

UO‘K 621.311

## QUYOSH FOTOPANELLARINING SAMARADORLIGIGA TA’SIR QILUVCHI OMILLARNI TADQIQ QILISH

**Safarov Alisher Bekmurodovich** — doktorant (DSc), ORCID: 0000-0003-1164-9027,

E-mail: [a-safarov91@mail.ru](mailto:a-safarov91@mail.ru)

**Raxmatov Obid Ibod o‘g‘li** – assistent, ORCID: 0009-0008-2886-6822,

E-mail: [raxmatov\\_obid@mail.ru](mailto:raxmatov_obid@mail.ru)

Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti, Qarshi sh., O‘zbekiston

**Annotatsiya.** Energetika xavfsizligi va ekologik muammolarni barqarorlashtirishda quyosh fotoelektr qurilmalardan foydalanish muhim ahamiyat kasb etmoqda. Kontinental o‘zgaruvchan iqlim sharoitlarida quyosh fotoelektr qurilmalarning samaradorligiga ta’sir qiluvchi omillarni ilmiy asoslashga alohida e’tibor berilmoqda. O‘zbekiston iqlim sharoitlarida quyosh fotoelektr qurilmalaridan foydalanish imkoniyatlarini baholash va ularning samaradorligini oshirish dolzarb ilmiy-texnik masalalardan hisoblanadi.

Quyosh fotoelektr qurilmalari samaradorligining quyosh radiatsiyasi, tashqi harorat, shamol tezligi va quyosh panellari sirtining changlanganlik miqdoriga bog‘liqlik matematik modellari keltirilgan. Modellashtirish Matlab/Simulink tizimida amalga oshirilgan.

Tashqi harorat 25 °C va quyosh radiatsiyasi 1000 W/m<sup>2</sup> bo‘lganda fotopanelning quvvati maksimal 200 W ga, agar harorat 75 °C bo‘lganda taxminan chiqish quvvati 110 W ga teng bo‘lishi o‘rganilgan. O‘tkazilgan tajribalar quyosh fotopanelлари sirtining changlanganlik miqdori taxminan 0,1 gr/m<sup>2</sup> bo‘lganda qurilmaning foydali ish koeffitsiyenti maksimal 16 %, agar 80 gr/m<sup>2</sup> bo‘lganda qurilmaning samaradorligi 4% gacha pasayishini ko‘rsatdi. Shamol tezligi juda kichik bo‘lganda quyosh fotopanelларining harorati 72 °C, shamol tezligi 25 m/s bo‘lganda harorat pasayishi 48 °C bo‘lishi aniqlangan.

O‘zgaruvchan iqlim sharoitlarida quyosh panellari sirtini changdan tozalash va qizishdan saqlash orqali quyosh fotoelektrik qurilmalarning energiya samaradorligini 20...30% gacha oshirish imkoniga ega bo‘lishi asoslangan.

**Kalit so‘zlar:** quyosh fotoelektr qurilmasi, quyosh radiatsiyasi, harorat, shamol tezligi, chang miqdori, samaradorlik.

УДК 621.311

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОПАНЕЛЕЙ

**Сафаров Алишер Бекмуродович** – докторант (DSc)

**Рахматов Обид Ибод угли** – ассистент

Каршинский инженерно-экономический институт, г. Карши, Узбекистан

**Аннотация.** Использование солнечных фотоэлектрических устройств приобретает все большее значение в стабилизации энергетической безопасности и решении экологических проблем. Особое внимание уделено научному обоснованию факторов, влияющих на эффективность солнечных фотоэлектрических устройств в условиях континентального изменяющегося климата. Оценка возможностей использования солнечных фотоэлектрических устройств в климатических условиях Узбекистана и повышение их эффективности является одной из наиболее актуальных научно-технических задач.

