UO‘K: 621.383.51 https://doi.org/10.70769/2181-2284.ME.3(24).2026.12

PV/T-MEMBRANALI DISTILLATSIYA ASOSIDA AVTONOM SUV ISHLAB CHIQARISH VA PANEL TOZALASH USULINI ISHLAB CHIQISH

Toshmamatov Bobir Mansurovich[1]-PhD, dotsent,
https://orcid.org/0000-0001-7051-5307 e-mail: bobur160189@mail.ru
Annayev Axmed -erkin tadqiqotchi
https://orcid.org/0 0009-0002-7902-631X e-mail: axmed.annayev@icloud.com

[1]Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston

Annotatsiya. Kirish. *Quruq va changlanish darajasi yuqori bo‘lgan hududlarda fotoelektr stansiyalar samaradorligining pasayishiga PV modullar ish haroratining ortishi va panel sirtida chang qatlamining hosil bo‘lishi sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Shu bilan birga, bunday hududlarda panellarni muntazam yuvish uchun sifatli chuchuk suv resurslarining cheklanganligi qo‘shimcha ekspluatatsion muammo hisoblanadi.*

Usul va materiallar. *Tadqiqot ishida fotoelektr modulni nanosuyuqlik yordamida sovitish, PV/T konturidan olingan past potensialli issiqlikni membranali distillatsiya jarayonida foydalanish hamda hosil qilingan distillyat suvni PV modullarni adaptiv tozalashga yo‘naltirishga asoslangan integrallashgan usul ishlab chiqildi.*

Natijalar. *Taklif etilgan PV/T-MD tizimi PV modul haroratini pasaytirish, elektr samaradorligini oshirish, foydali issiqlikni qayta ishlatish va texnik toza suv olish imkonini beradi. Hosil qilingan distillyatning adaptiv panel tozalash tizimida qo‘llanilishi tashqi chuchuk suvga bo‘lgan ehtiyojni kamaytirish va changlanish bilan bog‘liq optik yo‘qotishlarni bartaraf etish imkonini beradi. Tizimda elektr energiyasi, foydali issiqlik va distillyat suv yagona energetik-texnologik konturda hosil qilinadi.*

Xulosa. *Taklif qilingan PV/T-MD tizimi issiq, quruq va changli iqlim sharoitida o‘rnatilgan fotoelektr stansiyalarda energiya samaradorligini oshirish, suv resurslaridan oqilona foydalanish va PV modullarni avtonom tozalash imkonini beruvchi istiqbolli integrallashgan texnologik yechim hisoblanadi.*

Kalit so‘zlar: *fotoelektr stansiya, PV/T tizimi, nanosuyuqlik, membranali distillatsiya, distillyat suv, adaptiv panel tozalash, PV modul sovitish, energiya samaradorligi.*

Дата поступления: 29.06.2026. После обработки: 25.07.2026 Принято печать: 23.09.2026

For citation: *Toshmamatov B.M., Annaev A. Development of a Method for Autonomous Water Production and Panel Cleaning based On PV/T-Membrane Distillation. Muqobil energetika. 2026. 3(24). pp. 94-100.*

УДК: 621.383.51

РАЗРАБОТКА МЕТОДА АВТОНОМНОГО ПОЛУЧЕНИЯ ВОДЫ И ОЧИСТКИ ПАНЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ PV/T-МЕМБРАННОЙ ДИСТИЛЛЯЦИИ

Тошмаматов Бобир Мансурович[1] - PhD, доцент,
https://orcid.org/0000-0001-7051-5307 e-mail: bobur160189@mail.ru
Аннаев Ахмед - независимый исследователь
https://orcid.org/0009-0002-7902-631X e-mail: axmed.annayev@icloud.com

[1]Каршинский государственный технический университет, Карши, Узбекистан

Аннотация. Введение. *В засушливых регионах с высоким уровнем запыленности снижение эффективности фотоэлектрических станций в значительной степени обусловлено повышением рабочей температуры PV-модулей и накоплением пылевых*

отложений на поверхности панелей. Дополнительной эксплуатационной проблемой в таких условиях является ограниченная доступность качественной пресной воды, необходимой для регулярной очистки фотоэлектрических модулей.

