



Quyosh panellarini changli iflosliklardan tozalash uchun avtomatlashtirilgan qurilma

Timur B. Sodiqov

PhD, Namangan davlat texnika universiteti, Namangan, 160103, O'zbekiston; sodikovtim94@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-8178-6200>

Dolzarbli: global iqlim o'zgarishi sharoitida qayta tiklanadigan energiya manbalari juda katta rol o'ynaydi, xususan-bu quyosh energiyasiga tegishli. Shu sababli so'ngi yillarda turli xil quvvatdagi yangi fotoelektrik stansiyalar (FES) qurilmoqda. Ma'lumotlarga ko'ra, 2030 yilga kelib O'zbekistonda elektr energiyasini (EE) ishlab chiqarish 120,8 mlrd kVt·soat yetadi, bunda FESlarning ulushi 9,9 mlrd kVt·soat (8,2 %) ni tashkil etadi. Ta'kidlash joizki, FES larning quyosh panellari samaradorligini kamaytiradigan (QP) optik yuza (OY) changlanishi muhim muammo hisoblanadi. OYdagi changli iflosliklar panellarning FIKni 50 % gacha tushirib, shu orqali EE ishlab chiqarishni qisqartirishi mumkin. Shu tufayli, avtomatlashtirilgan tozalovchi qurilmalarni ishlab chiqish bo'yicha tadqiqotlar o'tkazish dolzarb hisoblanadi.

Maqsad: quyosh panelining optik yuzasini changli iflosliklardan tozalovchi avtomatlashgan energiya samarador qurilmani ishlab chiqish va texnik parametrlarini tahlil qilish.

Usullari: quyosh panelini tozalovchi turli xil qurilmalarning qiyosiy tahlil qilish usulidan foydalaniladi.

Natijalar: Turli xil qurilmalarni qiyoslash asosida bitta tozalash siklini 24 sekundda amalga oshirishga imkon beruvchi quyosh panellarini changli iflosliklardan tozalovchi energiya samarador va avtomatlashtirilgan qurilma ishlab chiqildi.

Kalit so'zlar: qayta tiklanuvchi energiya manbalari, quyosh paneli, changli iflosliklar, tozalash qurilmasi, elektr dvigatel, algoritim, elektr energiyasi, texnik parametrlar.

Автоматизированное устройство для очистки солнечных панелей от пылевых загрязнений

Тимур Б. Содиков

PhD, Наманганский государственный технический университет, Наманган, 160103, Узбекистан; sodikovtim94@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-8178-6200>

For citation: Sodiqov T.B. Automated device for cleaning solar panels from dust contamination. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2026, no. 1, pp. 183-188.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20086304>

Received: 19.11.2025
Revised: 15.12.2025
Accepted: 17.02.2026
Published: 26.03.2026

Copyright: © Timur B. Sodiqov, 2026. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Актуальность: в условиях глобального изменения климата возобновляемые источники энергии играют колоссальную роль, в частности, - это энергия солнца. Поэтому в последние годы строятся новые фотоэлектрические станции (ФЭС) разной мощности. Согласно данным, к 2030 году в Узбекистане выработка электроэнергии (ЭЭ) достигнет 120,8 млрд кВт·ч/год, где доля ФЭС составит 9,9 млрд кВт·ч (8,2 %). Необходимо отметить, что запыление оптической поверхности (ОП) солнечных панелей (СП) ФЭС является серьезной проблемой, существенно снижающей их эффективность. Пылевые загрязнения на ОП могут снизить КПД панелей до 50 %, тем самым сократить выработку ЭЭ. Поэтому проведение исследований по разработке автоматизированных устройств очистки является актуальной.

Цель: разработка и анализ технических параметров энергоэффективного автоматизированного устройства для очистки оптической поверхности солнечной панели от пылевых загрязнений.

Методы: используется метод сравнительного анализа различных устройств очистки солнечных панелей.

Результаты: на основе сравнения различных устройств разработано энергоэффективное и автоматизированное устройство очистки солнечных панелей от пылевых загрязнений, которое позволяет производить один цикл очистки за 24 секунды.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, солнечная панель, пылевые загрязнения, устройства очистки, электродвигатель, алгоритм, электрическая энергия, технические параметры.

Automated device for cleaning solar panels from dust contamination

Timur B. Sodiqov

PhD, Namangan State Technical University, Namangan, 160103, Uzbekistan; sodikovtim94@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0003-8178-6200>

Relevance: in the context of global climate change, renewable energy sources play a crucial role, particularly it is solar energy. . Therefore, in recent years, new photovoltaic power plants (PVP) of different capacities have been built. According to data, by 2030, electricity (EE) generation in Uzbekistan will reach 120,8 billion kWh/year, where the share of PVP will be 9,9 billion kWh (8.2 %). It should be noted that dustiness of the optical surface (OS) of solar panels (SP) of PVP is a serious problem that significantly reduces their efficiency. Dust contamination on the OP can reduce the efficiency of panels to 50 %, thereby reducing EE generation. Therefore, research on the development of automated cleaning devices is relevant.

Aim: development and analysis of technical parameters of an energy-efficient automated device for cleaning the optical surface of a solar panel from dust contamination.



Methods: international experience and methods of comparative analysis of demand management are used.

