



УДК:621.472.383.56

[https://doi.org/10.70769/2181-2284.ME.3\(24\).2026.2](https://doi.org/10.70769/2181-2284.ME.3(24).2026.2)

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА С ПОПЛАВКОВЫМ МЕХАНИЗМОМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКИ ВЫСОТЫ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ В МАГИСТРАЛЬНОМ ВОДНОМ КАНАЛЕ

Юлдошев Исроил Абриевич¹ – доктор технических наук, профессор,
<https://orcid.org/0000-0003-1335-0862> e-mail: yuldashev.i2004@gmail.com

Kirjuchin Alexander²-Dr., старший научный консультант,
Давлонов Хайрулла Алламуротович³- PhD, профессор,
<https://orcid.org/0000-0001-7444-9853> e-mail: davlonov80@mail.ru

Жураев Обид Шовкатович¹ – ассистент,
<https://orcid.org/0009-0001-3910-4523> e-mail: obid.jurayev.energy@gmail.com

Ботиров Бозорбек Мусурмон угли¹ – доктор философии (PhD) по техническим наукам,
<https://orcid.org/0000-0003-2515-6274> e-mail: bozorbekbotirov@gmail.com

Тураев Фарходжон Шухратжон угли¹ – ассистент,
<https://orcid.org/0009-0006-1573-2249> e-mail: farxod.turayev@tdtu.uz

Султонов Абдор Парда угли¹ – магистрант.

¹Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан

²Eclareon GmbH и Ideas in to Energy gGmbH, Берлин, Германия

³Каршинский государственный технический университет, Карши, Узбекистан

Аннотация. Введение. В данной статье представлены конструктивное решение и результаты экспериментальных исследований инновационного устройства, предназначенного для эффективного охлаждения фотоэлектрических модулей, установленных над магистральными водными каналами, с использованием поплавкового механизма автоматической регулировки высоты в зависимости от уровня воды.

Методы и материалы. В ходе исследования были проанализированы микроклиматические параметры, рабочая температура и энергетическая эффективность фотоэлектрических модулей, размещённых над ирригационными каналами в условиях жаркого и засушливого климата Узбекистана.

Результаты. Результаты экспериментов показали, что рабочая температура модулей, установленных над поверхностью воды, снижается на 10-12°C, а выходная электрическая мощность увеличивается на 7-16%. Кроме того, установлено, что механизм естественного охлаждения за счёт испарения воды способствует снижению деградации модулей и увеличению срока их службы.

Заключение. Предложенное устройство, благодаря автономной работе без потребления электроэнергии, конструктивной простоте и высокой эффективности, является перспективным технологическим решением для развития солнечных фотоэлектрических систем над ирригационными каналами.

Ключевые слова: фотоэлектрический модуль, магистральный канал, естественное охлаждение, поплавок, механизм, микроклимат, солнечная энергетика, испарение воды, энергетическая эффективность, засушливый климат.

Дата поступления: 02.08.2026. После обработки: 22.08.2026 Принято печать: 23.09.2026

For citation: Yuldoshev I.A., Kirjuchin A., Davlonov Kh.,A., Juraev O.Sh., Botirov B.M., Turaev F. Sh., Sultonov A. Development of a Device with a Float Mechanism for Automatic Height Adjustment for Cooling Photovoltaic Modules in a Main Water Channel. Muqobil energetika. 2026. 3(24). pp. 28-34.



UDK:621.472.383.56

**MAGISTRAL SUV KANALIDA FOTOELEKTRIK MODULLARNI SOVUTISH UCHUN
BALANDLIGI AVTOMATIK ROSTLANADIGAN QALQUVCHI MEXANIZMGA EGA
QURILMANI ISHLAB CHIQUVCHI**

Yuldoshev Isroil Abrievich¹ – texnika fanlari doktori, professor,
<https://orcid.org/0000-0003-1335-0862> e-mail: yuldashev.i2004@gmail.com

Kirjuchin Alexander² – Dr., katta ilmiy maslahatchi,

Davlonov Xayrulla Allamurotovich³ – PhD, Professor,

<https://orcid.org/0000-0001-7444-9853> e-mail: davlonov80@mail.ru

Jo'rayev Obid Shovkatovich¹ – assistent,

<https://orcid.org/0009-0001-3910-4523> e-mail: obid.jurayev.energy@gmail.com

Botirov Bozorbek Musurmon o'g'li¹ – texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD),

