar tizimi joriy etilgandan beri bir nechta tadqiqotchilar umumiy energiya samaradorligini oshirish uchun tajriba jarayonlarini o'tkazdilar [11,12]. Quyosh foto issiqlik o'zgartirgichlar tizimining ba'zi muhim xususiyatlariga elektr va issiqlik tizimini ishlab chiqish kabi ikki tomonlama, ya'ni binoga integratsiyalashgan foto issiqlik o'zgartirgichlardan foydalanishga moslashuvchanligi va uy sharoitida foydalanish uchun mos bo'lgan isitish va sovetish (quritish vositasi) tizimlaridan foydalanishga olib keldi. Dastlab, havo va suyuqlikdan foydalanadigan yassi kollektorga katta e'tibor qaratildi, keyin quyosh foto issiqlik o'zgartirgichlar tizimiga katta e'tibor qaratilmoqda [9]. Quyosh foto issiqlik o'zgartirgichlarga asoslangan tizimlarda ko'pincha suv va havoni ishchi suyuqlik sifatida ishlatadi, bunda birinchisi yuqori issiqlik o'tkazuvchanligi tufayli samaraliroq bo'ladi [11]. Biroq, suvga asoslangan tizim suv o'tkazmaydigan va korroziyasiz tuzilishni ta'minlash uchun keng qamrovli modifikatsiyani talab qiladi, holbuki tabiiy yoki majburiy rejimda havoga asoslangan quyosh foto issiqlik o'zgartirgichlarda havo kanali orqali, yuqori yoki ikkala yuzasida issiqlikni olishning eng oddiy usuli hisoblanadi [12]. Issiqlik chiqarish jarayoniga kelsak, quyosh foto issiqlik o'zgartirgichlar tizimlarning samaradorligi ishlatiladigan fotoelektrik modullar texnologiyasi turiga bog'liq. Mono kristalli kremniy (m-Si), polikristalli kremniy (p-Si) va mis indiy galey selen (CIGS) asosidagi texnologiyalar bozorda mavjud. Ushbu tadqiqotning maqsadi

issiqlik ko'rsatkichlarini tushunishdir integratsiyalashgan quyosh foto issiqlik o'zgartirgichlar (BIFT) tizimini qurish, buning uchun uchta turli xil fotoelektrik modular, monokristalli kremniy (m-Si), polikristalli (p-Si) va mis indiy galiy selen (CIGS) izolyatsiyalangan tajriba qurulmasida birlashtirilgan. Nazariy tadqiqotlarda modelning suv oqimi bilan va suvsiz tizim orqali uch xil fotoelektrik modullarning elektr samaradorligi uchun ishlab chiqilgan. Taklif etilayotgan model elektr samaradorligining matematik ifodasini o'z ichiga oladi, operatsion modulning harorati va o'rnatilgan binoning konstruktiv parametrlarini hisobga olgan holda (xona) ichidagi havo harorati va atrof-muhit harorati o'rganildi. Ushbu tahlilda atrof-muhitning fotopanelar parametrlariga ta'sirini aniqlash uchun uch xil fotoelektrik modular, monokristalli kremniy (m-Si), polikristal kremniy (p-Si), va mis indiy galiy selen (CIGS) dan foydalanilgan.



1-rasm. Tabiiy sharoitda m-Si, p-Si, CIGS quyosh elementlarning fotoelektrik va foto-issiqlik o'zgartirgichlarni parametrlarini o'lchash uchun eksperimental qurilmasi.

1-rasmda ishlab chiqilgan qurilmaning tajriba nusxasi va uning sxemasi [13] ko'rsatilgan. Qurilma quyidagi elementlardan tshkil topgan, 1-ramka, 2-pironometr, 3-anemometr, 4-fotopanelar, 5-foto-issiqlik o'zgartirgich, 6-foto-issiqlik o'zgartirgichga suvni kirishi, 7-chiqish quvurlari, 8-harorat datchiklari, 9-avtonom ko'p kanalli o'lchash va hisoblash moslamasi [14], 10-namlik va havo harorati sensori.



2-rasm. Tajriba stentida o'rnatilgan fotoelektrik modullarning sxematik ko'rinishi.

Tajriba jarayonida o'lchash nuqtalaridagi modulning ish harorati  $T_c$ , yuqori/pastki tizimdagi suyuqlik (suv)ning harorati  $T_{w, x=0}/T_{w, x=L}$  sinov kantaklari ichidagi havo harorati,  $T_r$ , multimetr qurilmasi orqali elektr o'lchash tizimlari o'lchangan  $I_{sc}/V_{oc}$ , va o'rnatilgan termometr yordamida atrof-muhit haroratining sinov kantaklariga nisbati  $T_a/T_r$ , va havoning massa oqim tezliklari ham inobatga olingan, m.