Материалы и методы. *В исследовании разработан интегрированный метод, предусматривающий охлаждение фотоэлектрического модуля наножидкостью, использование низкопотенциальной теплоты, отводимой в контуре PV/T, в процессе мембранной дистилляции, а также направление полученного дистиллята на адаптивную очистку поверхности PV-модулей.*

Результаты. *Предложенная система PV/T-MD позволяет снизить рабочую температуру PV-модуля, повысить его электрическую эффективность, обеспечить полезное использование отводимой теплоты и получать технически чистую воду. Использование полученного дистиллята в адаптивной системе очистки панелей позволяет уменьшить потребность во внешних источниках пресной воды и снизить оптические потери, обусловленные запылением поверхности фотоэлектрических модулей. В рамках единого энергетико-технологического контура обеспечивается одновременное получение электрической энергии, полезной теплоты и дистиллированной воды.*

Заключение. *Предложенная система PV/T-MD представляет собой перспективное интегрированное технологическое решение для фотоэлектрических станций, эксплуатируемых в условиях жаркого, засушливого и запылённого климата, и позволяет повысить энергетическую эффективность, рационально использовать водные ресурсы и обеспечить автономную очистку PV-модулей.*

Ключевые слова: *фотоэлектрическая станция, система PV/T, наножидкость, мембранная дистилляция, дистиллированная вода, адаптивная очистка панелей, охлаждение PV-модуля, энергетическая эффективность.*

UDC: 621.383.51

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR AUTONOMOUS WATER PRODUCTION AND PANEL CLEANING BASED ON PV/T-MEMBRANE DISTILLATION

Toshmamatov Bobir Mansurovich[1] - PhD, Associate Professor,
https://orcid.org/0000-0001-7051-5307 e-mail: bobur160189@mail.ru
Annaev Akhmed - Independent Researcher
https://orcid.org/0 0009-0002-7902-631X e-mail: axmed.annayev@icloud.com

[1]Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. Introduction. *In arid regions with high dust levels, the reduction in the performance of photovoltaic power plants is largely associated with an increase in the operating temperature of PV modules and the accumulation of dust deposits on panel surfaces. Under such conditions, the limited availability of high-quality fresh water required for regular panel cleaning represents an additional operational challenge.*

Materials and Methods. *This study develops an integrated method based on cooling the photovoltaic module with a nanofluid, utilizing the low-grade heat recovered from the PV/T loop in a membrane distillation process, and directing the produced distillate to an adaptive cleaning system for PV modules.*

Results. *The proposed PV/T-MD system makes it possible to reduce the operating temperature of the PV module, improve its electrical efficiency, recover useful thermal energy, and produce technically clean water. The use of the generated distillate in an adaptive panel-cleaning system reduces dependence on external freshwater sources and mitigates optical losses caused by dust accumulation on PV module surfaces. The integrated energy-technological loop enables the simultaneous production of electrical energy, useful thermal energy, and distilled water.*

Conclusion. *The proposed PV/T-MD system is a promising integrated technological solution for photovoltaic power plants operating under hot, arid, and dusty climatic conditions. It can improve energy efficiency, promote the rational use of water resources, and enable autonomous cleaning of PV modules.*

Keywords: *photovoltaic power plant, PV/T system, nanofluid, membrane distillation, distilled water, adaptive panel cleaning, PV module cooling, energy efficiency.*

Kirish.

