



QUYOSH ENERGETIKASI//СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА//SOLAR ENERGY ФОТОЭЛЕКТРИК БАТАРЕЯЛАРНИ СОВУТИШ ОРҚАЛИ УЛАРНИНГ ЭЛЕКТР САМАРАДОРЛИГИ ТАҲЛИЛЛАРИ

Турсунов М.Н.¹, Сабиров Х.¹, Абилфайзиев Ш.Н.², Абдурахмонова Н.К.³

¹ЎзР ФА Физика-техника институти, 100084 Тошкент, Ўзбекистон

²Термиз давлат университети, 190111 Термиз, Ўзбекистон

³“Шуртан газ кимё мажмуаси” МЧЖ

e-mail: abilmfayziyev@inbox.ru

Аннотация: Ушбу тадқиқотда турли типли совутилган ФЭБ лар совутилмаган анъанавий ФЭБ ларнинг самарадорликларига нисбатан таққослаш натижалари келтирилган. Бунда, совутилган монокристалл ФЭБ анъанавийсига нисбатан қуввати 1.5W (3,2%), ҳимоя қопламаси қора рангли монокристалл ФЭБ учун 1.7W (4%) га ҳамда поликристалл ФЭБ учун 0.3W (~1%) га ортгани аниқланди. Бундан ташқари, совутилган ҳимоя қопламаси қора рангли монокристалл ФЭБ нинг тўлдириш коэффициентини, совутилмаган анъанавий ФЭБ га нисбатан 7% га юқори эканлиги аниқланди.

Калим сўзлар: монокристалл, поликристалл, фотоэлектрик батарея, салт юриши кучланиши, қисқа туташув токи, тўлдириш коэффициентини, қувват.

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ БАТАРЕЙ ЧЕРЕЗ ОХЛАЖДЕНИЕ

Турсунов М.Н.¹, Сабиров Х.¹, Абилфайзиев Ш.Н.², Абдурахмонова Н.К.³

¹Физико-технический институт Академии наук Республики Узбекистан,
Ташкент, Узбекистан

²Термезский государственный университет, 190111 Термез, Узбекистан,

³ООО «Шуртанский газохимический комплекс»

e-mail: abilmfayziyev@inbox.ru

Аннотация: В этом исследовании сравниваются характеристики различных типов охлаждаемых ФЕВ и обычных неохлаждаемых ФЕВ. При этом по сравнению с обычным охлаждаемым монокристаллическим ФЭБ было установлено, что мощность увеличилась на 1,5Вт (3,2%), защитное покрытие увеличилось на 1.7Вт (4%) для черного монокристаллического ФЭБ, а для черного монокристаллического ФЭБ - на 0,3Вт (~ 1%) для поликристаллического ФЭБ. Кроме того, было обнаружено, что коэффициент заполнения охлаждаемого монокристаллического ФЭБ с черным покрытием был на 7% выше, чем у обычного неохлаждаемого ФЭБ.

Ключевые слова: монокристаллическая, поликристаллическая, фотоэлектрическая батарея, чистое напряжение потока, ток короткого замыкания, коэффициент заполнения, мощность.

ANALYSIS OF ELECTRICAL EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC BATTERIES THROUGH COOLING

Tursunov M.N.¹, Sabirov Kh.¹, Abilmfayziev Sh.N.², Abdurakhmonova N.K.³





¹Physical Technical Institute Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

²Termez State University, 190111 Termez, Uzbekistan,

³Shurtan Gas Chemical Complex LLC

e-mail: abilfayziyev@inbox.ru

Abstract: This study compares the performance of different types of cooled PVs versus conventional uncooled PVs. In this case, compared to the conventional cooled monocrystalline PV, it was found that the power increased by 1.5W (3.2%), the protective coating increased by 1.7W (4%) for the black monocrystal PV, and by 0.3W (~1%) for the polycrystalline PV. In addition, it was found that the fill factor of the cooled black-coated single crystal PV was 7% higher than that of the conventional uncooled PV.