Quyidagi 1-jadvalda turli xil fotoelektrik modullarning xarakteristikalari keltirilgan.

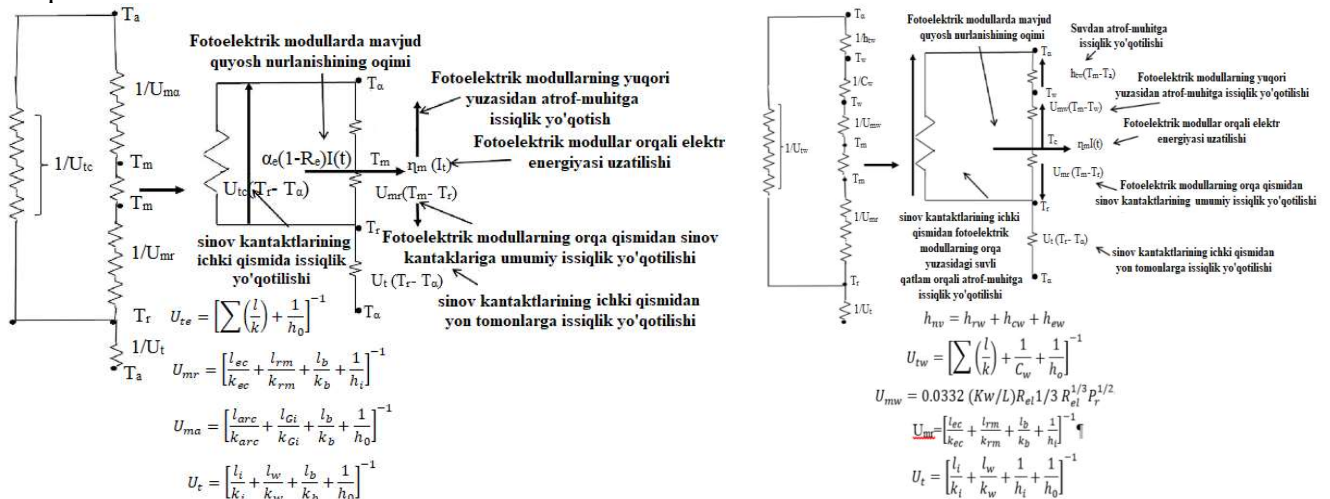
1-Jadval.

Turli xil fotoelektrik modullarning xarakteristikalari.

No	Modullarning klastifikatsiyalari	P <sub>max</sub> w	V <sub>mp</sub> volt	I <sub>mp</sub> am.	V <sub>oc</sub> volt	I <sub>sc</sub>
1	m-Si	10	17,56	0.56	21,96	0.68
2	p-Si	12	18.2	0.58	22.56	0.72

Shu sababli, Quyosh foto issiqlik o'zgartirgich tizimlarining yil davomida quyosh nurlanishidan umumiy foydalanishdagi samaradorligini tushunish uchun Soulayman va Hammound, Ahmad va Tiwari va Altarawneh va boshqa xorijiy olimlar tajribalaridan foydalanilgan. Tajriba jarayonida turli xil termometrlardan, Infraqizil raqamli termometr (Extech, diapazon: -50 °C dan 1000 °C gacha, kamida 0,1), kalibrlangan T-tipli termojuft (diapazon: -200 dan 350 °C gacha, eng kam hisob 0,1, fotoelektrik modullarning yuqori va pastki qismida modulning ish harorati, fotoelektrik modullarning yuqori va pastki qismida (T<sub>m</sub>) oqayotgan suvni haroratini o'lchash uchun foydalaniladi. Tajriba jarayonida qisqa o'lchash uchun elektron tok I<sub>sc</sub>, ochiq elektron kuchlanishi V<sub>oc</sub>, yuklama oqimi va yuklama kuchlanishi o'lchash uchun multimetr foydalanilgan. Elektron raqamli anemometrdan (Lutron, AM-4201, diapazon 0,2–30 m/s, eng kam hisob: 0,1 m/s) havo tezligini o'lchash uchun foydalanilgan.

**Natijalar va muhokamalar.** Tajriba jarayonida nazorat qilinmagan tashqi sharoitda birlashma harorati va orqa tarafdagi haroratda noaniqlik paydo bo'ldi. Haroratning sezilarli darajada tarqalishi tufayli infraqizil termometr yordamida o'lchanganda keyin ham bir xillik paydo bo'ldi. Xuddi shunday, nazoratsiz oqim tufayli havo tezligini o'lchashda noaniqlik paydo bo'ldi, shuningdek, tizimning issiqlik tahliliga zararli ta'sir ko'rsatadigan mahalliy ob-havo sharoitining keskin xatti-harakatlari tufayli yoritish intensivligi ham ta'sir qiladi. Tajriba stendi va unda olib borilgan tajriba natijalariga asoslanib, fotoelektrik modullarning fizik va matematik modeli ishlab chiqilda va 3-rasmda ko'rsatildi.