Bugungi kunda dunyoda tabiiy yoqilg‘i-energetika resurslaridan keng foydalanish hisobiga yuzaga kelayotgan ekologik muammolarni kamaytirish va atrof-muhitga salbiy ta’sirni kamaytirish zaruriyati so‘nggi yillarda energiya resurslaridan oqilona foydalanish hamda yashil texnologiyalarni rivojlantirishga qaratilgan ilmiy-amaliy tadqiqotlarni jadallashishiga olib keldi. Shu bilan birga, an’anaviy energiya manbalariga bo‘lgan qaramlikni kamaytirish maqsadida qayta tiklanuvchi energiya manbalari (QTEM) asosidagi innovatsion yechimlarni ishlab chiqishga alohida e’tibor qaratilmoqda [1-4]. Dunyoda QTEM orasida quyosh energiyasi uning keng tarqalganligi, texnik-iqtisodiy potensiali yuqoriligi hamda atrof-muhitga salbiy ta’siri kichikligi sababli eng istiqbolli energiya resurslaridan biri sifatida qaralmoqda [5-7]. Quyosh fotoelektr panellari (PV) quyosh nurlanish energiyasini bevosita elektr energiyasiga aylantirish imkonini beradi. Biroq PV modullar tomonidan yutilgan quyosh nurlanish energiyasining katta qismi elektr energiyasiga emas, balki issiqlik energiyasiga aylanadi. Natijada, fotoelektr elementlarning harorati ortadi va bu ularning elektr energiyasi ishlab chiqarish samaradorligining pasayishiga olib keladi. Bundan tashqari, hozirgi kunda PV tizimlaridan foydalanishda harorat bilan bog‘liq samaradorlikning pasayishi sababli muayyan cheklovlar mavjud. Mazkur muammolarni hal qilish maqsadida elektr energiyasi ishlab chiqarish va ortiqcha issiqlikni qayta tiklash jarayonlarini yagona tizimda birlashtiruvchi fotoelektr-issiqlik (PV/T) kollektorlarini ishlab chiqish sura’ti jadallik bilan rivijlanmoqda [8].

PV/T tizimlarida PV modulining orqa qismi bo‘ylab harakatlanuvchi ishchi suyuqlik PVdan ortiqcha issiqlikni olib chiqadi va shu orqali PV elementlarning ishchi haroratini pasaytiradi. Shu bilan birga, PV elementlarining orqa yuzasini yuvib o‘tish hisobiga olingan issiqlik foydali issiqlik energiyasi sifatida qayta ishlatiladi. Natijada tizimning ham elektr, ham issiqlik samaradorligi oshib, quyosh energiyasidan samarali foydalanish darajasi yaxshilanadi [9,10].

Arifin va boshqalar tomonidan PV/T kollektorlarida TiO_2 asosidagi nanosuyuqliklardan foydalanish imkoniyatlarini tahlil qilgan. Tadqiqotchilar tomonidan nanozarrachalarga asoslangan ishchi suyuqliklar konvektiv issiqlik uzatishni jadallashtirishi, buning natijasida PV/T tizimining issiqlik energiyasini qayta ishlash samaradorligi va elektr ish rejimining barqarorligi yaxshilanishini qayd qilishgan [11].

Hamzat va boshqalar tadqiqot ishlarida PV va PV/T tizimlarini sovitish texnologiyalariga bag‘ishlangan batafsil sharhni taqdim etgan. Ushbu tahlilda haroratning pasayishi elektr energiyasi samaradorligining oshishi va tizim ishonchliligining oshishi bilan bevosita bog‘liqligi ilmiy dalillar asosida ko‘rsatilgan. Shu sababli, PV va PV/T tizimlari uchun samarali issiqlik energiyasi ishlab chiqarish yuqori energiya samaradorligi va PV ning uzoq muddatli barqaror ishlashini ta’minlovchi muhim shartlardan biri hisoblanadi [12].