Keywords: monocrystal, polycrystal, photoelectric battery, single-circuit voltage, short-circuit current, filling factor, power.

1. Кириш.

Глобал исиш ва иқлим ўзгариши бутун дунёда асосий муаммолардан биридир. Тез иқтисодий ривожланиш ва технологик тараққиёт дунё бўйлаб энергияга бўлган талабнинг ошишига олиб келмоқда [1].

Маълумки, фотоэлектрик батареялар (ФЭБ) нинг фойдали иш коэффиенти (ФИК) унинг ҳарорати ошиши билан кескин тушиб кетади [2-5]. Бугунги кунда ФЭБ ларнинг бир неча турлари мавжуд бўлса-да, уларнинг ҳароратга боғлиқ умумий қонунияти бир хил [6]. Яъни, уларнинг ҳарорати стандарт синов шароитига (STC, $T=25^{\circ}\text{C}$) нисбатан ортиши билан самарадорлиги камаяди. Шунинг учун, иссиқ иқлимли минтақаларда ФЭБ ларнинг ишлаши бўйича муаммолар мавжуд. Бу муаммони олдини олиш учун, тадқиқотчилар томонидан ФЭБ ларни турли усуллар билан совутишга мўлжалланган комбинацион қурилмалар яратилган.

Иқлими Ўзбекистон шароитига яқин бўлган мамлакатларда ФЭБ ларни совутишга доир илмий тадқиқотларга тўхталамиз.

[7] Эрон шимолида совутиш тизими сувга асосланган максимал қуввати 150W монокристалл фотоиссиқлик батареяси (ФИБ) ни анъанавий ФЭБ билан таққослаган. Анъанавий ФЭБ нинг совутилмаган ҳолатдаги ўртача самарадорлиги 13,83% ни ташкил қилган. Панелни совутиш мақсадида унинг иссиқлик коллектори (ИК) дан сув ўтказилганда унинг электр самарадорлиги 14,84% гача кўтарилган.

[8] тадқиқотда ФЭБ ни совутиш мақсадида унинг орқа томонига кулерлар ўрнатилган. ФЭБ совутилиши самаралироқ бўлиши учун корпусининг юқори ва пастки қисмларидан тешиklar очилган. Совутиш тизими автоматик режимда ишлайди: ФЭБ 50°C дан юқориласа, кулерлар ишлай бошлайди ва 50°C дан паст ҳароратда кулерлар ўчади. Кулерларни ёқиш ва ўчириш ҳарорат sensori томонидан амалга оширилган.

[9] мақолада ФЭБ ни иссиқлик қабул қилувчи металллар ёрдамида совутиш орқали кўпроқ электр энергияси ишлаб чиқаришга қаратилган. Бунинг учун ФЭБ нинг орқасига мис ва алюминий планкалар ўрнатилган. Металл планкалар ФЭБ нинг орқа юзасида тўпланадиган иссиқликни кун давомида ҳавога тарқатиб турган (улар радиатор вазифасини бажаришган). Мис планкалардан фойдаланиб ФЭБ ни совутиш алюминийга қараганда самарадорликни 4-6% га оширган. Бундай пассив усулда ФЭБ ни совутишга қаратилган тадқиқотлар совутивчи планкаларнинг турли дизайнларидан фойдаланган кўплаб тажриба-синов ишлари мавжуд [10-12].

Сўнгги йилларда Физика-техника институти олимлари билан бирга, турли типдаги ФЭБ ларнинг табиий шароитда самарадорлигини ошириш мақсадида уларнинг орқа томонига ИК лари ўрнатиб, тажриба-синов ишларини олиб бормоқдамиз [13-17].

