



QUYOSH FOTOENERGETIKASINING TARIXI, TEXNOLOGIK YUTUQLARI VA GLOBAL TENDENSIYALARI

SH. O. Bebitov
F. F. Sodiqov
M. Sh. Xayitbayeva
J. X. Ishanov
J. B. Rajabov
U. Z. Axmadjanov

Energetika vazirligi huzuridagi Qayta tiklanuvchi energiya manbalari milliy ilmiy tadqiqot instituti

Annotatsiya. Maqolada so'nggi bir necha yil ichida quyosh fotoenergetikasi jahon bozorining rivojlanishining asosiy tendentsiyalari ko'rib chiqiladi. Sanoat qayta tiklanadigan energiya tarmoqlari va umuman zamonaviy sanoat tarmoqlari orasida juda tez rivojlanayotgani ko'rsatilgan. Ko'rinib turibdiki, ishlab chiqarilayotgan quyosh energiyasining asosiy tannarxi atom elektr stansiyalari va issiqlik elektr stansiyalarida an'anaviy usullar bilan ishlab chiqarilgan elektr energiyasi narxiga tez yaqinlashmoqda. Qayta tiklanadigan energiya laboratoriyasi (NREL, AQSH) tomonidan 2024 yilda taqdim etilgan ma'lumotlar asosida innovatsion texnologik yechimlardan foydalangan holda turli materiallardan tayyorlangan zamonaviy tadqiqot quyosh batareyalari samaradorligini rivojlantirish jihatlari qayd etilgan. Umuman olganda, maqolada quyosh fotoenergetikasining bugungi kundagi rivoji va kelajak istiqbollari tahlil qilingan bo'lib, texnologik yutuqlar va sanoatning kengayishi global energiya bozorida o'rni haqida yozilgan.

Абстрактный. В статье рассмотрены основные тенденции развития мирового рынка солнечной фотоэлектрической энергии за последние несколько лет. Было показано, что эта отрасль очень быстро растет среди секторов возобновляемой энергетики и современных отраслей в целом. Видно, что базовая стоимость производимой солнечной энергии стремительно приближается к стоимости электроэнергии, производимой традиционным способом на атомных и тепловых электростанциях. На основе данных, представленных Лабораторией возобновляемой энергетики (NREL, США) в 2024 году, отмечены аспекты развития эффективности современных исследовательских солнечных элементов, изготовленных из различных материалов с использованием инновационных технологических решений. В целом в статье анализируется современное развитие и будущие перспективы солнечной фотоэлектрической энергетики, а также описывается роль технологических достижений и промышленной экспансии на мировом энергетическом рынке.

Abstract. The article reviews the main trends in the development of the global solar photovoltaic market over the past few years. It is shown that the industry is developing very rapidly among renewable energy sectors and modern industries in general. It is clear that the basic cost of solar energy produced is rapidly approaching the cost of electricity generated by traditional methods at nuclear power plants and



thermal power plants. Based on the data provided by the National Renewable Energy Laboratory (NREL, USA) in 2024, aspects of improving the efficiency of modern research solar cells made of various materials using innovative technological solutions are noted. In general, the article analyzes the current development and future prospects of solar photovoltaics, and discusses the role of technological advances and industry expansion in the global energy market.

Kalit so'zlar: *Fotoelektrik, quyosh panellari, maksimal quvvat, Quyosh fotoelektrik, Energiya texnologiyalari, Perovskit, PV, samaradorlik.*

KIRISH

Quyosh energiya insoniyat uchun ishonchli energiya manbalaridan biri bolib, bugungi kunda texnologiya tufayli yangi bosqichga ko'tarilmoqda. Qayta tiklanuvchi energiya manbalari ichida ayniqsa quyosh fotoenergetikasi so'nggi yillarda eng tez rivojlanayotgan tarmoqlardan biriga aylandi. Bu global energetika sektorining barqarorligini ta'minlashga xizmat qilmoqda. Texnologik manbalar tufayli quyosh panellari quvvatini oshirdi bu esa jahon bozorida quyosh energiya manbasini yanada samarador qildi.