Usul va materiallar

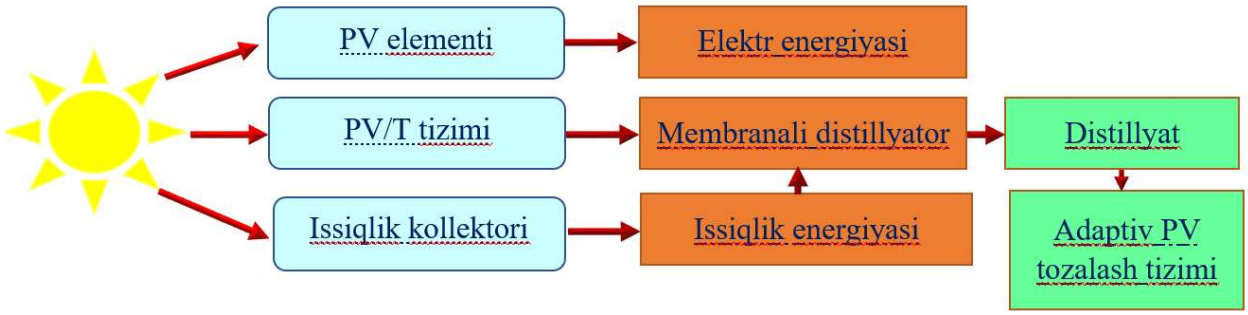
Fotoelektrik va fotoelektrik-issiqlik (PV/T) tizimlari bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, PV modullarning ishchi haroratini pasaytirish ularning elektr energiya ishlab chiqarish samaradorligini oshirishning muhim omillaridan biri hisoblanadi. Shu maqsadda havo bilan sovitish, suvli konturlar, faza o‘zgaruvchan materiallar, issiqlik nasoslari hamda nanosuyuqliklardan foydalangan holda amalga oshirishning turli ilmiy-amaliy yechimlari va usullari taklif qilingan. Ayniqsa, yuqori issiqlik o‘tkazuvchanlik xossalariga ega bo‘lgan nanosuyuqliklardan foydalanish PV/T tizimlarda issiqlik almashinuvini jadallashtirish hisobiga PV haroratini barqarorlashtirish va olingan issiqlikdan ikkilamchi energetik resurs sifatida foydalanish imkonini beradi. Biroq quruq va changlanish darajasi yuqori bo‘lgan hududlarda, jumladan Qashqadaryo viloyatining tabiiy iqlim sharoitida, PV modullar samaradorligining pasayishiga

nafaqat yuqori ish harorati, balki panel sirtida chang va mayda dispers zarrachalarning to‘planishi ham sezilarli ta’sir ko‘rsatmoqda. Chang qatlamining shakllanishi quyosh nurlanishining fotoelektr elementlarga yetib borishiga tabiiy to‘siq vasifasini bajarib, optik yo‘qotishlarni oshiradi. Natijada, elektr energiyasi ishlab chiqarishni kamaytiradi. Shu sababli bunday mahalliy iqlim sharoitlarida PV tizimlar samaradorligini oshirish uchun faqat sovitish texnologiyasini takomillashtirish yetarli bo‘lmaydi. Shuning uchun PV modulini sovitish, suv ishlab chiqarish va panel sirtini tozalash jarayonlarini yagona integrallashgan tizimda birlashtirish maqsadga muvofiq hisoblanadi. Ushbu omillarni hisobga olgan holda, ushbu tadqiqot ishida quruq iqlim va cho‘l hududlarda joylashgan fotoelektr stansiyalar (FES) uchun nanosuyuqlik bilan sovutiladigan PV/T-membranali distillatsiya asosidagi avtonom suv ishlab chiqarish va adaptiv panel tozalash tizimini ishlab chiqish istiqbolli ilmiy-texnik yechim hisoblanadi. Shuningdek, cho‘l va qurg‘oqchil hududlarda PV sirtida changning tez to‘planishi ularning elektr samaradorligini pasaytiruvchi asosiy omillardan biridir. Bunday sharoitlarda PV modul sirtlarini muntazam ravishda suv bilan yuvish zarur bo‘ib, sifatli chuchuk suv resurslarining cheklanganligi tozalash jarayonini qiyinlashtiradi. Mineralizatsiyasi yuqori bo‘lgan sho‘r yoki artezian suvlaridan bevosita foydalanish esa panel yuzasida tuz qatlamlari va mineral cho‘kindilar hosil bo‘lishiga, optik o‘tkazuvchanlikning yomonlashishiga va natijada PV samaradorligining qo‘shimcha pasayishiga olib keladi.

Shu sababli taklif etilayotgan tizimda yer osti artezian suvini membranali distillatsiya orqali tuzsizlantirish va olingan distillyatni PV modullar sirtini tozalash uchun ishlatish mumkin bo‘ladi. Membranali distillatsiya jarayonini energiya bilan ta’minlash uchun PV/T tizimida PV modullaridan nanasuyuqliklar yordamida olinadigan ortiqcha issiqlikdan foydalaniladi. Natijada bir tomondan fotoelektr elementlar sovitilib, ularning elektr samaradorligi oshiriladi, ikkinchi tomondan esa artezian suvdan panel tozalash uchun zarur bo‘lgan past mineralizatsiyali distillyat suv olinadi.