Навбатдаги тажрибамизни 2023-йил июль ойида ўтказдик. Бу тажрибадан кўзланган асосий мақсад, қуввати 50W бўлган турли типдаги ФИБ ларни ҳақиқий шароитда синовдан





ўтказиш. Бундан ташқари ФИБ ларининг электр параметрларини худди шундай типдаги анъанавий ФЭБ лар билан таққослаш орқали, электр ўзгаришларини аниқлашдан иборат.

2. Материаллар ва усуллар

Тадқиқот ишлари ФЭБ ларни икки ўқли тиркамага ўрнатилган кўчма мобил қурилма ёрдамида бажарилди. Унга ўрнатилган ҳар бир ФЭБ да қуёш элементлари (ҚЭ) сони 36 та, АМ 1,5 шароитида қуввати 50W дан бўлиб, уларда ишлатилган кремнийнинг типи ва орқа қопламасининг ранги билан фарқ қилади (1-расм).



1-расм. Табиий шароитда ФЭБ ва ФИБ параметрларини ўлчаш.

Тиркама конструкцияси ФЭБ ларни қўл кучи ёрдамида горизонтал ёки вертикал ўқ атрофида вазиятини ўзгартириш имкониятини беради.

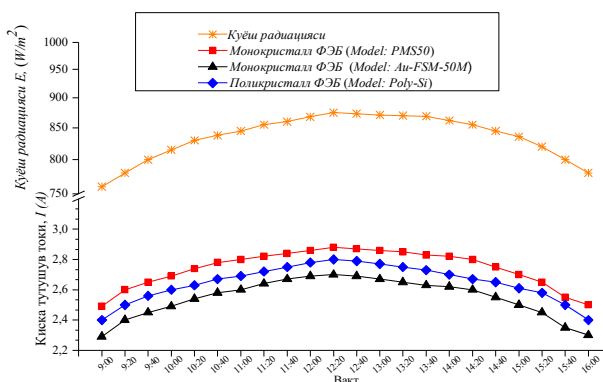
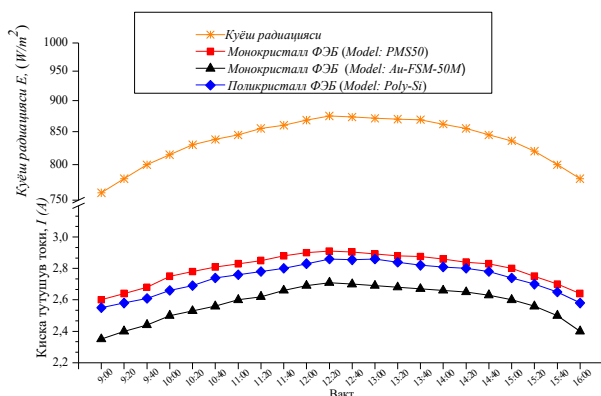
ФЭБ ва ФИБ ларнинг электр параметрлари Тошкент шароитида (Физика-техника институти гелиополигониди) сутка давомида қуёшга қўл кучи ёрдамида йўналтириш режимида ўлчанди. Бунда, ФЭБ ларнинг олд юзасига қуёш нурларининг тик (90^0) тушишини таъминлаш мақсадида ҳар 15-20 дақиқа вақт интервали билан оператор томонидан қуёшга йўналтириб турилади.

3. Натижалар ва мунозаралар

Тадқиқот юқорида таърифлаб ўтилган режим асосида кундузи 9:00 дан 16:00 гача вақт оралиғида олиб борилди. Кўчма қурилмага ўрнатилган ФЭБ ларнинг электр параметрлари 2023 йил 12-июль куни ҳаво ҳарорати $40-43^0\text{C}$, шамол тезлиги 4-6 м/с бўлган шароитда ўлчанди. Ушбу санада оддий ва совутилган ФЭБ лар юзасига тушаётган қуёш нурланиш интенсивлиги ва қисқа туташув тоқларининг вақтга боғлиқлиги 2-расмда кўрсатилган.