So'ngi yillarda quyosh energiyasining tannarxi an'anaviy elektr stansiyalarida ishlab chiqarilgan energiya narxiga yaqinlashayotgani kuzatilmoqda. Shu bilan birga, AQShning Qaytatiklanuvchi energiya laboratoriyasi (NREL) tomonidan 2024 yilda taqdim qilingan ma'lumotlar asosida quyosh elementlarini quvvatini oshishi va texnologik jixatdan rivojlanayotganligi xam qayd etib o'tilgan. Bundan tashqari Quyosh energiyasining rivojlanish tarixi bozor bosqichlari, texnologik yutuqlari, global tendentsiyalari rivojlanishi tahlili keltirib o'tilgan. Bu sohaning global elektr energiyasi ishlab chiqarishdagi o'rni, istiqbollari va ishlab chiqarish jarayonida o'ziga xos ravishda ko'rib chiqildi.

Quyosh energiya texnologiyalarining rivoji, insoniyatning rivojlanishidagi kelajakka intilishi qadam bo'lib, muhim, iqtisodiy samaradorlik va texnologik taraqqiyotning uyg'unligini ta'minlash yo'lida ulkan salohiyat yaratmoqda. Shu bois, quyosh fotoenergetikasining ishlab chiqarish ko'rsatkichlari global energiya bozorida o'rganish bugungi kun uchun juda muxum. Maqolada so'nggi bir necha yil ichida quyosh fotoenergetikasi jahon bozorining rivojlanishining asosiy tendentsiyalari ko'rib chiqiladi. Sanoatda qayta tiklanadigan energiya tarmoqlari va umuman zamonaviy sanoat tarmoqlari orasida juda tez rivojlanayotgani ko'rsatilgan. Ko'rinib turibdiki, ishlab chiqarilayotgan quyosh energiyasining asosiy tannarxi atom elektr stansiyalari va issiqlik elektr stansiyalarida an'anaviy usullar bilan ishlab chiqarilgan elektr energiyasi narxiga tez yaqinlashmoqda. 2024 yil uchun maksimal samaradorlik ko'rsatilgan.

Asrlar davomida insoniyatni ilhomlantirgan quyosh energiyasi hozirda haqiqiy yuksalishni boshdan kechirmoqda. Texnologiyaning jadal rivojlanishi tufayli quyosh panellari eksperimental qurilmalardan arzon va samarali energiya manbaiga aylandi. Ushbu o'tish energiya sohasida yangi davrni belgilab, insoniyat uchun yanada barqaror va ekologik toza kelajak yaratish istiqbollarini ochdi.

1839 yilda Aleksandr Edmond Bekkerel yorug'lik ta'sirida o'tkazuvchi eritmadagi elektrod orqali fotoelektrik (PV) effektini kuzatganidan beri 185 yil o'tdi. Ushbu 185 yillik



tarixni qulay tarzda 1839 yildan hozirgacha bo'lgan kashfiyotlarni 6 davrga bo'lish mumkin.

1839- 1904 yillar orasidagi birinchi davrga mos kelib 1839-yilda Adams va Day qotib qolgan selenda PV effektini kuzatdilar [1] va 1904-yilda Hallwachs mis va mis oksidi bilan yarim o'tkazgichli quyosh batareyasini yaratdi. Biroq, bu davr faqat kashfiyot davri bo'lib, bu birinchi PV qurilmalarining ishlashi orqasidagi fan haqida hech qanday haqiqiy tushunchaga ega bo'lmagan.

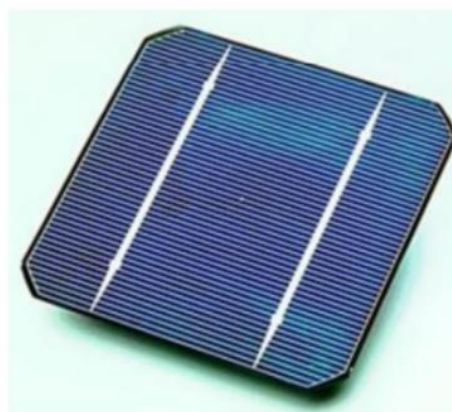
PV qurilmasining ishlashi va potentsial yaxshilanishi uchun nazariy asos 1905 yildan 1950 yilgacha bo'lgan davrda PV tarixining ikkinchi bosqichida asosiy voqealar Eynshteynning foton nazariyasi [2], Chxralskiy kristall o'stirish usulini monokristalli kremniy va germaniy o'sishi uchun moslashtirish [5] va yuqori tozalikdagi monokristalli yarimo'tkazgichlar uchun tarmoqli nazariyasini ishlab chiqish [3-4] bo'ldi. Ishlab chiqilgan PV hujayra nazariyasi yuqori samarali quyosh xujayralari uchun yuqori tozalikdagi yagona kristalli yarimo'tkazgichlarning muhimligini ta'kidladi.