3-rasm. Fotoelektrik modullarning fizik va matematik modeli.

Shunga qaramay, ushbu tahlil barcha noaniqliklar kutilgan diapazonda bo'lganligini ko'rsatadi. Tashqi sharoitda tajriba o'tkazishda fotoelektrik modullarning STCsi deyarli imkonsizdir, shuning uchun, to'g'ridan-to'g'ri ishlatiladigan asboblardan o'lchovlar olingandan so'ng yoki keyinchalik qo'lda bajarilgandan so'ng haqiqiy holatdan standart holatga to'g'irlash zarur. Bundan tashqari, noaniqlik bilan bog'liq bo'lgan standart nurlanish chegarasi, quyosh nurlanishining notekisligi va haroratning o'zgarishi oqim va kuchlanishni o'lchashda sifatsizlikni aks ettirish uchun foizli xato bilan ifodalanadi. 2-jadvalda fotoelektrik modullarning turli parametrlarini o'lchashda yuzaga keladigan noaniqlik, tok kuchi, kuchlanish va quvvat ko'rsatilgan. Bu yerda oqim o'lchash uchun o'lchangan nurlanishning standart noaniqlik hissasi normal taqsimot



uchun ( $k=2$ ) taxminan  $1,82 \div 1,88\%$  ni tashkil etdi, kuchlanish uchun esa ularning hissasi taxminan  $0,11\%$  tashkil etadi.

2-Jadval.

**Fotoelektrik modullarning issiqlik-texnik parametrlarini hisoblash ifodalari.**

T/r	Noaniqlik parametrlari	Hisoblash
1.	Harorat (umumiy $U_T$ ), (Raqamli termometr, simob termometri, T- tipli termojuftlar, raqamli harorat indikatori, ulanish nuqtasi va haroratning bir xilligi).	$U_T = [(U_R)^2 + (U_t)^2 + (U_S)^2 + (U_{RI})^2(U_{un})^2 + (U_N)^2]^{1/2}$ $= [0.12 + 0.22 + 0.12 + 0.12 + 0.12]^{1/2} = 0.30$
2.	Havo tezligini o'lchashda ( $U_A$ , (Anemometr)	$U_A = [(U_{A1})^2 + (U_N)^2]^{1/2} = [(0.1)^2 + (0.1)^2]^{1/2} = 0.14$
3.	Quyosh intensivligini o'lchash	$U_S = [(U_{S1})^2 + (U_N)^2]^{1/2} = [(1)^2 + (1)^2]^{1/2} = 1,4$
4	Eksperimental kuzatishda to'liq noaniqlik	$U_o = [(U_T)^2 + (U_A)^2 + (U_S)^2]^{1/2}$ $= [(0.3)^2 + (0.14)^2 + (1,4)^2]^{1/2} = \pm 1,43\%$

Boshqa tomondan, atrof-muhit harorati, shuningdek, bir xil bo'lmaganlik darajasi ( $k = 1,73$ , fotoelektrik modullar bo'yicha haroratning bir xil emasligi) kuchlanishni o'lchash uchun ikkita muhim omil bo'lib, ularning mos keladigan standart noaniqligi mos ravishda  $0,04\%$  va  $0,23\%$  tashkil etadi. Histerezis yo'qolishi, noaniq issiqlik o'tkazuvchanligi, eskirish ta'siri barcha turdagi fotoelektrik texnologiya uchun parametrik qiymatlarga ta'sir qilgan ba'zi xato noaniqliklardir [15-20].

Suvli va suvsiz yupqa plyonkali sinov kontaktlariga o'rnatilgan fotoelektrik modullarning elektr samaradorligi energiya balansi tenglamalari yordamida hisoblanadi. Shunday qilib, quyidagi nazariy tahlillar mavjud:

- eksperimental tizimlarning barqaror holatdaligi;
- fotoelektrik modullarning sirt haroratining birxilligi;
- sinov kontaktlari ichidagi izolyatsion materialning bir xil konfiguratsiyasi;
- sinov kontaktlaridan ventilyatsiya/infiltratsiya tufayli kam miqdordagi issiqlik yo'qotishlar mavjudligi.

O'xshashligi sinov kontaktlariga o'rnatilgan fotoelektrik modullarning issiqlik tizimlariga mos keladigan umumiy noaniqliklar 3-jadvalda ko'rsatilgan [18].