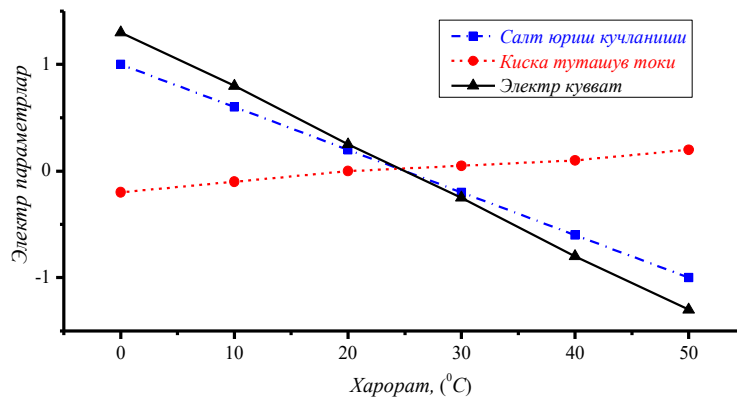
Оддий ФЭБ

Совутилган ФИБ



2-расм. Қуёш нурланиш интенсивлиги ва қисқа туташув тоқининг вақтга боғлиқлиги.

2-расмда оддий ва совутилган ФЭБ ларнинг қисқа туташув токи орасидаги фарқ жуда кичик эканлигини кўришимиз мумкин. Бунинг сабабини қуйдагича изохлаш мумкин. Маълумки, яримўтказгичли ҚЭ нинг қисқа туташув токи, СЮК ва максимал қувватнинг умумий ҳароратга боғлиқлик табиати чизиқлиликлка яқин (3-расм).



3-расм. Ярм ўтказгичли ҚЭ электр параметрларининг ҳароратга боғлиқлиги.

3-расмда келтирилганидек СЮК нинг пасайиши ҳароратнинг ҳар бир градуси учун тахминан 0,4% ни, максимал қувват учун эса 0,5% ни ташкил қилган. Ҳароратнинг кўтарилиши қисқа туташув токининг кам миқдорда 0,06% ортишини кўрсатади. Демак, қувватни камайтирадиган асосий омил бу СЮК экан [15; 15–17-б.].

Тажриба бошланиши билан (9⁰⁰ да) ФИБ ларнинг ИК га 20-25°C ҳароратли иссиқлик ташувчи юборилди. Бунда иссиқлик ташувчи сифатида сувдан фойдаланилди. ИК ларига юборилган иссиқлик ташувчи ФЭБ ларнинг орқасига тўпланаётган иссиқликни доимий олиб кетиши натижасида, ФИБ ларининг ҳарорати кескин кўтарилиб кетиши олди олинади. Аммо, совутилмаган (оддий) ФЭБ ларининг ҳарорати тажриба давомида ортиб боради. Натижада уларнинг СЮК ҳароратга мос равишда пасайиб боради. Бугунги вақтга келиб кенг тарқалган кремнийли ҚЭ нинг бир донаси контактлари орасида ~0,6В гача СЮК ҳосил қилинади.

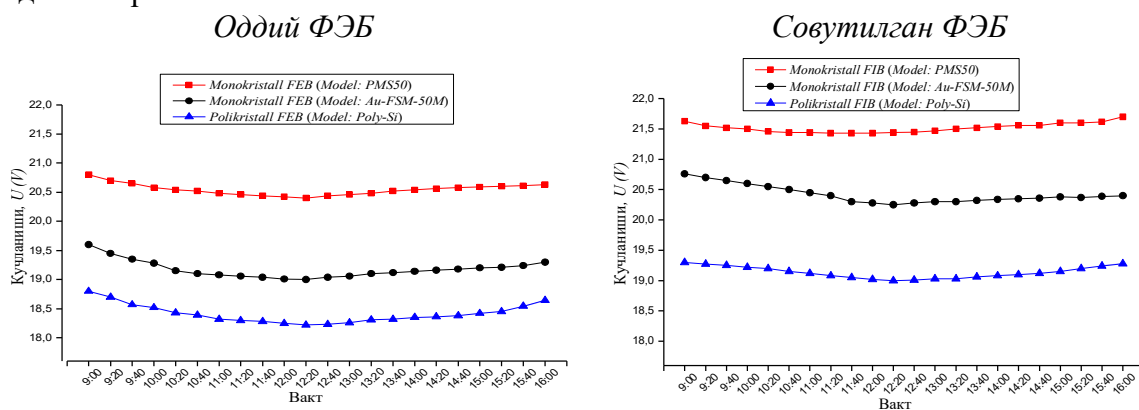
СЮК нинг маълум бир (Т) ҳароратдаги сон қийматини топиш тенгламаси қўйидаги кўринишида ёзилади:

$$U_{(T)} = U_0 + \beta(T_0 - T) \quad (1)$$

бунда, U_0 – стандарт ҳарорат (25°C) да салт юриш кучланиши; β – кучланиш бўйича ҳарорат коэффиценти (mV/°C); $T_0 = 25^\circ\text{C}$.

Кучланиш бўйича ҳарорат коэффиценти ҚЭ ҳарорати 25°C дан юқори ҳар бир градусга кўтарилганда чизиқли равишда – 2,3мВ/°C га камаяди [16].

Синов вақтида оддий ва совутилган ФЭБ ларнинг СЮК нинг вақтга боғланиш графиги 4-расмда тасвирланган.



4-расм. ФЭБ ва ФИБ ларни сутка давомида салт юриш кучланишларининг вақтга боғлиқлиги.



4-расмда келтирилган графикдан фойдаланиб оддий ва совутилган ФЭБ ларнинг СЮК ларининг ўрта арифметик қийматлари ҳисобланди. Ҳисоблашларга кўра, оддий ва совутилган монокристалл ФЭБ ларнинг СЮК мос равишда ~20,5V ва ~21,5V, орқа ҳимоя қопламаси қора рангли монокристалл ФЭБ лар учун ~19,2V ва ~20,5V ҳамда поликристалл ФЭБ лар учун ~18,4V ва ~19V ни ташкил қилди.

4-расмда оддий ва совутилган ФЭБ ларни сутка давомида куёшга қўл кучи ёрдамида йўналтириш режимида электр қувватларининг вақтга боғлиқлиги келтирилган.

Оддий ва совутилган ФЭБ ларнинг қувват P ни қуйидаги формула бўйича аниқланади:

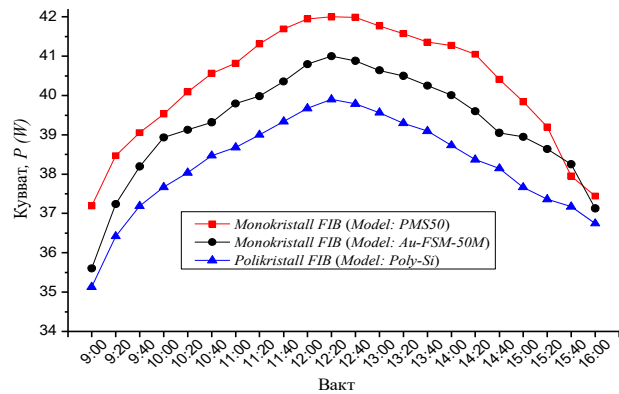
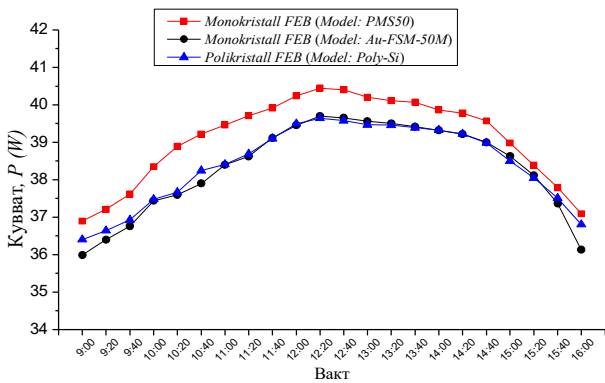
$$P = I_n U_n = FF \cdot I_{к.т.} U_{с.ю.} \quad (2)$$