*Представлены математические модели зависимости эффективности солнечных фотоэлектрических устройств от солнечной радиации, внешней температуры, скорости ветра и количества пыли на поверхности солнечных панелей. Моделирование выполняется в системе Matlab/Simulink.*

*Изучено, что мощность фотопанели составляет максимум 200 Вт при температуре наружного воздуха 25 °С и солнечной радиации 1000 Вт/м<sup>2</sup>, а при температуре 75 °С выходная мощность примерно равна 110 Вт. При количестве пыли на поверхности солнечных фотопанелей около 0,1 г/м<sup>2</sup> эффективность устройства составляет максимум 16%, а при 80 г/м<sup>2</sup> эффективность устройства снижается до 4%. Установлено, что температура солнечных фотопанелей составляет 72 °С при очень низкой скорости ветра, а перепад температуры составляет 48 °С при скорости ветра 25 м/с.*

*Он основан на том, что повысить энергоэффективность солнечных фотоэлектрических устройств можно на 20-30% за счет очистки поверхности солнечных панелей от пыли и сохранения их тепла в меняющихся климатических условиях.*

**Ключевые слова:** солнечная фотоэлектрическая установка, солнечная радиация, температура, скорость ветра, запыленность, эффективность.

UDC 621.311

## RESEARCH ON FACTORS AFFECTING THE EFFICIENCY OF SOLAR PHOTOPANELS

**Safarov, Alisher Bekmurodovich** - Doctoral student (DSc)  
**Rakhmatov, Obid Ibod ugli** - Assistant

Karshi engineering-economics institute, Karshi city, Uzbekistan

**Abstract.** *The use of solar photovoltaic devices is becoming increasingly important in stabilizing energy security and solving environmental problems. Particular attention is paid to the scientific substantiation of factors affecting the efficiency of solar photovoltaic devices in a continental changing climate. Assessing the possibilities of using solar photovoltaic devices in the climatic conditions of Uzbekistan and increasing their efficiency is one of the most pressing scientific and technical tasks.*

*Mathematical models of the dependence of the efficiency of solar photovoltaic devices on solar radiation, external temperature, wind speed and the amount of dust on the surface of solar panels are presented. The simulation is performed in Matlab/Simulink.*

*It has been studied that the power of a photopanel is a maximum of 200 W at an outside temperature of 25 °C and solar radiation of 1000 W/m<sup>2</sup>, and at a temperature of 75 °C the output power is approximately 110 W. When the amount of dust on the surface of solar photo panels is about 0.1 g/m<sup>2</sup>, the device efficiency is a maximum of 16%, and at 80 g/m<sup>2</sup> the device efficiency decreases to 4%. It was found that the temperature of solar photovoltaic panels is 72 °C at a very low wind speed, and the temperature difference is 48 °C at a wind speed of 25 m/s.*

*It is based on the fact that the energy efficiency of solar photovoltaic devices can be increased by 20-30% by cleaning the surface of solar panels from dust and preserving their heat in changing climatic conditions.*

**Keywords:** solar photovoltaic installation, solar radiation, temperature, wind speed, dust content, efficiency.

### Kirish

Jahonda energetika tizimida quyosh energiyasidan xususan, quyosh fotoelektrik batareyalardan foydalanish rivojlanib bormoqda. Dunyo miqyosida elektr energiyasiga bo'lgan ehtiyoj yil sayin

oshib borayotganligini ko‘rish mumkin. Agar oxirgi besh yillikni oladigan bo‘lsak, dunyo bo‘yicha har yili elektr energiyaga bo‘lgan ehtiyoj yildan yilga oshib bormoqda. Bu esa muqobil energiya turlarini ko‘paytirish va rivojlantirishni taqozo etadi. Xalqaro energetika agentligi ma‘lumotlariga e‘tibor qaratsak, agar Quyosh energiyasidan foydalanish shunday sur‘atlarda rivojlanib borsa, 2050-yilga kelib, dunyoning elektr energiyasiga bo‘lgan ehtiyojining 25% ini quyosh energiyasi hisobiga qondirish mumkin bo‘ladi va yiliga atrof-muhitga chiqariladigan karbonat angidrid gazini 6 milliard tonnaga kamaytirishga erishiladi [1, 2, 3].