3-jadval

**Turli fotoelektrik modullarning turli parametrlari uchun foizda (%) birlashtirilgan standart va kengaytirilgan noaniqliklarining o'lchovlari.**

T/r	Parametr	m-Si		p-Si		CIGS	
		Exp.	Std.	Exp.	Std.	Exp.	Std.
1	$I_{sc}$	2.31	1.16	2.42	1.22	2.35	1.18
2	$V_{oc}$	0.35	0.18	0.30	0.15	0.33	0.16
3	$P_m$	2.12	1.06	2.17	1.09	1.96	0.98

1-holat: Suv oqimisiz sinov kamerasiga birlashtirilgan fotoelektrik modullar uchun energiya balansi tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$a_e(1 - R_e)I(t)bdx = [U_{ma}(T_m - T_a) + U_{mr}(T_m - T_r)]bdx + \eta_m I(t)b \quad (1)$$





Fotoelektrik modulining yuqori yuzasidan atrof-muhitga umumiy issiqlik yo‘qotilishi+fotoelektrik modulining orqa tomonidan sinov kontaktlarigacha bo‘lgan umumiy issiqlik yo‘qotilishi+integratsiyalashgan fotoelektrik modulining elektr energiyasini ishlab chiqarish darajasini inobatga olib quyidagi tenglamalarni hosil qilamiz.

$$a_e(1 - R_e)I(t) = [U_{ma}(T_m - T_a) + U_{mr}(T_m - T_r)] + \eta_m I(t) \quad (2)$$

$$U_{ma} = \left[ \sum \frac{1}{k} + \frac{1}{h_o} \right]^{-1}, U_{mr} = \left[ \sum \frac{1}{k} + \frac{1}{h_i} \right]^{-1} \quad (3)$$

Bu yerda  $h_o = 5.7+3.8v$  bilan  $v=2.5$  va  $h_i = 2.8+3$  V bilan  $V=0$  (sinov katakchasi ichida) hisoblashda foydalaniladigan sinov kataklarining dizayn parametrlari va tavsifi jadvalda keltirilgan.

Tajribada foydalanilgan har bir modulning issiqlik o‘tkazuvchanligi (k), qatlam qalinligi (l) 4-jadvalda keltirilgan.

Fotoelektrik modul uchun haroratga bog‘liq elektr samaradorligi ifodasi quyidagi formulada keltirilgan.

$$\eta_m = \eta_{mo} [1 - \beta_o(T_m - T_o)], \quad (T_m - T_o) \geq 0 \quad (4)$$

n ifodasini almashtirgandan so‘ng,  $E_q$  quyidagi ifodaga teng bo‘ladi.

$$a_e(1 - R_e)I(t) + U_{ma}T_a + U_{mr}T_r - \eta_{mo} - \eta_{mo}\beta_o T_o = U_{ma}T_m + U_{mr}T_m - \eta_{mo} - \eta_{mo}\beta_o T_m \quad (5)$$

Tenglamadan, samaradorlikning haroratga bog‘liq tuzatish koeffitsiyenti  $\beta_o$  va  $10^{-3}$  tartibiga ega va samaradorlik  $\eta_{mo}$  va  $U_{ar}$  mos ravishda kasr va o‘rin qiymatiga ega bo‘lib,  $\eta_{mo}\beta_o I(t)/U_{ar} \approx 0$  ga teng.

Nazariy usullardan foydalangan holda, maxraj qiymati quyosh intensivligining 0-1000  $Vt/m^2$  diapazonida deyarli birlikka teng bo‘ladi va modulning ish haroratining ifodasi  $T_m$  ga teng bo‘ladi hamda uni quyidagi tenglama asosida hisoblaymiz:

$$T_m = \frac{\alpha \tau_e I(t) + U_{ma}T_a + U_{mr}T_r}{(U_{ma} + U_{mr})} \quad (6)$$

4-jadval

**Fotoelektrik modullarning dizayn parametrlari va eksperiment vaqtida hisoblashda foydalaniladigan o‘zgaruvchilar.**

Belgilanishi	Birliklar	m-Si	p-Si	CIGS
1	B	M	0.66	0.6
2	L	M	0.796	0.875
3	$\tau_g$	Koeffitsiyent	0.95	0.95
4	$\alpha_c$	Koeffitsiyent	0.9	0.9
5	$\beta_c$	Koeffitsiyent	0.83	0.88
6	$\alpha_r$	Koeffitsiyent	0.5	0.5
7	$C_a$	kJ/kg K	1.005	1.005
8	$C_w$	kJ/kg K	4.186	4.186
9	$\rho_w$	kg/m <sup>3</sup>	1000	1000
10	$\rho_a$	kg/m <sup>3</sup>	1.225	1.225
11	$m_w$	kg/s	0.05	0.05
12	$M_r$	Kg	0.686	0.686
13	$R_e$	Koeffitsiyent	0.15	0.15
14	$A_m$	m <sup>2</sup>	0.484	0.5775
15	$\gamma$	Koeffitsiyent	0.5	0.5
16	$v$	m <sup>2</sup> /sek	$1.55 \times 10^{-6}$	$1.55 \times 10^{-6}$
17	$\vartheta_w$	m/s	0.25	0.25
18	$P_r$	-	11.35	11.35
19	a	-	$2.3 \times 10^{-4}$	$2.3 \times 10^{-4}$
20	$I_{Gi}$	M	0.003	0.0035
21	$k_{Gi}$	W/mK	1.8	1.8
22	$I_{arc}$	M	0.0000001	0.0000001
23	$k_{arc}$	W/mK	32	32
24	$I_{pv}$	M	0.0003	0.000225