<https://orcid.org/0000-0003-2515-6274> e-mail: bozorbekbotirov@gmail.com

Turayev Farhodjon Shuhratjon o'g'li¹ – assistent,

<https://orcid.org/0009-0006-1573-2249> e-mail: farxod.turayev@tdtu.uz

Sultonov Abror Parda o'g'li¹ – magistrant

¹Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, O'zbekiston

²Eclareon GmbH va Ideas in to Energy gGmbH, Berlin, Germaniya

³Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

Annotatsiya. Kirish. Ushbu maqolada magistral suv kanallari ustiga o'rnatilgan fotoelektrik modullarni samarali sovutishga mo'ljallangan, suv sathiga mos ravishda avtomatik balandlikni boshqaruvchi (qalqovuchli) mexanizm asosidagi innovatsion qurilmaning konstruktiv yechimi va eksperimental tadqiqot natijalari keltirilgan.

Usul va materiallar. Tadqiqot davomida O'zbekistonning issiq va qurg'oqchil iqlim sharoitida suv kanallari ustida joylashtirilgan fotoelektrik modullarning mikroiklim ko'rsatkichlari, ishchi harorati va energetik samaradorligi tahlil qilindi.

Natijalar. Tajriba natijalari suv yuzasi ustida joylashtirilgan modullarda ishchi haroratning 10-12°C ga pasayishini, elektr quvvatining esa 7-16% gacha ortishini ko'rsatdi. Shuningdek, suv bug'lanishi hisobiga tabiiy sovutish mexanizmi modullar degradatsiyasini kamaytirishi va xizmat muddatini uzaytirishi aniqlandi.

Xulosa. Taklif etilgan qurilma energiya sarfisiz ishlashi, konstruktiv soddaligi va yuqori samaradorligi bilan suv kanallari ustida quyosh fotoelektrik tizimlarini rivojlantirish uchun istiqbolli texnologik yechim hisoblanadi.

Kalit so'zlar: fotoelektrik modul, magistral kanal, tabiiy sovutish, qalqovuchli mexanizm, mikroiklim, quyosh energetikasi, suv bug'lanishi, energiya samaradorligi, qurg'oqchil iqlim.

UDC:621.472.383.56

**DEVELOPMENT OF A DEVICE WITH A FLOAT MECHANISM FOR AUTOMATIC
HEIGHT ADJUSTMENT FOR COOLING PHOTOVOLTAIC MODULES IN A MAIN
WATER CHANNEL**

Yuldoshev Isroil Abrievich¹ – Doctor of Technical Sciences, Professor,
<https://orcid.org/0000-0003-1335-0862> e-mail: yuldashev.i2004@gmail.com

Alexander Kirjuchin² – Dr., Senior Scientific Consultant,

Davlonov Khairulla Allamuratovich³ – PhD, Professor,

<https://orcid.org/0000-0001-7444-9853> e-mail: davlonov80@mail.ru

Juraev Obid Shovkatovich¹ – Assistant,

<https://orcid.org/0009-0001-3910-4523> e-mail: obid.jurayev.energy@gmail.com



Botirov Bozorbek Musurmon ugli¹ - Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences,

<https://orcid.org/0000-0003-2515-6274> e-mail: bozorbekbotirov@gmail.com

Turaev Farhodjon Shuhratjon ugli¹ - Assistant,

<https://orcid.org/0009-0006-1573-2249> e-mail: farxod.turayev@tdtu.uz

Sultonov Abror¹-Master

¹Tashkent State Technical University, Tashkent city, Uzbekistan

²Eclareon GmbH and Ideas in to Energy gGmbH, Berlin, Germany

³Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. Introduction. This article presents the structural design and experimental research results of an innovative device intended for the efficient cooling of photovoltaic modules installed above main irrigation canals using a float-based automatic height adjustment mechanism according to the water level.

Methods and materials. The study analyzes the microclimatic parameters, operating temperature, and energy efficiency of photovoltaic modules installed over irrigation canals under the hot and arid climatic conditions of Uzbekistan.