1950 yildan 1959 yilgacha bo'lgan voqealar umumlashtirilib ikkinchi davrga mos kelib, amaliy kremniy monokristalli PV qurilmasiga olib keldi. Asosiy voqealar Bell Labs tomonidan 1954 yilda Silikon quyosh xujayrasi [5] haqida e'lon qilindi, 1957 yilda Pearson, Chapin va Fuller patenti bilan 8% samarali silikon quyosh batareyasi [6]. Endi PV uchun turli bozorlarni rivojlantirish uchun poydevor qo'yildi.

PV rivojlanishining keyingi uchinchi bosqichini eng yaxshi davrdagi siyosiy munosabatga ko'ra ajratish mumkin. 1960 yildan 1980 yilgacha bo'lgan PV tarixining 4-bosqichi AQShda birinchi navbatda kosmik sun'iy yo'ldoshlarda, so'ngra yer usti inshootlarida PV quyosh elementlari siyosiy qo'llab-quvvatlash bilan rivojlandi. Bu davr 1962 yilda uchirilgan va 1-a-rasmda ko'rsatilganidek, kremniy quyosh batareyalari bilan quvvatlanadigan birinchi Telstar aloqa sun'iy yo'ldoshining yaratilishi bilan boshlandi [7]. Keyin 1970- yillarda kremniy hujayralar yer usti qurilmalarida foydalanish uchun ishlab chiqilgan. 1-b-rasmda bugungi kunda keng tarqalgan kremniy quyosh elementi ko'rsatilgan.



(a)



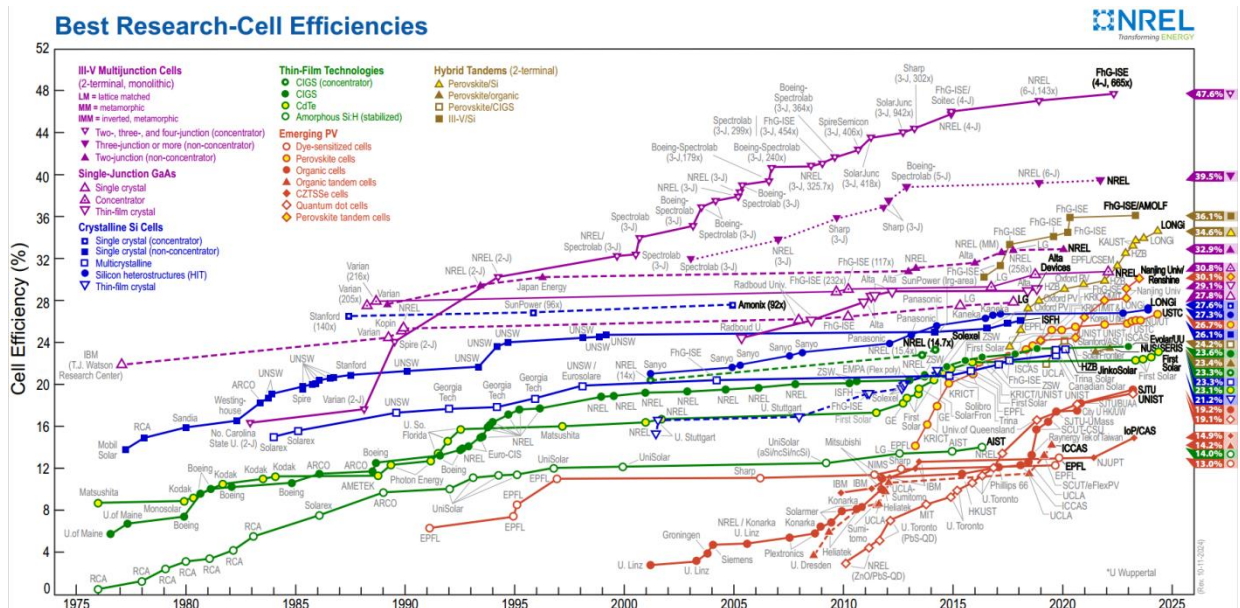
(b)

1-rasm: (a) Telstar sun'iy yo'ldoshi [7] (b) tipik kremniy ko'tarilgan hujayra yoki fotoelektrik (PV) hujayra.