25	$k_{pv}$	W/mK	130	148	7.3
26	$l_{ec}$	M	0.0005	0.0005	0.00775
27	$k_{ec}$	W/mK	0.35	0.35	0.35
28	$l_{rm}$	M	0.00001	0.00001	0.00001
29	$k_{rm}$	W/mK	237	237	237
30	$l_p$	M	0.0001	0.0001	0
31	$k_b$	W/mK	0.2	0.2	0

5-jadval

## Tajribada foydalanilgan sinov kontaktlarining parametrlari

T/r	Parametrlar	Birliklar	Qiymatlar
1	Devorning ichki yuzasi ( $A_t$ )	$m^2$	1.46
2	Sinov kontaktlarining ichki hajmi	$m^3$	0.56
3	Yog'ochning qalinligi ( $l_w$ )	m	0.03
4	Sinov kontaktlarining ichidagi havo massasi ( $m_r$ )	kg	0.686
5	Izolyatsiyaning qalinligi ( $l_t$ )	m	0.12
6	Yog'ochning issiqlik o'tkazuvchanligi ( $k_w$ )	W/m K	0.09
7	Izolyatsiyaning issiqlik o'tkazuvchanligi ( $k$ )	W/m K	0.022

Energiya balans tenglamasi quyidagiga teng bo'ladi.

$$U_{mr}(T_m - T_r)A_m = M_r C_a \left( \frac{dT_r}{dt} \right) + U_t A_t (T_r - T_a) \quad (7)$$

2-holat: Fotoelektrik modullarda sinov kontaktlariga suv oqimi bilan birlashtirilganda.

Suv oqimiga ega fotoelektrik modul uchun fotoelektrik moduldagi quyosh nurlanishining energiya balansi tenglamasini quyidagicha yozilishi mumkin:

$$\alpha_e (1 - R_e) I(t) = U_{mw} (T_m - T_w) + U_{mr} (T_m - T_r) + \eta_m I(t) \quad (8)$$

(2) va (9) tenglamani tenglashtirish usuli orqali fotoelektrik modullarning samaradorlik harorati suv oqimi bilan sinov kontaktlariga integratsiya qilingan bo'lib, uni quyidagi tenglama bo'yicha hisoblaymiz:

$$T_m = \frac{\alpha_e I(t) + U_{mw} T_w + U_{mr} T_r}{(U_{mw} + U_r)} \quad (9)$$

Sinov kontaktlariga o'rnatilgan fotoelektrik modul ostidan suv oqishi natijasida issiqlik tarqaladi va uning energiya balansi tenglamasi quyidagicha yozilishi mumkin:

$$U_{mv} (T_m - T_w) b dx = m_w c_w \left( \frac{dT_w}{dx} \right) dx + h_{tw} (T_w - T_a) b dx \quad (10)$$

Bu yerda  $U_{mw}$  qiymati fotoelektrik moduldan oqayotgan suvning ingichga truba qatlamining umumiy issiqlik o'tkazuvchanligiga mos keladi, ya'ni,  $U_{mw} = 0.0332 (KW/L) R_{el}^{1/2} P_r^{1/3}$ .

Tajribalar ketma-ket ikki kun davomida o'tkazildi. 2022-yil aprel oyida Qarshi muhandislik iqtisodiyot instituti energetika fakulteti binosida o'tkazildi. Tajriba jarayonida quyosh intensivligi,  $I(t)$ , havo tezligi,  $T_r$ , sinov kontaktlari xona harorati,  $T_{wi}/T_{wo}$  suv har ikki tomondagi harorat va atrof-muhit haroratlari inobatga olingan. Tashqi muhitda eksperimental o'lchangan elektr parametrlari STCda berilgan ma'lumot bazasi bilan taqqoslangan va eksperimental ravishda xizmat ko'rsatgan  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$  va  $P_m$  elektr parametrlari bilan solishtirib chiqilgan.