бу ерда, $I_{к.т.}$ – қисқа туташув токи, $U_{с.ю.}$ – кучланиш. FF – вольт-ампер характеристиканинг тўлдириш коэффиценти (ҳозирги замон куёш элементларида 0,72 ва ундан каттадир).

Юқоридаги маълумотлардан фойдаланган ҳолда, оддий ва совутилган ФЭБ ларнинг қувватлари ҳисобланди ва қувватининг кундузги вақтга боғланиш графиги чизилди (5-расм).

Оддий ФЭБ

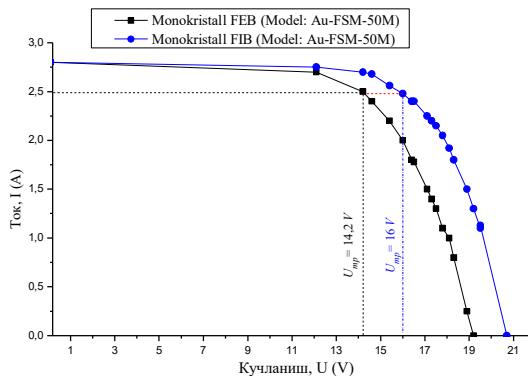
Совутилган ФЭБ



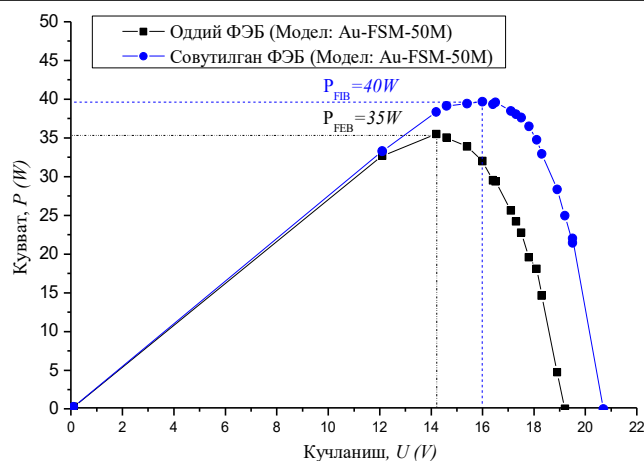
5-расм. ФЭБ ва ФИБ ларни сутка давомида куёшга қўл кучи ёрдамида йўналтириш режимида ФЭБ лар қувватининг вақтга боғлиқлиги.

5-расмдаги графикдан кўриниб турибдики, оддий ва совутилган ФЭБ лар қувватларининг максимал қийматлари: –монокристалл учун ~40,5W ва 42W, орқа ҳимоя қопламаси қора рангли монокристалл учун ~39,3W ва ~41W ҳамда поликристалл учун ~39,6W ва ~39,9W ни ташкил қилди.

Тажриба вақтида куёш зенит нуқтага келганда барча турдаги оддий ва совутилган ФЭБ ларнинг вольт-ампер (ВАХ) ва вольт-ватт (ВВХ) характеристикалари ўлчанди. Лекин, маълумотлар ҳажмини қисқартириш мақсадида турли типдаги ФЭБ лар орасидан фақат ҳимоя қопламаси қора рангли монокристалл ФЭБ ларнинг ВАХ ва ВВХ графиклари келтирилган (6, 7-расмлар).



6-расм. Оддий ва совутилган ФЭБ ларнинг ВАХ графиклари.



7-расм. Оддий ва совутилган ФЭБ ларнинг ВВХ графиклари.