Results. Experimental results demonstrated that the operating temperature of modules placed above the water surface decreased by 10-12°C, while the electrical power output increased by 7-16%. Furthermore, it was determined that the natural cooling mechanism caused by water evaporation reduces module degradation and extends their service life.

Conclusions. Due to its autonomous operation without electricity consumption, structural simplicity, and high efficiency, the proposed device represents a promising technological solution for the development of solar photovoltaic systems over irrigation canals.

Keywords: photovoltaic module, main canal, natural cooling, float mechanism, microclimate, solar energy, water evaporation, energy efficiency, arid climate.

Введение

В настоящее время в мире канальные фотоэлектрические системы функционируют в существенно отличающихся экологических условиях по сравнению с наземными системами, что оказывает влияние на их эксплуатационную эффективность и скорость деградации (снижения работоспособности). Производительность и надёжность фотоэлектрических модулей (ФЭМ), установленных на каналах и водоёмах, имеют важное значение для обеспечения длительного срока службы, совершенствования технологий и повышения экономической эффективности данных систем [1].

Среди исследований, посвящённых регионам Центральной Азии и близким к ним засушливым климатическим зонам, особое значение имеет работа Zaheb и соавт. (2025), опубликованная в журнале Renewable and Sustainable Energy Reviews, в которой представлен комплексный технико-экологический и экономический анализ CSPV-системы, установленной на ирригационном канале Куш-Тепа в Афганистане [2]. Данное исследование впервые на региональном уровне обосновало возможность внедрения CSPV-технологии в условиях засушливого и аридного климата Центральной Азии. При покрытии 20% площади канала и установке фотоэлектрической системы мощностью 836 МВт установлено, что возможно ежегодно производить 1 465 ГВт·ч электроэнергии, предотвращение испарения 445 млн. м³ воды, а также достижение экономии воды, эквивалентной 200 млн. долларов США за 25 лет эксплуатации [2]. Кроме того, была разработана методология ITEEA (Integrated Techno-Economic-Environmental Assessment - интегрированная технико-экономико-экологическая оценка), позволяющая комплексно оценивать производство энергии, снижение испарения, экономию земельных ресурсов и общую экономическую эффективность в рамках единой системной структуры. Авторы также отмечают, что данная методология может быть адаптирована и применена в других развивающихся регионах, включая страны Центральной Азии [2].



В Республике Узбекистан широко развита сеть рек и ирригационных каналов, используемых для орошения, водоснабжения и гидроэнергетики. Общая протяжённость гидротехнической инфраструктуры, охватывающей системы ирригации, водоснабжения и гидроэнергетики, превышает 180 000 км. Из них общая протяжённость рек составляет около 15 000 км, а оросительных и магистральных каналов - более 170 000 км. К числу основных рек, протекающих по территории Узбекистана, относятся: Амударья - 1 415 км (общая длина - 2 540 км), Сырдарья - 2 212 км (в пределах Узбекистана около 1 500 км), Зарафшан — 877 км (в пределах Узбекистана около 300 км), Кашкадарья - 378 км, Сурхандарья - 175 км, Чирчик - 155 км и Карадарья - 180 км. Основными ирригационными каналами являются: Большой Ферганский канал - 270 км, Южный Галляаральский канал - 170 км, Северный Ферганский канал - 180 км, Шахрихансай - 126 км, Эскитанский канал - 180 км, Амударьинский коллекторный канал - более 500 км и Каракульский канал - 180 км [3-5].

Наличие протяжённой сети ирригационных каналов создаёт значительный потенциал для интеграции ФЭМ непосредственно над водной поверхностью каналов. Размещение фотоэлектрических станций (ФЭС) на ирригационных каналах позволяет одновременно решать несколько важных задач: выработку возобновляемой электроэнергии, снижение испарения воды, повышение эффективности использования земельных ресурсов, а также уменьшение нагрева воды и снижение зарастания каналов водорослями.

Несмотря на проделанные работы, до сих пор остаётся нерешенной задача разработки устройства для эффективного охлаждения ФЭМ, установленного над каналом с водой, которое автоматически поддерживает оптимального зазора между панелями и поверхностью воды при любых изменениях уровня воды.