Jahonda quyosh fotoelektrik batareyalaridan elektr energiyasini ishlab chiqarish 2022-yilda rekord darajada 270 TW/h ga, ya‘ni o‘tgan yilga nisbatan 26 foizga oshib, deyarli 1300 TW/h ga yetdi. Bu 2022-yilda barcha qayta tiklanadigan energiya manbalari texnologiyalari xususan, tarixda birinchi marta shamol energiyasidan foydalanishni ortda qoldirdi. Quyosh fotoelektrik batareyalarning iqtisodiy jozibadorligining uzluksiz o‘shishi, ta‘minot zanjirining ommaviy rivojlanishi va siyosatni qo‘llab-quvvatlashning kuchayishi, ayniqsa Xitoy, AQSh, Yevropa Ittifoqi va Hindistonda kelgusi yillarda quvvat o‘shishini yanada tezlashtirishi kutilmoqda. Olimlarning kelajakdagi bashoratlarida 2027-yilga kelib, quyosh fotoelektrik batareyalar quvvati deyarli uch baravar ko‘payishi, bu davr mobaynida taxminan o‘rnatilgan quvvati 1500 GWga o‘shishi, 2026-yilga kelib tabiiy gazdan va 2027-yilga kelib ko‘mirdan foydalanishga nisbatan oshishi ta‘kidlangan [4].

Yangi O‘zbekistonning 2022-2026 yillarga mo‘ljallangan Taraqqiyot strategiyasida yurtimizda “yashil” energetikani rivojlantirishga alohida e‘tibor berilmoqda. Jumladan, 2023-yil oxiriga qadar umumiy quvvati 4 300 MW bo‘lgan qayta tiklanuvchi energiya manbalari ishga tushiriladi. Bunda 2 100 MW yirik quyosh va shamol elektr stansiyalari; 1 200 MW ijtimoiy soha, xo‘jalik bino va inshootlari hamda xonadonlarda o‘rnatiladigan quyosh panellari; 550 MW tadbirkorlar tomonidan kichik fotoelektr stansiyalari [5] barpo etiladi.

Quyosh fotopanellarining samaradorligi – ushbu qurilmalar yordamida ishlab chiqarilgan elektr energiyasining umumiy miqdori (masalan, yiliga kWh) ushbu panellar sirtiga tushadigan yig‘indi quyosh radiatsiyasiga (bir xil birlikda, ya‘ni kVt/yil) nisbatiga teng bo‘ladi. Bu quyida tavsiflangan bir qancha atrof-muhit omillariga ( quyosh nurlanishi, havo harorati, shamol tezligi, nisbiy namlik va havo bosimi) va quyosh modulining xususiyatlariga (modul quvvati, modul harorati) bog‘liq.

**Quyosh nurlanishi ( $W/m^2$ ):** ma‘lum vaqt oralig‘ida birlik yuzaga tushadigan quyosh energiyasining miqdori. Quyosh fotopanellar ishlab chiqaradigan elektr energiyasining miqdori quyosh nurlanishiga bog‘liq bo‘lib, quyosh nurlanishining yuqori ko‘rsatkichlarida ushbu qurilmalarda elektr energiyasini ishlab chiqarish oshishiga olib keladi.

**Havo harorati ( $^{\circ}C$ ):** atrofdagi havoning isiganlik darajasini belgilaydi. Harorat fotopanellarning samaradorligiga ta‘sir qiladi, chunki ularning ishlashi harorat o‘zgarishiga sezgirdir. Quyosh modullarida harorat oshishi ularning energiya samaradorligini pasayishiga olib keladi.

**Shamol tezligi (m/s):** shamol oqimi havo molekularining ma‘lum bir yo‘nalishda harakatlanish tezligini bildiradi. Shamol tezligi fotopanellardan konvektiv issiqlik uzatishga va ularning ish haroratiga ta‘sir qiladi. Yuqori shamol tezligi issiqlik tarqalishini kuchaytirishi mumkin, bu esa quyosh fotopanellari haroratining pasayishiga va tizim ish faoliyatini yaxshilashiga olib keladi. Issiq iqlim sharoitida quyosh fotopanellaridan yuqori samaradorlikni olish uchun uni yerdan yoki tomdan bir necha santimetr balandlikda o‘rnatish, doimiy havo oqimini (shamoldan) ta‘minlash va fotopanellarning qizib ketishini oldini olish talab qilinadi.