6-расимда келтирилган маълумотлардан фойдаланиб, оддий ва совутилган ФЭБ ларнинг табиий шароитдаги тўлдириш коэффициентини (FF) ҳисоблаймиз. Бунинг учун 3-формуладан фойдаланамиз.

$$FF = \frac{I_n U_n}{I_{к.т.} U_{с.ю.}} \quad (3)$$

Бунда, оддий ФЭБ учун максимал қувват нуқтасидаги ток кучи ва кучланиши мос расишда $I_n = \sim 2,5A$, $U_n = \sim 14,1V$ га тенг бўлса (6-расм), қисқа туташув токи ва СЮК нинг сон қийматлари $I_{к.т.} = \sim 2,71A$ ва $U_{с.ю.} = \sim 19V$ га тенг эканлигини ҳисобга олсак, 3-формуладан фойдаланиб $FF_{ФЭБ} = 0,68$ эканлиги келиб чиқади.

Совутилган ФЭБ (ФИБ) учун $I_n = \sim 2,5A$ ва $U_n = \sim 16V$ бўлса, $I_{к.т.} = \sim 2,7A$ ва $U_{с.ю.} = \sim 20,25V$ эканлигини ҳисобга олиб, юқоридаги формуладан фойдаланиб $FF_{ФИБ} = 0,73$ эканлигини ҳисоблаш мумкин.

7-расимда зенит вақтида ўлчанган оддий ва совутилган ФЭБ нинг максимал қувват нуқтасидаги қийматлари мос равишда $P_{ФЭБ} = 35W$ ва $P_{ФИБ} = 40W$ ни ташкил қилди.

Хулоса

Турли типли совутилган ФЭБ лар, худди шундай типдаги совутилмаган аъъанавий ФЭБ ларнинг қувватлари ва самарадорликларига нисбатан таққосланди. Бунда, монокристалл ФЭБ учун қуввати $1.5W$ (3,2%) га, ҳимоя қопламаси қора рангли монокристалл ФЭБ учун $1.7W$ (4%) га ҳамда поликристалл ФЭБ учун $0.3W$ ($\sim 1\%$) га юқори бўлди. Бундан ташқари, совутилган орқа ҳимоя қопламаси қора рангли монокристалл ФЭБ нинг тўлдириш коэффициенти, совутилмаган аъъанавий ФЭБ га нисбатан 7% га юқори эканлиги аниқланди. Табиий шароитда ўтказилган тажриба-синов натижасида ИК мавжуд ФИБ ларининг максимал қувват нуқтасидаги қуввати, оддий ФЭБ ларга қараганда $5W$ га юқори экан.

Тажриба натижаларига кўра, турли типдаги аъъанавий ФЭБ лар орасида Тошкент худудида самарадорлиги юқори ФЭБ тури монокристалл ФЭБ эканлиги аниқланган.

Республиканинг айрим минтақалари бир-бирига ўхшаш бўлмаган ўзига хос иқлим шароитига эга. Шунинг учун, бу ҳудудларда катта қувватли ФЭС барпо этишдан олдин, тадқиқотда келтирилган кўчма фотоэлектрик қурилма ёрдамида, шу ҳудуд учун самарадорлиги юқори ФЭБ турини танлаб олиш мақсадга мувофиқ бўлади.

Фойдаланилган адабиётлар рўйхати

1. Узоқов Ғ.Н. “Яшил энергетика” – Барқарор иқтисодий тараққиёт асоси. Энергия ва ресурс тежамкор инновацион технологияларни ривожлантиришнинг долзарб муаммолари, республика илмий-амалий анжумани, Қарши 2022, 23-24-сентябрь 276-279-б.