1980 yildan 2000 yilgacha bo'lgan 5-davrdagi asosiy Quyosh energiyasi texnologiyalari yanada takomillashdi, samaradorlik 20% dan oshdi. [8]

2000-yildan hozirgi kungacha bo'lgan oltinchi va yakuniy tarixiy davr PV hujayralarini joylashtirishda xalqaro ishtirokga o'tish bilan tavsiflanadi, Bu davr Germaniyaning qayta tiklanadigan energiya manbalari to'g'risidagi qonuni bilan boshlanadi, bu esa Evropada quyosh energiyasi bozorini yaratuvchi quyosh energiyasi tarifi yoki FITni yaratadi. Suntech Power [9] 2001 yilda Xitoyda tashkil etilgan va bu Xitoyda hukumat subsidiyalari va arzon ishchi kuchi bilan quyosh energiyasi ishlab chiqarishga sodiqlik davrini boshlaydi. Butun dunyo bo'ylab quyosh PV o'rnatilgan quvvati 2002 yildagi 1 GVtdan 2014 yil boshida 134 GVtgacha o'sdi 2023 yilda global quyosh PV quvvati 1624 GVtni tashkil etdi va 2023-yilning o'zida taxminan 447 GVt yangi PV quvvati o'rnatildi.[10]

Bugungi kunga kelib esa quyosh elementlarini samaradorligini oshirish usullari turli laboratoriyalarda ilmiy tadqiqot institutlarida juda ko'p o'rganilgan. Shu xisobdan quyosh elementlari samaradorligi bir muncha ko'tarildi va natijada narxlar xam bir necha barobar arzonlashishiga sabab bo'ldi. Quyidagi jadvalda qayta tiklanadigan energiya milliy laboratoriyasi (NREL, AQSh) tomonidan 2024-yil uchun maksimal samaradorlikka ega quyosh elementlari ishlab chiqish bo'yicha taqdim etilgan ma'lumotlar 2-rasm.



2-rasm: Mazkur grafikda turli quyosh elementlarining samaradorligining o'zgarishi va rivojlanish dinamikasi keltirilgan.[10]

Har xil turdagi quyosh batareyalari orasida mono-kristalli quyosh xujayralari 2023 yilda 27,3 foiz laboratoriya samaradorligini qayd etdi. So'nggi o'n yil ichida tijoriy gofret asosidagi silikon modullarning samaradorligi oshdi. Xozirgi kunda quyosh panellarini elementlari tarkibi kremniydan iborat bo'lib uni laboratoriya sharoitida tayyorlash bo'yicha turli tadqiqotchilar erishgan natijalari quyidagi jadvalda joylashtirilgan. (1-jadval)



Ayrim tadqiqotchilarning kremniy yetishtirish bo'yicha erishgan yutuqlari. 1-jadval

Nomi	η IK %	V_{oc} V	J_{sc} mA /cm ²	Fi fill factor %	Ma ydoni cm ²	Sa na	Laborat oriya/ Tadqiqotchi
Perovski t SI	3 4.6	1. 996	2 0.7	8 3.6	1.0 04	05. 2024	LONGI
Perovski (kremniy tandem)	3 0.1	2. 199	1 6.7	81 .5	0.0 493	07. 2024	Nanjing Universiteti
Kremniyl i getrostruktura (HIT)	2 7.3	0. 743	4 2.6	8 6.19	24 3.1	01. 2024	LONGI
Monokri stal kremniy asosidagi element	2 6.7	1.1 93	2 6.49	8 4.5	0.0 519	05. 2024	Unversi tet of China
CIGS	2 3.6	0. 767	3 8.3	8 0.46	0.8 99	02. 2023	Evolar/ UU
CdTe	2 3.08	0. 9048	3. 166	8 0.6	0.4 507	06. 2024	Fist Solar

Quyosh energiyasi dunyosida panel samaradorligi an'anaviy ravishda ko'pchilik ishlab chiqaruvchilar intiladigan omil bo'lib kelgan. Biroq, dunyodagi eng kuchli quyosh panelini ishlab chiqish uchun yangi kurash boshlandi, sanoatning ko'plab eng yirik ishlab chiqaruvchilar 600 Vt dan yuqori quvvatga ega bo'lgan katta formatdagi keyingi avlod panellarini e'lon qilishdi.