Целью настоящей работы является разработка и создание устройства для охлаждения ФЭМ с регулировкой высоты в зависимости от уровня воды в магистральном водном канале (МВК), а также исследование энергетических параметров в летний период в условиях Кашкадарьинской области (Узбекистан).

Методы и материалы

Устройство (рис.1) включает каркас с закреплёнными на нём фотоэлектрическими модулями, установленный над водным каналом, а также механизм автоматической регулировки зазора между панелями и водой. Каркас опирается на направляющие стойки и может перемещаться по высоте. Основным элементом механизма является поплавков, погружённый в воду и связанный с каркасом: при поднятии уровня воды поплавок поднимается и при помощи направляющей приподнимает каркас с панелями, а при снижении уровня — опускает его. Таким образом, расстояние между панелями и водой постоянно удерживается равным ~20 см. Регулировка происходит пассивно, за счёт силы плавучести, без использования электроники или внешнего привода, что обеспечивает автономность и надёжность системы.



Рис.1. Устройство для охлаждения фотоэлектрических модулей в магистральном водной канале.

Достигается это за счет специального механизма с поплавком, регулирующим высоту модуля. Устройство включает каркас с закреплёнными на нём солнечными модулями, установленный над водным каналом, а также механизм автоматической регулировки зазора между панелями и водой. Каркас опирается на направляющие стойки и может перемещаться по высоте. Основным элементом механизма является поплавок, погружённый в воду и связанный с каркасом: при поднятии уровня воды поплавок поднимается и при помощи



направляющей приподнимает каркас с панелями, а при снижении уровня - опускает его. Таким образом, расстояние между панелями и водой постоянно удерживается равным около 20 см. Регулировка происходит пассивно, за счет силы плавучести, без использования электроники или внешнего привода, что обеспечивает автономность и надёжность системы [6].

В процессе исследования для решения поставленных задач были использованы следующие методы: измерение рабочих параметров и характеристик ФЭМ; инфракрасная термография и термографический анализ горячих точек оптических поверхностей модулей; методы статистической обработки и анализа многочисленных экспериментальных данных.

Результаты и обсуждение

Многочисленные эксперименты проводились на магистральном водном канале (МВК) Оксув Яккабаг и над сушей в июле 2025 г., в районе Шахрисабза в течение дневного времени суток. Авторами представлены результаты, полученные 22.07.2025 г. Все ФЭМ, расположенные над ирригационной МВК и над сушей, были ориентированы на юг, опорная конструкция была фиксированной, угол наклона к горизонту составлял 37 градусов. Высота нижней и верхней частей ФЭМ от поверхности водяного потока в МВК соответственно составили 20 см и 80 см.

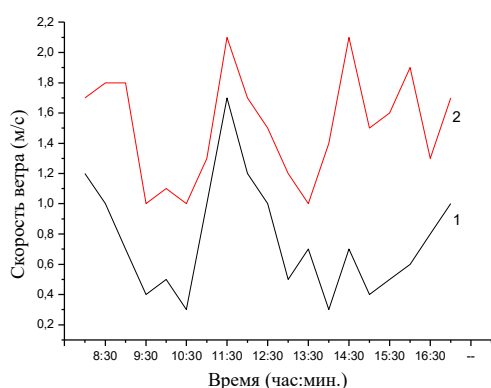


Рис.2. Зависимости скорости ветра от дневного времени суток: 1 – скорость ветра над МВК; 2 – скорость ветра над сушей.

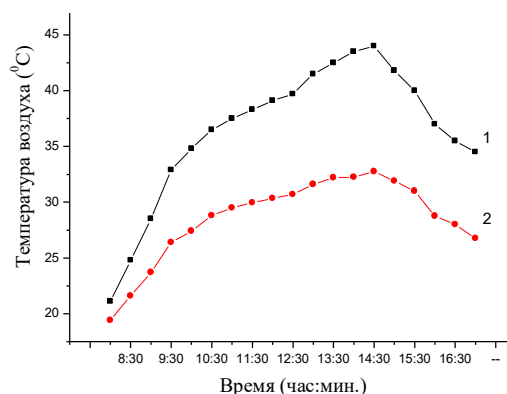


Рис.3. Зависимости скорости воздуха от дневного времени суток: 1- температура воздушного потока над сушей; 2- температура воздушного потока над МВК.