1. Muminov R.A., Tursunov M.N., and Tukfatullin O.F. Temperature effect on the current–voltage characteristics of single-crystalline Si photovoltaic arrays. *Appl.Sol.Energy*,2007.№ 43.pp.211-213.
2. Tursunov M.N. and Yuldoshev I.A. Development of photovoltaic batteries, installations, efficiently operating in Central Asia. //Energio-Resursosberezh, 2011. Spec. Iss,– pp.160-165.
3. Tursunov M.N., Muminov R.A., Dyskin V.G. and Yuldashev I.A. A mobile photothermal converter and its operating characteristics. //Appl. Sol. Energy, 2013.–№49.–pp.16-18.
4. Singh P and Ravindra N. Temperature dependence of solar cell performance an analysis.//Solar Energy Materials and Solar Cells, 2012.–№101.–pp. 36–45.
5. Турсунов М.Н., Сабиоров Х., Юлдошов Б.А., Абилфайзиев Ш.Н. Изучение и анализ электрических параметров кремниевых фотоэлектрических батарей из солнечных элементов различных типов. /Физика полупроводников и микроэлектроника, 2021, Том 3. № 5. С. 56-67.
6. Sheshpoli A.Z., Jahonyan O., Nikzadfar K., A.Delavar M. Numerical and experimental investigation on the performance of hybrid PV/thermal systems in the north of Iran. //Solar Energy, 2021,–Vol. 215,– pp. 108-120.
7. Юлдошев И. А. Комбинированные энергоустановки на основе фотоэлектрических батарей из кристаллического кремния. //Докторская диссертация, 2016,–С. 140-148.
8. Parkunam N., Pandiyan L., Navaneethakrishnan G., Arul S., Vijayan V. Experimental analysis on passive cooling of flat photovoltaic panel with heat sink and wick structure.//Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 2019,–Vol.42.–pp. 553-563.
9. Mojumder J.Ch., Chong W. T., Ong H.Ch., Leong K.Y., Mamoon A.A. An experimental investigation on performance analysis of air type photovoltaic thermal collector system integrated with cooling fins design. //Energy and Buildings, 2016,–Vol. 130.–pp. 272-285.
10. Alktrane M., Péter.B. Energy and exergy analysis for photovoltaic modules cooled by evaporative cooling techniques. //Energy Reports, 2023, –Vol. 9.–pp. 122-132.
11. Agarwal N., Saxena A. Performance characteristics of a photovoltaic panel integrated with PCM packed cylindrical tubes for cooling. //International Journal of Sustainable Energy, 2022,–Vol.41.–pp. 444-468.
12. Tursunov M.N., Sabirov Kh., Abilfayziyev Sh.N., Yuldoshov B.A. Testing of different material type photoelectric battery and photothermal batteries composed. //Eurasian Physical Technical Journal, 2022,–№4 (42),–pp.44-50.
13. Muminov R.A., Tursunov M.N., Sabirov Kh, Abilfayziyev Sh.N., Yuldoshov B.A., Toshpulatov S.F. Testing of crystalline silicon-based photoelectric and photothermal batteries in real climate conditions and comparison of parameter changes. //APITECH-IV–2022, Journal of Physics: Conference Series,–2388 (2022) 012128.–pp.1-9.
14. П.В. Тихонов. Обоснование параметров фотоэлектрического теплового модуля. Диссертация, Москва, 2014, с. 15-17.
15. Yuldoshev I.A., Sulstonov M.Q., Yuldashev F.M. Quyosh energetikasi. // Darslik, 2021, 98-b.
16. Узakov Г.Н., Давланов Х.А., Тошмаматов Б.М., Камолов Б.И. Анализ гибридных систем отопления жилых зданий, использующих ВИЭ. Альтернативная энергетика. Научно-технический журнал. №1 (08) 2023. 31.03.2023 г. Стр. 9-16.
17. Uzakov G.N., Davlanov X.A., Kamolov B.I., Toshmamatov B.M. Qishloq hududlarida joylashgan obyektlarning integratsiyalashgan avtonom energiya ta‘minoti tizimlari. Muqobil energetika. Ilmiy-texnik jurnali. 03.07.2023 y. 9-14 b.