Natijalar va muhokama

Tadqiqot ishida cho‘l va qurg‘oqchil hududlarda xususan, Qashqadaryo viloyati Nishon tumanida o‘rnatilgan 500 MW quvvatli FES samaradorligini oshirishga qaratilgan nanosuyuqlik bilan sovutiladigan PV/T-membranali distillatsiya (PV/T-MD) asosidagi avtonom suv ishlab chiqarish va adaptiv panel tozalash usuli ishlab chiqildi (1-rasm).

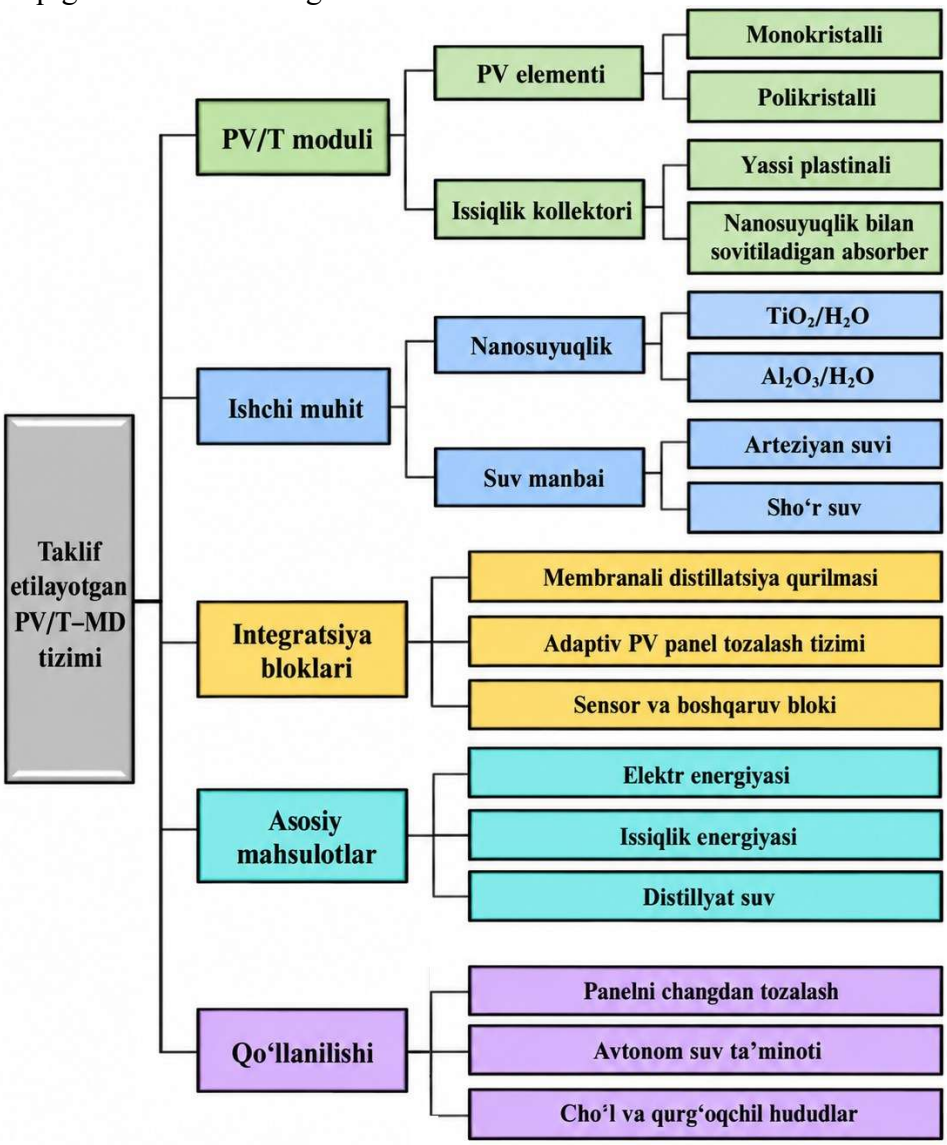


1-rasm. PV/T-membranali distillatsiya asosidagi avtonom suv ishlab chiqarish va adaptiv panel tozalash usulining funksional sxemasi.