**Nisbiy namlik (%):** nisbiy namlik havoda mavjud bo‘lgan namlik miqdorini ma‘lum bir haroratda maksimal quvvatiga nisbatan ifodalaydi. Nisbiy namlik quyosh fotopanellari tizimlarning elektr energiyasini ishlab chiqarishga to‘g‘ridan-to‘g‘ri ta‘sir qilmasa ham, u chang va boshqa zarrachalarning ifloslanishiga yoki fotopanel yuzalarida to‘planishiga ta‘sir qilishi mumkin. Yuqori namlik darajasi loyqa suvlarning ko‘payishiga yordam beradi, bu esa tizimning umumiy samaradorligini pasaytiradi.

**Havo bosimi (Pa):** havo bosimi atmosferaning birlik maydoniga ta‘sir qiladigan kuchni anglatadi. Havo bosimi quyosh fotopanellarining samaradorligiga to‘g‘ridan-to‘g‘ri ta‘sir qilmasa

ham, u fotopanellardagi mexanik kuchlanish va ularning strukturaviy yaxlitligiga ta'sir qilishi mumkin. Havo bosimidagi sezilarli o'zgarishlar, masalan, ekstremal ob-havo sharoitlari bilan bog'liq bo'lganda, tizimning uzoq muddatli ishonchliligi va ishlashiga ta'sir qilishi mumkin.

**Quyosh modulining quvvati (kW):** modul quvvati standart sinov sharoitida yetkazib beradigan maksimal elektr quvvatini ifodalaydi. Odatda vatt (W) yoki kilovatt (kW) da ifodalanadi va modulning quvvati yoki nominalini bildiradi.

**Quyosh modulining harorati (°C):** modul harorati quyosh fotopanellarining ish paytidagi haroratini bildiradi. Bunga quyosh nurlanishi, atrof-muhit harorati, shamol tezligi va issiqlik tarqalish mexanizmlari kabi omillar ta'sir qiladi. Modul haroratini kuzatish va nazorat qilish fotopanel tizimlarning ishlashi va samaradorligini optimallashtirish uchun juda muhimdir, chunki yuqori haroratlar elektr quvvatining pasayishiga va modulning tezlashishiga olib kelishi mumkin.

**Tadqiqotning maqsadi:** Qarshi shahri iqlim sharoitida quyosh fotopanellari samaradorligiga ta'sir qiluvchi tashqi omillarini tadqiq qilish.

### Usul va materiallar

Quyosh fotopanellarining ishonchli ishlashi asosan quyosh radiatsiyasi va tashqi havo haroratga bog'liq bo'lib, quyosh modullarida nominal harorat 25 °C bo'lganda ishlash samaradorligi eng yuqori bo'ladi. Quyosh fotopanellarining turli harorat rejimlarida ishlash samaradorligi nazariy hisoblarini keltirib o'tamiz. Quyosh fotopanellari quvvatining tashqi haroratga bog'liqligi quyidagi matematik ifoda orqali aniqlanadi [6]:

$$P = P_{sts} + P_{T-coeff} \cdot (T_c - T_{NOCT}), \quad (1)$$

bunda  $P_{sts}$  – quyosh fotopanellari quvvati, W;  $P_{T-coeff}$  – haroratga bog'liq solishtirma quvvat koeffitsiyenti, 0,004 W/°C (200 W, -0,8 W/°C);  $T_c$  – tashqi havo harorat °C;  $T_{NOCT}$  – quyosh modulidagi nominal harorat, 25 °C.