Eng kuchli panel uchun raqobatda 2020 yilda Trina Solar 600 Vt quvvatga ega birinchi panelni taqdim etganida boshlangan. Ko'p o'tmay, Xitoydagi SNEC PV Power Expo ko'rgazmasida JinkoSolar Tiger Pro panelining 610 Vt versiyasini taqdim etdi. Taxminan bir vaqtning o'zida Trina Solar yanada kuchliroq 660W+ panel ishlab chiqilishini e'lon qildi. Ajablanarlisi shundaki, SNEC 2020 ko'rgazmasida 20 ga yaqin ishlab chiqaruvchilar 600 Vt dan ortiq quvvatga ega panellarni namoyish etdilar, ularning eng kuchlisi JA solar kompaniyasining 800 Vt Jumbo moduli edi. Biroq, bu panel juda katta edi - balandligi 2,2 m va kengligi 1,75 m va katta ehtimol bilan u sotuvga chiqmaydi.

So'nggi o'n yil ichida fotoelektrik texnologiyadagi ko'plab yutuqlar tufayli panelni o'zgartirishning o'rtacha samaradorligi 15% dan 24% ga oshdi. Samaradorlikning bu sezilarli o'sishi standart turar-joy quyosh panelining quvvati 250 Vt dan 710 Vt ga oshishiga olib keldi. [13] AM1.5 muxitidagi samaradorligi va quvvati bo'yicha ayrim eng yaxshi kompaniyalarda ishlab chiqarilgan quyosh panellari ushbu jadvalda keltirilgan.

Quyosh panellarining samaradorligini xisoblash formulasi %.

$$\text{Samaradorlik}(\%) = \frac{P_{max}}{\text{yuza} \cdot 1000 \frac{W}{m^2}} * 100 \quad [14]$$

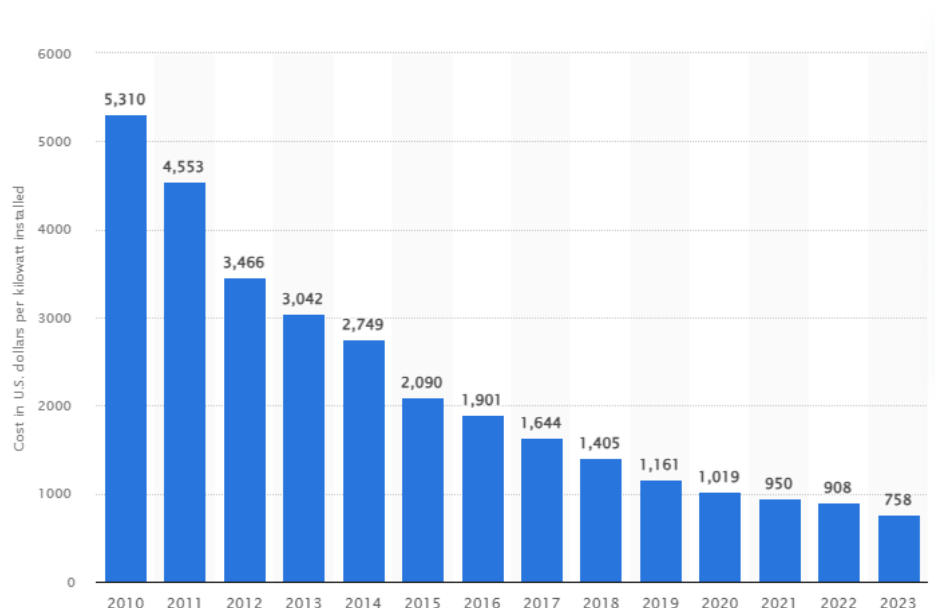
Jaxon bozorida mashxur ayrim quyosh panellarining samaradorligi. 2-jadval

Komp aniya	Nomi (modeli)	Razmer	Yac heyka	Wa tt (W)	FIK (%)
Sun Power	Maxeon 7	1798*10 35*40	112	435- 445	23,5- 24,1
Longi	Hi-MO7	2382*11 34*30	144	585- 620	21,7- 23
Trinas olar	Vertex N (Dual Bifacial)	2384*13 03*33	132	685- 710	22,1- 22,9
Jinko Solar	Tiger Neo N- type	2278*11 34*35	144	565- 585	21,87 -22,65
Ja solar	Harvest the Sunshine	2465*11 34*30	144	615- 640	22,0- 23,0

Ushbu ma'lumot ishlab chiqaruvchilarni veb saxifalaridan olingan.