$I_{sc}$ ,  $V_{oc}$ ,  $P_m$  parametrlari standart sinov holatida (STC) talqin qilinadi ya'ni, Quyosh intensivligi,  $1000 \text{ Wt/m}^2$ , modul harorati  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , bo'lganda tajriba tenglamasi quyidagicha ifodalanadi.

$$V_{OC,ARC} = V_{OC,o} + \omega_v (T_{ARC} - T_m) \quad (11)$$

$$I_{SC,ARC} = I_{SC,o} \left( \frac{I_{ARC}(t)}{I(t)} \right) + \omega_1 (T_{ARC} - T_m) \quad (12)$$

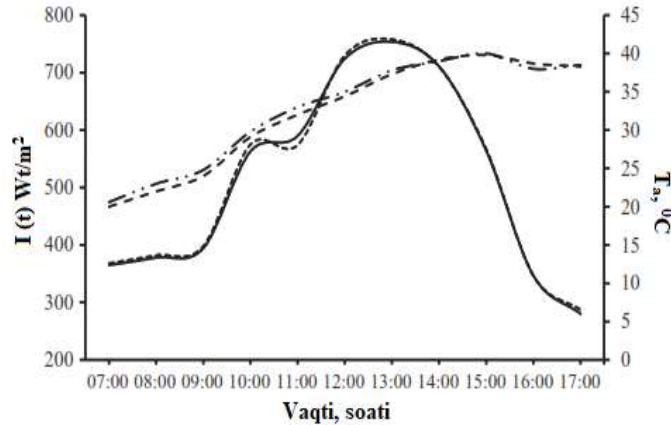
$$P_{m,ARC} = V_{OC,ARC} \times FF \times I_{SC,ARC} \quad (13)$$

Bu yerda  $300-400 \text{ Wt/m}^2$  va  $700-800 \text{ Wt/m}^2$   $500-600 \text{ Wt/m}^2$  nurlanish oralig'ida  $P_m$  quvvatini hisoblash uchun oqim va kuchlanish parametrlari o'lchandi va bu ARC da  $350 \text{ Wt/m}^2$  quvvatga aylantiriladi.  $550 \text{ Wt/m}^2$  va  $750 \text{ Wt/m}^2$  mos ravishda  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  modulning ish haroratiga to'g'ri keldi.

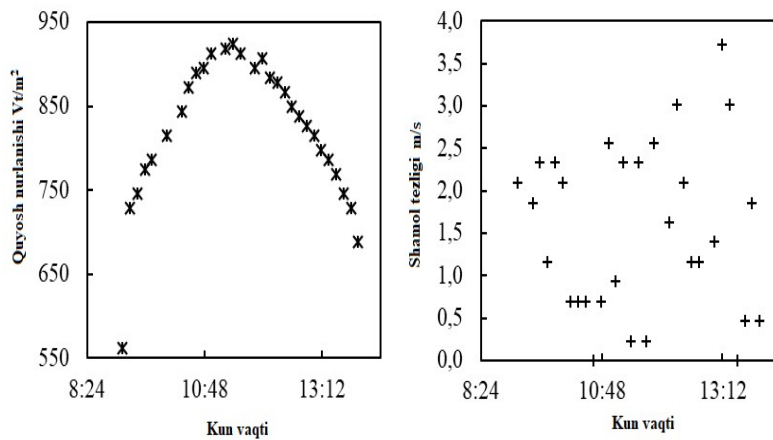




Fotoelektrik modullarda quyosh nuri intensivligi va atrof-muhit harorati o'zgarishi 4-rasmda ko'rsatilgan.



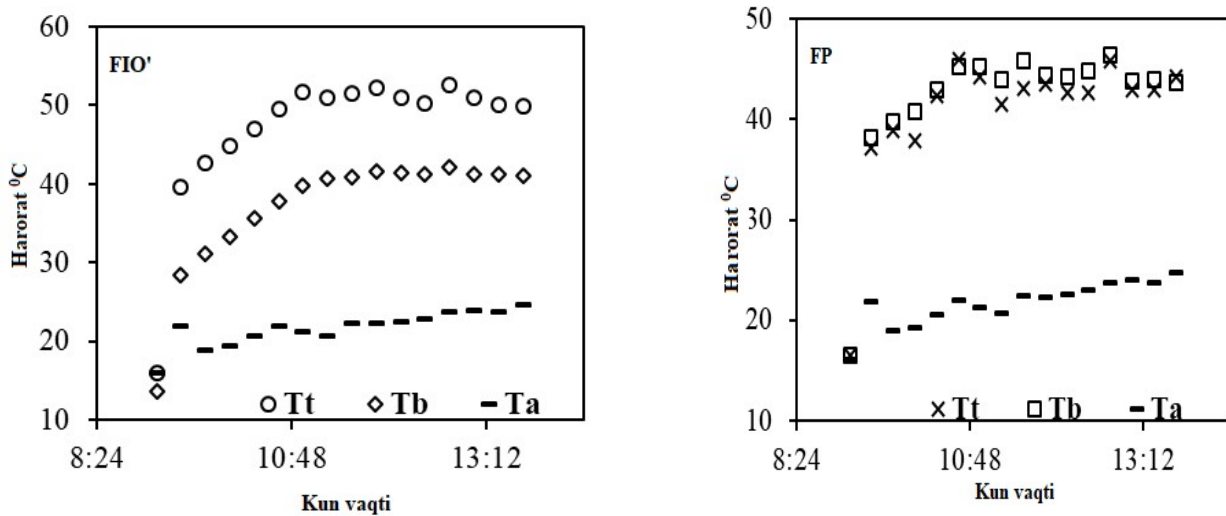
4-rasm. Tajribada kuzatilgan quyosh radiatsiyasi  $I(t)$  va atrof-muhit harorati ( $T_a$ ), 2022-yil aprel oyining ketma-ket ikki odatdagi kunida hisoblangan.