Ishlab chiqilgan mazkur usulda PV modulining ortiqcha issiqligi nanosuyuqlik aylanish konturi orqali olinib, PV ish harorati pasaytiriladi va elektr samaradorligi oshiriladi. PV/T tizimida nanasuyuqlik yordamida olingan issiqlik energiyasidan membranali distillatsiya jarayonida yer osti yoki artezian sho‘r suvini tuzsizlantirish uchun foydalaniladi. Hosil qilingan distillyat suv PV moduli sirtida to‘plangan chang va ifloslanishlarni adaptiv rejimda tozalashga yo‘naltiriladi. Tozalash jarayoni panelning ifloslanish darajasi, quvvat ishlab chiqarishdagi pasayish, sirt harorati va quyosh nurlanishi kabi parametrlar asosida boshqariladi. Natijada, bir vaqtning o‘zida PV modulni sovitish, elektr energiyasi ishlab chiqarish samaradorligini oshirish, texnik toza suv olish va panellarni suv bilan avtonom tozalash imkonini beruvchi integrallashgan usul shakllantirildi.

Ushbu tadqiqot ishida taklif etilayotgan PV/T-MD tizimining tarkibiy tuzilishi 1-rasmda keltirilgan PV/T-membranali distillatsiya asosidagi avtonom suv ishlab chiqarish va adaptiv panel

tozalash usulining funksional sxemasi asosida PV/T moduli, ishchi muhit, membranali distillatsiya va adaptiv panel tozalash bloklarini yagona funksional tizimda birlashtirildi. Tizim PV modulini ortiqcha issiqligini nanosuyuqlik yordamida sovitish, ushbu issiqlikni membranali distillatsiya jarayonida foydalanish hamda olingan distillyat suvni PV panellarni changdan tozalashga yo‘naltirishni o‘z ichiga oladi. Taklif etilayotgan tizimning asosiy tarkibiy qismlari va ularning o‘zaro bog‘liqligi 2-rasmda keltirilgan.



2-rasm. Nanosuyuqlik bilan sovutiladigan PV/T-membranali distillatsiya asosidagi avtonom suv ishlab chiqarish va adaptiv panel tozalash tizimining funksional tuzilishi.

2-rasmdan ko‘rinib turibdiki, taklif etilayotgan tizim to‘rtta asosiy funksional bosqichdan tashkil topgan:

1. PV/T moduli- PV/T modulida fotoelektr elementlar orqali elektr energiyasi hosil qilinadi, panelning orqa qismida joylashgan issiqlik yutuvchi qism esa nanosuyuqlik yordamida sovitiladi.

2. Ishchi muhit- ishchi muhit sifatida yuqori issiqlik uzatish xususiyatiga ega TiO_2/H_2O yoki Al_2O_3/H_2O turidagi nanosuyuqliklardan foydalanish mumkin.

3. Integratsiya bloklari-PV/T modulidan nanosuyuqlik yordamida olingan issiqlik energiyasi membranali distillatsiya qurilmasiga uzatiladi va u yerda artezian yoki mineralizatsiyasi yuqori bo‘lgan suvni bug‘lantirish/kondensatsiya usuli yordamida distillyat (texnik toza suv) olinadi. Hosil qilingan distillyat suv adaptiv PV panel tozalash tizimiga uzatiladi va panel yuzasida to‘plangan chang va ifloslanishlarni bartaraf etish uchun ishlatiladi. Shuningdek, ushbu bosqichda

sensor va boshqaruv bloki esa panel harorati, elektr quvvatining kamayishi, changlanish darajasi va suv zaxirasi kabi parametrlar asosida tozalash jarayonini boshqaradi.