Quyosh fotopanellari foydali ish koeffitsiyentining tashqi haroratga bog'liqligi quyidagi matematik ifoda orqali aniqlanadi [7, 8]:

$$\eta = \eta_p \cdot (1 - \beta \cdot (T_c - T_{NOCT})), \quad (2)$$

bunda  $\eta_p$  – quyosh modulining nominal rejimdagi (1000 BT/m<sup>2</sup>, 25 °C) foydali ish koeffitsiyenti;  $\beta$  – quvvat o'zgarishiga bog'liqlik harorat koeffitsiyenti, 0,004 W/°C.

Quyosh fotopanellari sirtining changlanganlik miqdorining samaradorlik ko'rsatgichiga bog'liqlik empirik tenglamasi quyidagicha:

$$\eta = 12,3 \cdot \exp\left(-\frac{\rho}{17,4}\right) + 4,2, \quad (3)$$

bunda  $\rho$  – solishtirma changlanganlik miqdori, gr/m<sup>2</sup>.

Quyosh fotopanellari haroratining tashqi havo harorat va shamol tezligiga bog'liqlik tenglamasi quyidagicha [9]:

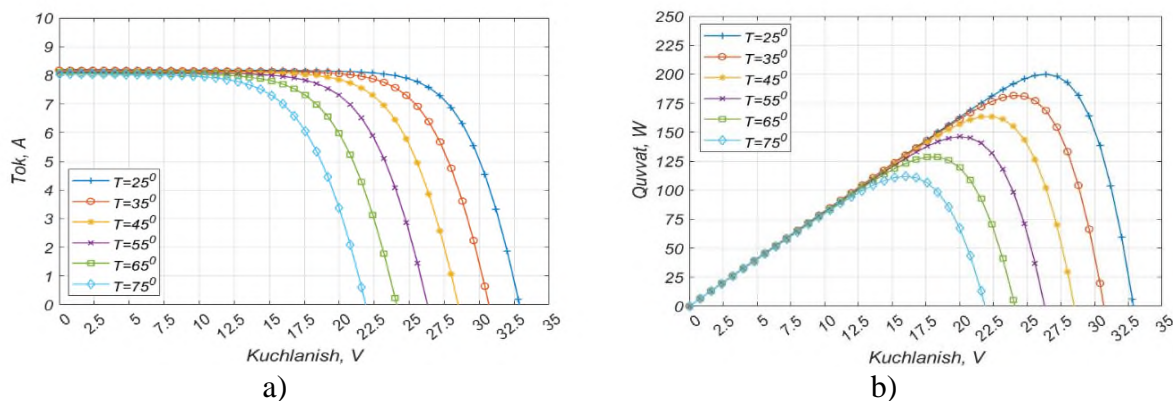
$$T_m = E \cdot (e^{a+b \cdot V}) + T_a, \quad (4)$$

bunda  $T_m$  – quyosh fotopaneli orqa tomonining harorati, °C;  $T_a$  – tashqi havo harorat, °C;  $E$  – Modul yuzasiga quyosh nurlanishi tushishi, W/m<sup>2</sup>;  $V$  – shamol tezligi, m/s;  $a$  – past shamol tezligida va yuqori quyosh nurlanishida modul haroratining yuqori chegarasini belgilovchi empirik aniqlangan koeffitsiyent;  $b$  – shamol tezligi oshishi bilan modul haroratining pasayish tezligini belgilovchi empirik aniqlangan koeffitsiyent.