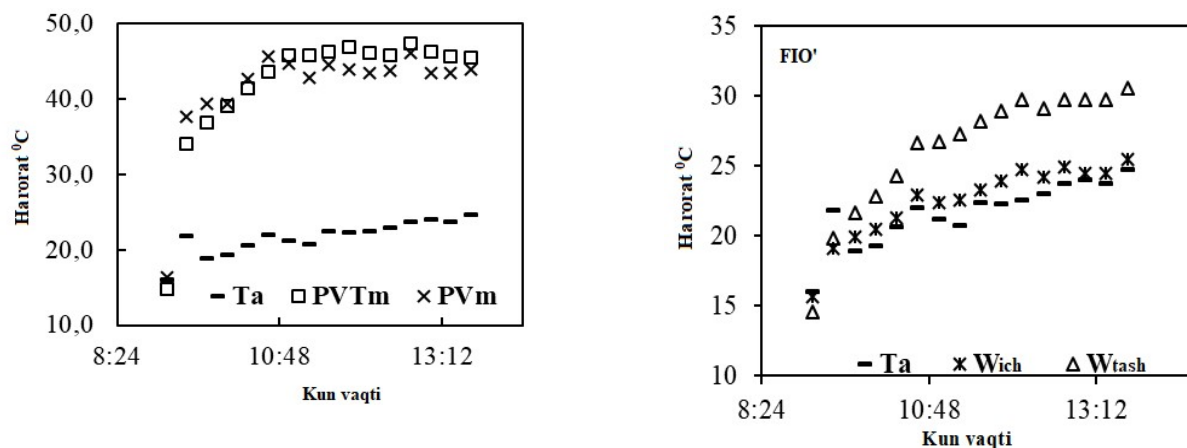
5-rasm. Kun davomida quyosh nurlanishi (a) va shamol tezligi (b) dinamikasi tasviri.

Tasvir kun davomida quyosh nurlanishining zichligi ma'lum dinamikaga ega bo'lganligi va shamol tezligi o'zgaruvchanligini ko'rsatadi.

Shamol tezligining ta'siri FE haroratida va shunga mos ravishda uning chiqish parametrlarida aks etishi mumkin. Shu munosabat bilan, 6-rasmda keltirilgan, bir kun davomida o'lichangan turli xil haroratlar dinamikasi ham VAX ni tanlash uchun asosdir.







6-rasm. Kunduzgi harorat dinamikasi: FP va FTPdagi FP ning  $T_b$ -pastki nuqtasi va  $T_t$ -yuqori nuqtasi,  $W_{pv}$ -suv kirish,  $W_{pvt}$  chiqishi,  $T_a$ -muhit (soyada) o'rnatish).

**Xulosa.** 6a-rasmdan ko'rinib turibdiki, FIO' balandligi bo'ylab harorat gradienti  $10^{\circ}\text{C}$  dan ortiq, FPda (6b-rasm) esa faqat bir necha daraja. Shu bilan birga, o'rtacha haroratlar (6c-rasm) ham faqat bir necha daraja farq qiladi. Suvning kirish (pastdan) va chiqishi (yuqoridan) o'rtasidagi harorat gradienti (6d-rasm) kun davomida ortadi, shuningdek, kollektorning pastki qismida harorat bo'lsa-da,  $10^{\circ}\text{C}$  dan ko'proqqa yetadi, ya'ni, havo haroratiga yaqin qoladi. 6a-c-rasmdan ko'rinib turibdiki, FP va FIO' ning ish harorati atrof-muhit haroratidan yuqori va faqat FIO' ( $W_{pv}$ ) ning eng past nuqtasidagi suv harorati (6d-rasm)  $T_a$  ga yaqin bo'lib qoladi.