4. Yakuniy mahsulotlar va amaliy qo‘llash yo‘nalishlari - taklif etilayotgan PV/T-MD tizimining ishlashi natijasida hosil bo‘ladigan foydali energiya va resurslar hamda ulardan foydalanish sohalarini o‘z ichiga oladi. PV/T-MD tizimining asosiy mahsulotlari elektr energiyasi, foydali issiqlik energiyasi va membranali distillatsiya jarayonida olinadigan distillyat suvdan iborat. Ushbu mahsulotlar cho‘l hududlarida joylashgan FESlarning ichki ehtiyojlarini ta’minlash, ortiqcha issiqlikdan samarali foydalanish va PV modullar sirtini changdan tozalash jarayonini suv bilan ta’minlash uchun foydalaniladi. Amaliy qo‘llash nuqtai nazaridan, taklif etilayotgan tizim suv resurslari cheklangan, changlanish darajasi yuqori va quyosh radiatsiyasi intensiv bo‘lgan hududlarda ayniqsa samarali hisoblanadi. Bunda distillyat suvdan panel yuzasini tozalashda foydalanish tashqi chuchuk suvga bo‘lgan ehtiyojni kamaytirish, adaptiv tozalash esa ortiqcha suv sarfi va keraksiz tozalash sikllarining oldini olish imkonini beradi. Natijada, PV modulini sovitish hisobiga uning energiya samaradorligi va ekspluatatsion barqarorligi oshadi.

Tadqiqot ishida taklif qilingan PV/T-MD tizimining samaradorligini an’anaviy PV, changdan tozalash tizimiga ega PV hamda PV/T tizimlari bilan qiyosiy tahlil qilish maqsadida ularning asosiy energetik, issiqlik-texnik va ekspluatatsion ko‘rsatkichlari umumlashtirildi. Qiyosiy tahlil uchun PV modulining ish harorati, elektr va issiqlik samaradorligi, umumiy energetik FIK, changlanish ta’siri, suvga bo‘lgan talab hamda distillyat ishlab chiqarish imkoniyati asosiy mezonlar sifatida qabul qilindi. Qiyosiy tahlil natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

An’anaviy PV, tozalangan PV, PV/T va taklif etilgan PV/T–MD tizimlarining asosiy samaradorlik ko‘rsatkichlarini taqqoslash

Parametr/ ko‘rsatkich nomi	An’anaviy PV	PV + changdan tozalash tizimi	PV/T tizimi	Taklif etilgan PV/T-MD tizimi
PV modulining ish harorati, °C	T_{PV}	$T_{PVclean}$	$T_{PV/T}$	$T_{PV/T-MD}$
Elektr FIK, %	$\eta_{el,PV}$	$\eta_{el,PVclean}$	$\eta_{el,PV/T}$	$\eta_{el,PV/T-MD}$
Foydali issiqlik FIK, %	-	-	$\eta_{is,PV/T}$	$\eta_{is,PV/T-MD}$
Umumiy energetik FIK, %	η_{el}	η_{el}	$\eta_{el}+\eta_{is}$	$\eta_{el}+\eta_{is-MD}$
Changlanish tufayli quvvat yo‘qotilishi, %	mavjud	kamayadi	kamayadi	adaptiv boshqariladi
Panelni tozalash uchun tashqi chuchuk suv sarfi	talab etiladi	talab etiladi	talab etiladi	minimal / distillyat hisobidan
Distillyat suv ishlab chiqarish	-	-	-	$m_d, l/m^2 \cdot h$
Mineralizatsiyalangan suvdan foydalanish	–	–	–	mavjud
Panelni avtonom tozalash	–	qisman	–	mavjud
Asosiy foydali mahsulot	elektr	elektr	elektr + issiqlik	elektr + issiqlik + distillyat

1-jadvalda keltirilgan qiyosiy tahlil natijalari shuni ko‘rinadiki, an’anaviy PV tizimida quyosh energiyasidan foydalanish asosan elektr energiyasi ishlab chiqarish bilan chegaralangan. PV modul sirtini tozalash changlanish bilan bog‘liq optik yo‘qotishlarni kamaytirishga imkonini beradi, shuningdek, PV/T tizimida paneldan ortiqcha issiqlikni olish hisobiga elektr va issiqlik energiyasidan birgalikda foydalanish imkoniyati yaratiladi. Taklif etilgan PV/T-MD tizimida esa ushbu funksiyalarga qo‘shimcha ravishda olingan issiqlik membranali distillatsiya jarayoniga yo‘naltiriladi, hosil qilingan distillyat suv esa PV modullarni adaptiv tozalash uchun qayta

ishlatiladi. Natijada elektr energiyasi, foydali issiqlik va toza suv ishlab chiqarish jarayonlari yagona energetik-texnologik konturda birlashtiriladi. Bu ayniqsa suv resurslari cheklangan va changlanish darajasi yuqori hududlarda muhim hisoblanadi.