### Natijalar

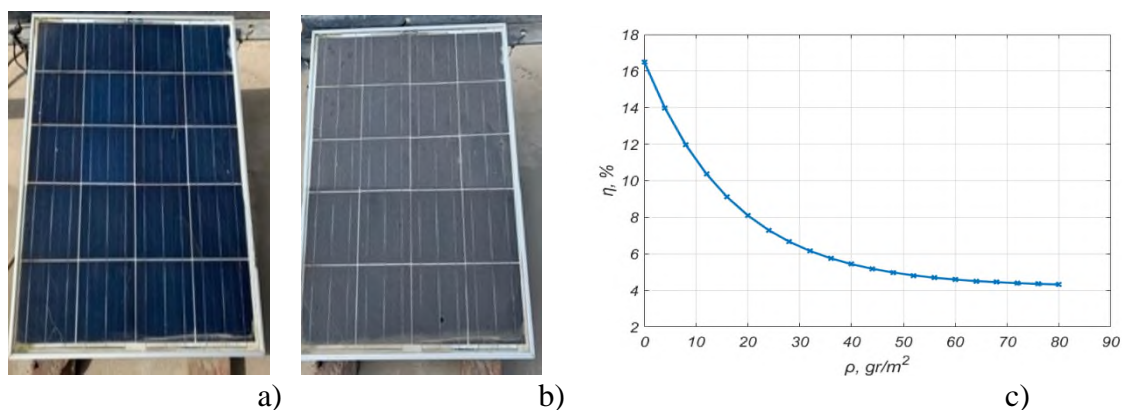
1-rasmda quyosh radiatsiyasi 1000 W/m<sup>2</sup> bo'lganda tashqi harorat o'zgarishining quyosh moduli chiqish tokining kuchlanishga (a) va quvvatning kuchlanishga (b) bog'liqlik egri chiziqlari keltirilgan. Bunda harorat oshganda quyosh modulining chiqish kuchlanishi va quvvati kamayishi aniqlandi. Tashqi harorat 25 °C va quyosh radiatsiyasi 1000 W/m<sup>2</sup> bo'lganda chiqish quvvati maksimal 200 W ga, agar harorat 75 °C bo'lganda taxminan chiqish quvvati 110 W ga teng bo'lar ekan.





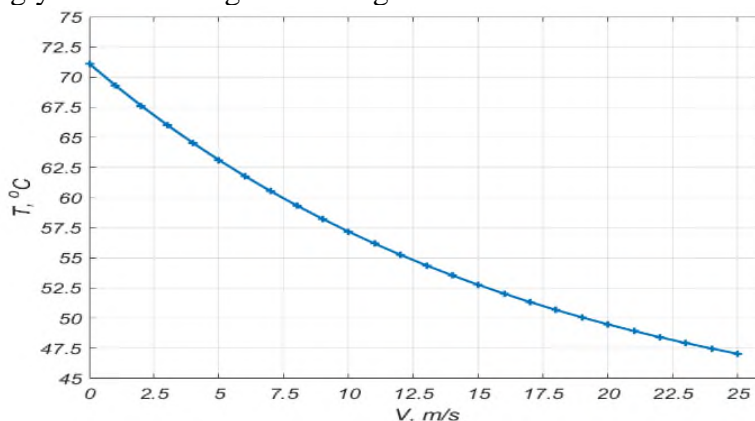
**1-rasm. Tashqi havo harorat o'zgarishining quyosh moduli chiqish tokining kuchlanishga (a) va quvvatning kuchlanishga (b) bog'liqlik egri chiziq-lari**

2-rasmda quyosh fotoelektrik batareyasi sirtining changlanganlik (a) miqdori (b) uning foydali ish koeffitsiyentiga bog'liqlik egri chizig'i keltirilgan. Bunda quyosh fotoelektrik batareyalari sirti changlanganlik miqdori taxminan  $0,1 \text{ gr/m}^2$  bo'lganda qurilmaning foydali ish koeffitsiyenti maksimal 16%, agar  $80 \text{ gr/m}^2$  bo'lgan qurilmaning samaradorligi 4 % gacha pasayishi tajribalarda aniqlandi. Ushbu natijalarni aniqlashda (3) empirik tenglamadan foydalanildi.



**2-rasm. Quyosh fotoelektrik batareyasining toza (a), changlanganlik holati (b) va changlanganlik miqdorining qurilmaning samaradorlik ko'rsatgichiga bog'liqlik egri chizig'i (c)**

3-rasmda quyosh fotoelektr panellari haroratining shamol tezligiga bog'liqlik egri chizig'i keltirilgan. Bunda quyosh radiatsiyasi  $1000 \text{ W/m}^2$  va tashqi harorat  $40^{\circ}\text{C}$  qabul qilingan. Natijalarga ko'ra shamol tezligi oshganda quyosh panellari harorat pasayishi aniqlandi. Quyosh fotopanellarida harorat pasayishi energiya samaradorligini oshishiga olib keladi.