Integratsiyalashgan quyosh foto issiqlik o'zgartirgichlar (BIFT) tizimini qurish samaradorligini tushunish uchun uch xil turdagi turli xil tijorat texnologiyalariga asoslangan fotovoltaiik modullar beshta prototip bir xil izolyatsiyalangan sinov xujayralariga birlashtirilgan va ularning ishlashi suvning old yuzasida nozik fotovoltaiik bilan va ularsiz o'rganilgan.

#### FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Тошмаматов Б.М., Узакова Ю.Г. Анализ теплового баланса солнечной установки для переработки твердых бытовых отходов. Альтернативная энергетика. 2021. № 3. С. 36-40.
2. Toshmamatov B.M., Rahmatov O.I., Valiyev S.T., Nurmanov Sh.X. Geotermal energiya asosidagi gibrid issiqlik ta'minoti tizimining issiqlik-texnik parametrlarini hisoblash. Muqobil energetika. 2023. T. 9. № 2. С. 72-82.
3. Узаков Г.Н., Давланов Х.А., Тошмаматов Б.М. Анализ гибридных систем отопления жилых зданий, использующих ВИЭ. Альтернативная энергетика. 2023. Т. 8. № 1. С. 9-15.
4. Узаков Г.Н., Давланов Х.А., Тошмаматов Б.М. Энергоэффективные системы и технологии с использованием альтернативных источников энергии. Альтернативная энергетика. 2021. Т. 1. С. 7-19.
5. Узаков Г.Н., Алирова Л.А., Ибрагимов У.Х., Тошмаматов Б.М. Исследование комбинированного водовоздушного солнечного коллектора при ламинарном гидродинамическом режиме. Альтернативная энергетика. 2021. Т. 1. С. 33-40.
6. Узаков Г.Н., Тошмаматов Б.М., Хусенов А.А., Нурманов Ш.Х. Геотермальные системы автономного теплоснабжения локальных объектов. Альтернативная энергетика. 2021. Т. 3. № 3. С. 41-46.
7. Тошмаматов Б.М., Рахматов А.Р., Валиев С., Сафарова С.У., Бойитова А. Анализ схем кондиционирования воздуха на основе испарительного охлаждения воздуха с использованием солнечной энергии. Альтернативная энергетика. 2022. Т. 5. № 2. С. 11-15.



8. Жидко В.И., Резчиков В.А., Уколов В.С. Зерносушение и зерносушиллки // М: Колос,1982. 239 с.
9. Резчиков В.А., Налеев О.Н., Савченко С.В. Технология зерносушения//Алма-Ата: Алматинский технологический университет, 2000. 363 с.
10. Чеботарев В.П. Теоретическое исследование процесса сушки неподвижного слоя зерна.// Сельскохозяйственное машиностроение. Металлообработка. 2018. №2.с.2-4.
11. Mustayen A.G.M.B., Mekhilef S., Saidur R. Performance study of different solar dryers: A review.// Renewable and Sustainable Energy Reviews 34 (2014) 463–470.
12. Громаков Н.С., Поверхностные явления в дисперсных системах. //Федеральное агентство по образованию – КГАСУ. Учебное пособие. Казань 2008. 55-56 стр.
13. Nicholas Musembi Maundu, Kosgei Sam Kiptoo, Kiprop Eliud, Dickson Kindole, Yuichi Nakajo. Airflow Distribution Study and Performance Analysis of a Natural Convection Solar Dryer. // American Journal of Energy Research, 2017, Vol. 5, No 1, 12-22.
14. В.С. Udeinya, О. Ojike, W.I. Okonkwo, U.C. Abada. Performance Evaluation of Mixed Mode Passive Solar Stock Fish Dryer. // Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH) Vol. 40, No. 6 November 2021, pp1104–1109.
15. Dinesh Acharya., Improvement of an Indirect Solar Dryer. // Academic View TUTA, Tri-Chandra Campus Unit, Apr 2016, Vol-7:50-55
16. Abhay Lingayat, Chandramohan V.P., V.R.K. Raju. Design, development and performance of indirect type solar dryer for banana drying // Energy Procedia 109 (2017) 409 – 416.
17. Messaoud Sandali., Abdelghani Boubekri., Abderrahmane Benhamza., Belkhir Settou., Daoud Halassa., Djamel Mennouche. A Simulation study of a solar collector using phase change materials for air heating application needs // Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability AIP Conf. Proc. 1814, (2017); 020010-1–020010-11.
18. Пальтиель Л.Р., Зенин Г.С., Волынец Н.Ф. Коллоидная химия: Учеб. пособие. – СПб: СЗТУ, 2004. – 68 с.
19. Sh. Mirzaev, J. Kodirov, S.I. Khamraev. Method for determining the sizes of structural elements and semi-empirical formula of thermal characteristics of solar dryers. // APEC-V-2022 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 1070 (2022) 012021.
20. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. Второе издание.//Издательство «Энергия». 1977. стр. 182-193.