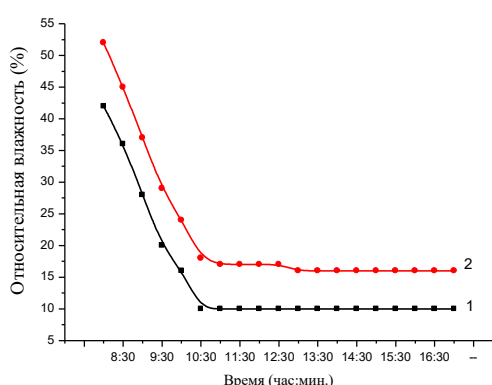


Рис.4. Зависимости относительной влажности от дневного времени суток: 1- относительная влажность над сушей; 2- относительная влажность над МВК.

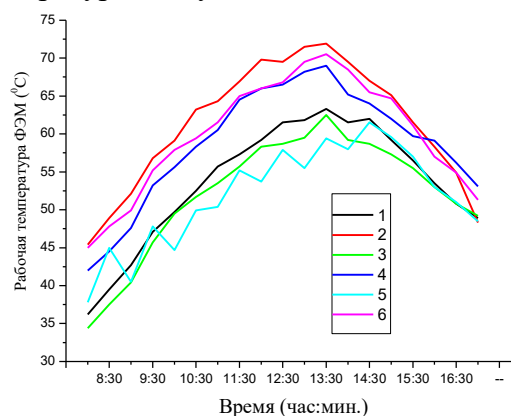


Рис.5. Зависимости рабочей температуры ФЭМ от дневного времени суток: 1-температура bifacial ФЭМ над МВК; 2 - температура bifacial ФЭМ над сушей; 3 -температура односторонних ФЭМ над МВК; 4 - температура односторонних ФЭМ над сушей; 5-температура ФЭМ (p-Si) над МВК; 6-температура ФЭМ (p-Si) над сушей.



Измерялись следующие метеопараметры: скорость ветра (рис.2), температура окружающей среды (рис.3), относительная влажность (рис.4), плотность потока солнечного излучения над сушей и над поверхностью МВК, а также температура и скорость водяного потока, электрофизические и температурные показатели ФЭМ различных типов. Показания метеопараметров записывались в портативный компьютер через USB порт от измерительных приборов. Обработка, вывод данных и хранение осуществлялись с помощью программных обеспечений Microsoft Excel и Origin 9.0.

При измерении электрических и температурных параметров и характеристик ФЭМ были использованы комбинированное измерительное устройство Eurotest PV MI 3108. Она оснащена также пиранометром для регистрации плотности потока солнечного излучения и температурным датчиком позволяющего измерять рабочей температуры ФЭМ.

Анализ рис. 1 показывает, что скорость ветра над МВК (кривая 1) на протяжении всего дня значительно ниже, чем над сушей (кривая 2). Это объясняется спецификой микроклимата: над водной поверхностью и вблизи неё температура воздушного потока днем обычно ниже, чем над прогретой почвой. Это создает локальную зону повышенной плотности воздуха, которая препятствует интенсивному вертикальному перемешиванию и снижает скорость горизонтального потока. Средняя скорость ветра над каналом составляет 0,4-1,0 м/с, в то время как над сушей она колеблется в пределах 1,0-2,1 м/с. Магистральный водный канал выступает в роли активного микроклиматического регулятора. За счет температурной инверсии над водой и особенностей рельефа (русла), он обеспечивает устойчивое снижение скорости приземного ветра, что создает благоприятный гидрологический режим и способствует внедрению ФЭС в ирригационных водных каналах.

На основании представленного рис. 2, отражающего значительную разницу температур над сушей (1) и над ирригационной МВК (2), можно сформулировать следующие выводы: график показывает, что температура воздушного потока над МВК (кривая 2) стабильно ниже, чем над сушей (кривая 1). В продуктивное время 14:00 часов разница между поверхностями над МВК и над сушей достигает $\sim 11-12^{\circ}\text{C}$. Максимальные значения температурного разрыва приходится на интервал с 11:00 до 15:00, что совпадает с периодом максимальной солнечной инсоляции. Именно в эти часы охлаждающий эффект воды наиболее востребован для поддержания эффективности ФЭМ, которая указана в техническом паспорте.