**3-rasm. Quyosh fotopanellari haroratining shamol tezligiga bog'liqlik egri chizig'i**

## Xulosa

Quyosh fotonellari samaradorligiga ta'sir qiluvchi asosiy omillarga tashqi havo harorati, quyosh nurlanishi, shamol tezligi ekanligi asoslandi. Bunda tashqi havo harorati 25 °C va quyosh radiatsiyasi 1000 W/m<sup>2</sup> bo'lganda, fotonellarning quvvati maksimal 200 W ga, agar harorat 75 °C bo'lganda taxminan chiqish quvvati 110 W ga teng bo'lishi o'rganildi. Quyosh fotonellari sirtining changlanganlik miqdori taxminan 0,1 gr/m<sup>2</sup> bo'lganda qurilmaning foydali ish koeffitsiyenti maksimal 16%, agar 80 gr/m<sup>2</sup> bo'lgan qurilmaning samaradorligi 4% gacha pasayishi tajribalarda aniqlandi. Shamol tezligi juda kichik bo'lganda quyosh fotonellarning harorati 72 °C, shamol tezligi 25 m/s bo'lganda harorat pasayishi 48 °C bo'lishi aniqlandi.

## Adabiyotlar

- [1] [https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA\\_World\\_Energy\\_Transitions\\_Outlook\\_Summary\\_2021\\_RU.pdf](https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA_World_Energy_Transitions_Outlook_Summary_2021_RU.pdf)
- [2] Uzoqov G'.N., Xo'jaqulov S.M., Uzoqova Yu.G'. Muqobil energiyadan foydalanish asoslari. - T.: "Fan va texnologiya", 2017, 160 b.
- [3] Аллаев К.Р. Современная энергетика и перспективы ее развития. Под общей редакцией академика Салимова А.У. -Т.: «Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi», 2021. 952 стр.
- [4] Quyosh energiyasidan foydalanish ko'rsatgichlari. <https://www.iea.org/energy-system/renewables/solar-pv>
- [5] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining qarori, 16.02.2023 yildagi PQ-57-son. <https://lex.uz/uz/docs/-6385716>
- [6] G.N.Uzokov, A.B.Safarov. Mathematical Modeling Of Solar Photoelectric Batteries In Matlab/Simulink System. IBAST. Vol.3. Iss.9. 2023. Pp.80-88. <https://zenodo.org/records/8347989>
- [7] Safarov A.B., Uzoqov G'.N. Kombinatsiyalashgan quyosh-shamol energetik qurilmasini modellashtirish. "O'zbekgidroenergetika" ilmiy-texnik jurnali №2, 2023. 77-81 b.
- [8] Safarov A.B., Uzoqov G'.N., Mamedov R.A. Kombinatsiyalashgan quyosh-shamol energetik qurilmasi. Adliya vazirligi huzuridagi Intellektual mulk agentligi (17.08.2023 y. FAP 02323)
- [9] D. L. King et.al. Photovoltaic array performance model. Sandia National Laboratories Albuquerque, New Mexico 87185-0752. [https://energy.sandia.gov/wp-content/gallery/uploads/SAND-2004\\_PV-Performance-Array-Model.pdf](https://energy.sandia.gov/wp-content/gallery/uploads/SAND-2004_PV-Performance-Array-Model.pdf)
- [10] Toshmamatov, B., Davlonov, Kh., Rakhmatov, O., Toshboev, A., Rakhmatov, A. Modeling of thermal processes in a solar installation for thermal processing of municipal solid waste AIP Conference Proceedings 2612,050027 2023.
- [11] Toshmamatov, B., Davlonov, Kh., Rakhmatov, O., Toshboev, A. [Recycling of municipal solid waste using solar energy](#). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 1030(1),012165 2021.
- [12] Autonomous heat-cooling and power supply system based on renewable energy devices (trigeneration system) A.B.Safarov, O.I.Rakhmatov, and Yu.G.Uzakova BIO Web of Conferences, 02(2023) CIBTA-II-2023 71 030 <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237102030>.