Xulosa

Tadqiqot ishida PV modulni nanosuyuqlik bilan sovitish, olingan issiqlikdan membranali distillatsiyada foydalanish hamda hosil qilingan distillyatni adaptiv panel tozalashga yo‘naltirishga asoslangan integrallashgan PV/T-MD tizimi taklif etildi. Ushbu yechim cho‘l va quruq issiq iqlim sharoitlarida o‘rnatilgan FES modullar haroratini va changlanish ta’sirini kamaytirish, FESning elektr samaradorligini oshirish hamda tashqi texnik toza suvga bo‘lgan ehtiyojni qisqartirish imkonini beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar

[1]. Uzakov G.N., Toshmamatov B.M., Shamurotova S.M. Development of an Experimental Research Methodology for an Autonomous Hot Water Supply System Based on a Flat Plate Solar Water Heating Collector // Muqobil energetika. - 2025. -Vol. 4, No. 21. - P. 56-64.

[2]. Toshmamatov B. M., Uzakov G. N., Kodirov I. N., Khatamov I. A. Calculation of the heat balance of the solar installation for the thermal processing of municipal solid waste // International Journal of Applied Engineering Research and Development. - 2020. - Vol. 10, No. 1. - P. 21-30.

[3]. Uzakov G. N., Davlonov Kh., Toshmamatov B. Analysis of hybrid heating systems of residential buildings using renewable energy sources // Muqobil energetika. - 2023. - Vol. 2, No. 02. -P. 9-16.

[4]. Toshmamatov B. M., Temirova D. Research of the Heat Balance of an Autonomous Underfloor Heating System with a PCM Accumulator // International Journal of Science and Technology. - 2025. - Vol. 2, No. 17. - P. 20-23.

[5]. Toshmamatov B. M., Ruzikulov G. Y., Aminov F. Improving the Energy Efficiency of Heat Pump Units // International Journal of Science and Technology. - 2025. - Vol. 2, No. 17. - P. 11-16.

[6]. Uzakov G. N., Davlonov H. A., Kamolov B. I., Toshmamatov B. M. Integrated autonomous power supply systems for facilities located in rural areas // Muqobil energetika. - 2023. - No. 2. -P. 9-14.

[7]. Toshmamatov B. M., Rakhmatov O. I., Valiyev S. T. Nurmanov Sh. Kh. Hybrid heat power based on geothermal energy corrects heat-technical parameters // Alternative Energy. - 2023. - Vol. 9, No. 2. - P. 72-82.

[8]. Khudhur I. M., Ahmed O. K., Alomar O. R., Algburi S. Performance enhancement of photovoltaic/thermal systems with heat pump units using alternative refrigerants and nanoparticle TiO_2 with linseed oil cooling coating // Results in Engineering. - 2026. - Vol. 32. - Art. 112728.

[9]. Aweid R. S., Ahmed O. K., Algburi S. Performance of floating photovoltaic/thermal system: experimental assessment // International Journal of Energy Research. - 2022. - Vol. 46. - P. 24229-24242.

[10]. Khudhur I. M., Ahmed O. K., Alomar O. R. Assessment of the performance of the PV/T collector integrated with a heat pump: A short review // Environmental Progress & Sustainable Energy. - 2026. - Vol. 45.- Issue 4. – P. e70421.

[11]. Arifin Z., Prasetyo S. D., Tjahjana D. D. D. P., Rachmanto R. A., Prabowo A. R., Alfaiz N. F. The application of TiO_2 nanofluids in photovoltaic thermal collector systems // Energy Reports. - 2022. - Vol. 8. - P. 1371-1380.

[12]. Hamzat A. K., Sahin A. Z., Omisanya M. I., Alhems L. M. Advances in PV and PVT cooling technologies: a review // Sustainable Energy Technologies and Assessments. - 2021. -Vol. 47. - Art. 101360.