Perovskit hujayralari uchun eng muhim to'siq hujayraning beqarorligi va degradatsiyasi tufayli ularning umrining qisqarishidir. Yaxshiyamki, butun dunyo bo'ylab kompaniyalar va ilmiy muassasalar tez-tez yutuqlar bilan ushbu muammolarni engib o'tishmoqda, bu esa degradatsiyani qisqartiradi va umrini uzaytiradi. Muammolar bartaraf etilgach va texnologiya tijoriy jihatdan yaroqli bo'lgandan so'ng, ko'p ulanishli Perovskit bilan qoplangan kremniy xujayralari yordamida qurilgan panellar 2030 yilga kelib 27% dan yuqori samaradorlik darajasiga va ehtimol 30% ga yaqinlashishi kutilmoqda. [15]

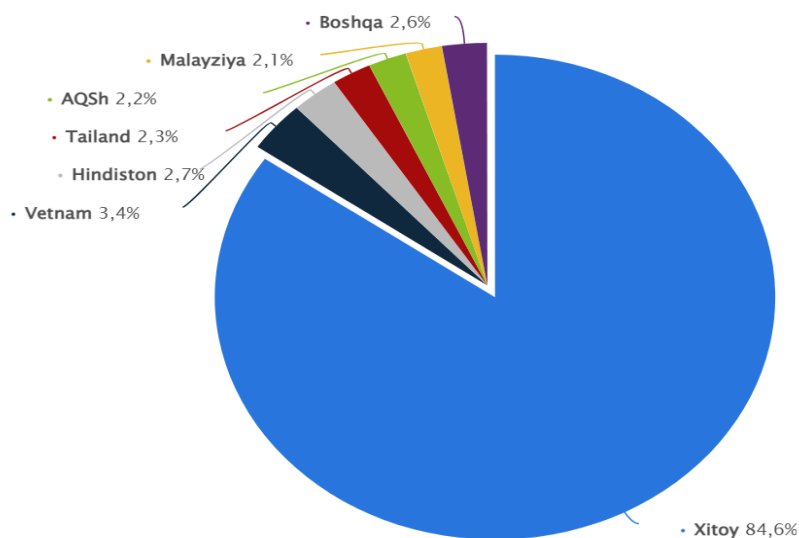
2010 va 2023 yillar oralig'ida butun dunyo bo'ylab quyosh fotoelektrik stansiyalarning o'rnatilgan narxi materiallarning keng tarqalganligi tufayli pasayib ketdi, bu esa ishlab chiqarish xarajatlarini qisqartirdi. 2023 yilda quyosh PV tizimlarining o'rtacha o'rnatilgan narxi bir kilovatt uchun 758 AQSh dollarini tashkil etdi.



2023 yilda dunyo bo'ylab quyosh fotoelektrik modullarini ishlab chiqarishni mamlakatlar bo'yicha taqsimlash [12]

Butun dunyo bo'ylab quyosh PV energiyasi 2023 yilda elektr energiyasi ishlab chiqarishning 5,5 foizini tashkil etdi. Ananaviy yoqilg'ilardan foydalanish elektr energiya ishlab chiqarishdagi umumiy ulushning qarib 60 foizini tashkil qilishiga qaramay, qayta tiklanadigan energiya manbalar keyingi yillarda o'sishi prognoz qilinmoqda, bu esa 2050 yilga kelib ishlab chiqarilgan elektr energiyasining yarmidan ko'pini tashkil qilishi kutilmoqda.