Проанализировав рис.3 можно сделать вывод о том, что относительная влажность над МВК (кривая 2) стабильно выше, чем над сушей (кривая 1), на 5-10% на протяжении всего дня. Даже в самые засушливые часы (после 10:30 часов) над каналом сохраняется уровень около 17%, в то время как над сушей он падает до критических 10%. Несмотря на близость к воде, уровень влажности (17-20%) остается в пределах нормы для ФЭМ (не вызывая активной коррозии), но при этом достаточен для улучшения теплообмена с окружающей средой.

Результаты экспериментального исследования, представленного на рис. 4 позволяет сделать фундаментальные научные выводы о высокой эффективности размещения ФЭС над ирригационной МВК по сравнению с наземным размещением их. Для всех типов ФЭМ (сравнение пар 1-2, 3-4, 5-6) наблюдается значительное снижение рабочей температуры модулей при их размещении над МВК Оксун Яккабаг. В 13:30 часов разница температур ФЭМ различных типов между размещением над сушей и над поверхностью канала достигает $10-12^{\circ}\text{C}$. Охлаждение ФЭМ за счет испарения воды и более низкой температуры воздуха над МВК позволяет избежать критического перегрева солнечных элементов в модуле. Снижение температуры в ФЭМ различных типов на $10-12^{\circ}\text{C}$ над МВК обеспечивало прирост мощности на 7-16% по сравнению с наземными ФЭС в тот же период времени эксплуатации. Поликристаллические кремниевые модули над МВК (кривая 5) имеют самую низкую рабочую температуру среди всех исследуемых типов модулей (ниже 60°C в пике), что делает их надежным экономическим решением для водных систем. Снижение максимальных температур модулей с $70-72^{\circ}\text{C}$ (на наземных условиях) до $55-62^{\circ}\text{C}$ (над поверхностью МВК)



существенно замедляет термическую деградацию материалов (прозрачное покрытие, EVA-пленки, полимеров), продлевая срок службы ФЭС на 5-7 лет.

Заключение

Многочисленные экспериментальные результаты показывают, что размещение ФЭМ над поверхностью ирригационных МВК в условиях жаркого и засушливого климата Узбекистана является научно обоснованным и экономически перспективным решением. Разработанное устройство с поплавковым механизмом автоматической регулировки высоты обеспечивает стабильное испарительное охлаждение без какого-либо потребления электроэнергии, что принципиально отличает его от существующих аналогов.

Литература

- [1] Kumar M., Chandel S. S., Kumar A. Performance analysis of a 10 MWp utility scale grid-connected canal-top photovoltaic power plant under Indian climatic conditions // Energy. - 2020. - Vol. 204. - Art. 117903. - DOI: 10.1016/j.energy.2020.117903.
- [2] Zaheb H., Sharifi M. S., Sharifi M. S., Shokory A. G., Yona A. Canal-top photovoltaic systems on the Qush-Tepa Canal: a model for energy–water synergy // Energy Conversion and Management: X. - 2026. - Vol. 29. - Art. 101502. - DOI: 10.1016/j.ecmx.2025.101502.
- [3] Дедков В. Н. Применение серийных насосов в качестве гидротурбин для малой энергетики // Проблемы машиностроения. - 2011. - Т. 14, № 4. - С. 24-30.
- [4] Палуанов Д. Т., Гадаев С. К., Мамбетов А. К., Илавиддинов Х. Ш. Использование современных ресурсосберегающих технологий в строительстве гидротехнических сооружений // Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в сельском хозяйстве и пищевой отрасли: сб. IV Междунар. науч.-техн. конф. - Ташкент: ТашГТУ, 2024. - С. 427-428.
- [5] Popescu D., Popescu C., Dragomirescu A. Flow control in Banki turbines // Energy Procedia. - 2017. - Vol. 136. - P. 424–429. - DOI: 10.1016/j.egypro.2017.10.290.
- [6] Жураев О. Ш., Юлдошев И. А., Тураев Ф. Ш., Ботиров Б. М., Шогучкаров С. К., Фазлиддинов С. С. Устройство для охлаждения фотоэлектрических панелей: пат. IAP 8458 Республика Узбекистан. – Зарегистрирован 11.03.2026.