2023-yilda Xitoy global fotovoltaik (PV) modul ishlab chiqarishning deyarli 85 foizini tashkil etdi. PV ishlab chiqarishning ikkinchi eng katta ulushini ifodalovchi mamlakat Vetnam bo'lib, atigi 3,4 foizni tashkil etdi. PV modullarini ishlab chiqarish bozorida ustunlik qilishdan tashqari, Xitoy o'rnatilgan PV quvvati bo'yicha ham jahon yetakchisidir. Bundan tashqari, dunyo bo'ylab yetakchi quyosh paneli, inverteor va boshqa kanstruksiylarini ishlab chiqaruvchi kompaniyalarining aksariyati Xitoyda joylashgan.[12]



Global PV modul ishlab chiqarish ulushi 2023 yil, mamlakatlar bo'yicha [12]

Xulosa: Maqolada quyosh fotoenergetikasi sohasidagi so'nggi rivojlanishlar va global tendentsiyalar tahlil qilingan. Quyosh energiyasi ishlab chiqarish texnologiyalarining samaradorligi va arzonlashishi, ayniqsa, quyosh batareyalarining turli materiallar asosida takomillashuvi va samaradorlik ko'rsatkichlarining oshishi, bu sohaning tez rivojlanishiga olib keldi. Shuningdek, 2024 yil uchun NREL tomonidan taqdim etilgan yangiliklar asosida quyosh batareyalarining samaradorligini oshirishning yangi usullari va texnologik yutuqlarini ko'rsatish mumkin.



Quyosh energiyasining tannarxi an'anaviy elektr stansiyalaridagi ishlab chiqarish narxlariga yaqinlashmoqda, bu esa quyosh energiyasining global energiya bozoridagi o'rnini mustahkamlashga olib kelmoqda. Texnologik yutuqlar va innovatsiyalar sun'iy yo'ldoshlar, kosmik sohalar va tijorat sektori uchun quyosh energiyasi tizimlarining samaradorligini oshirdi. Xitoyning quyosh energiyasi ishlab chiqarishidagi yetakchi roli va global bozorning o'sishi istiqbollari keltirilgan.

Quyosh energiyasining barqaror rivojlanishi va yuqori samaradorlikka erishish uchun yangi materiallar va texnologiyalar izlanishda davom etmoqda. 2030 yilga borib, ko'p ulanishli perovskitli quyosh batareyalari yordamida 30% samaradorlikka erishish kutilmoqda. Shu bilan birga, quyosh energiyasining o'rnatilgan narxi ham pasayib, undan foydalanish osonlashmoqda.

Umuman olganda, maqolada quyosh fotoenergetikasining bugungi kundagi rivoji va kelajak istiqbollari tahlil qilingan bo'lib, texnologik yutuqlar va sanoatning kengayishi global energiya bozorida muhim o'rin tutadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR.

1. WG Adams va RE Day (1877) Qirollik jamiyati materiallarida "Selenyumdagi yorug'likning harakati", A25, 113.
2. Eynshteyn, A, "Nurlanishning kvant nazariyasi haqida" *Phyikalische Zeitschrift* 18 (1917).
3. Bloch, F, Z. *Fizika*. (1928), 52, 555.
4. Wilson, AH, *Proc. Roy. Soc. A* (1931), 133, 458; 134, 277.
5. DM Chapin, CS Fuller va GL Pearson (1954 yil may). "Quyosh radiatsiyasini elektr energiyasiga aylantirish uchun yangi Silicon pn Junction fotoseli". *Amaliy fizika jurnali* 25 (5): 676–677. doi: 10.1063/1.1721711
6. Jerald L. Pearson, Daryl M. Chapin va Kalvin S. Fuller (AT&T) oladi patent US2780765, "Quyosh energiyasini konvertatsiya qilish apparati." (1957)
7. <http://en.wikipedia.org/wiki/Telstar>
8. History of Solar Cell Development
9. http://en.wikipedia.org/wiki/Suntech_Power
10. <https://www.statista.com/statistics/280220/global-cumulative-installed-solar-pv-capacity/>
11. nrel.gov
12. <https://www.statista.com/statistics/668749/regional-distribution-of-solar-pv-module-manufacturing/>
13. <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/most-efficient-solar-panels>
14. <https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/air-mass>
15. Materials Science for Energy Technologies Volume 6, Perovskite solar cell's efficiency, stability and scalability: A review Author links open overlay panel Sidra Khatoon ^a, Satish Kumar Yadav ^b, Vishwadeep Chakravorty ^a, Jyotsna Singh ^a, Rajendra Bahadur Singh ^a, Md Saquib Hasnain ^c, S.M. Mozammil Hasnain ^d 2023, Pages 437-459