Results: based on a comparison of various devices, an energy-efficient and automated device for cleaning solar panels from dust contaminants has been developed, which allows one cleaning cycle to be performed in 24 seconds.

Keywords: renewable energy sources, a solar panel, dust pollution, cleaning devices, electric motor, algorithm, electric energy, technical parameters.

1. Введение (Introduction)

В борьбе с изменением климата, которое уже охватывает практически всю планету, возобновляемые источники энергии (ВИЭ) играют колоссальную роль, в частности - это энергия солнца [1]. Поэтому в развитых странах, с целью обеспечения потребителей «зеленой» энергией, стали активно внедрять в энергосистему фотоэлектрические станции (ФЭС). Согласно данным, к 2030 году в Узбекистане выработка электроэнергии (ЭЭ) достигнет 120,8 млрд кВт·ч/год, где доля ФЭС составит 9,9 млрд кВт·ч (8,2 %) [2].

Необходимо отметить, что в условиях глобального изменения климата запыление оптической поверхности (ОП) солнечных панелей (СП) ФЭС является серьезной проблемой, существенно снижающей их эффективность. Пылевые загрязнения на ОП СП приводят к снижению КПД, а также сокращению выработки электроэнергии (ЭЭ). Исследования показывают, что при отсутствии устройств очистки (УО) пылевые загрязнения могут вызывать потери до 50%, а даже при ежедневной ручной очистке при сильной запыленности наблюдается снижение КПД на 4–10% в сутки [3–5]. Поэтому требуется своевременная очистка СП от пылевых загрязнений, и во многих странах ведутся работы по разработке простого эффективного устройства.

В исследовании [6] разработано специальное устройство, позволяющее очищать ОП СП, находящихся на одной секции. Данное УО включает в себя: движущуюся платформу, насос, распылители, гибкий шланг, электромагнитный гидроклапан, подшипники, шестерню, червячный редуктор, выполняющий роль электропривода (ЭП), щетку цилиндрической формы, фотореле, аккумулятор, 2 направляющие рельсы, 2 канавки, 2 поворотные пластины, 2 оси, 2 ролика. Также оно состоит из электронной части, которая также включает в себя множество различных элементов. Недостаток устройства – из-за низкого уровня автоматизации ежегодно требуется проводить мониторинг и анализ запыленности территории ФЭС, и по результатам ввести число дней в блок, в которых должна воспроизводиться очистка СП.

Один из недостатков – множество составных элементов конструкции, что увеличивает капитальные вложения (КВ) при создании устройства; также УО осуществляет очистку СП по горизонтальной оси, что приводит к увеличению времени очистки ($t_{\text{очистки}}$) [6].

В работе [7] предложено универсальное УО, которое очищает ОП СП вне зависимости от природных условий и времени года. Данное устройство состоит из: 2 баллонов, 2 рельсов, 4 колес, 4 двигателей, 4 шин, 4 труб для заполнения баллонов, датчиков загрязнения и движения, микроконтроллера, решетки, адаптера, ремня, аккумулятора, трубопровода, щетки, крана жидкости, контроллера заряда и штуцера [7]. Наличие 4-х ЭД является одним из недостатков данного УО, так как это ведёт к увеличению затрат ЭЭ. Кроме того, оно также состоит из множества элементов, что при её создании увеличивает КВ; устройство также осуществляет очистку по горизонтальной оси, что приводит к увеличению $t_{\text{очистки}}$.

В работе [8] разработана система очистки (СО) СП. Принцип работы этой системы основан на электромеханическом воздействии на панель переменного тока I, который протекает по проводам, установленных на ОП СП. СО состоит из: самой панели, датчика натяжения проводов, аккумулятора, инвертора, контроллера, проводов. СО выполнена на простом принципе, что является одним из требований, предъявляемой к системам такого рода. Однако воздействие тока I, которое течёт по проводам, может быть недостаточным для полного удаления пылевых загрязнений на ОП панелей, что доказывает недостаточную эффективность такой системы - это раз, а во-вторых, параллельное установление нескольких проводов (в данном случае - 7) на активной части СП, служит фактором снижения производительности из-за затенения проводками активной части панелей. В-третьих, когда ток I протекает по проводам, размещенным на поверхности панели, проявляется его термическое воздействие, которое может повредить конструкцию и привести к повышению температуры СП и, как следствие, к снижению КПД.

В работе [9] представлены результаты разработанного УО для очистки СП. Предлагаемое устройство имеет довольно сложное конструкторское решение. Количество связей, элементов и составных частей достаточно много, что подтверждает громоздкость конструкции, её тяжеловесность, сложность установки, монтажа и обслуживания. УО имеет низкий уровень автоматизации, а для её создания требуются большие КВ. Кроме того, оно осуществляет очистку СП только по горизонтальной оси, что приводит к увеличению $t_{\text{очистки}}$.

Таким образом, разработанные УО энергоёмки, имеют сложную конструкцию, состоят из множества составных частей, при их создании требуются большие КВ, кроме того, из-за осу-

ществления очистки по горизонтальной оси значительно увеличиться $t_{\text{очистки}}$. Поэтому необходимо разработать энергоэффективное, недорогое и автоматизированное устройство для очистки ОП СП, которое состоит малого количества элементов и позволяет производить очистку панелей по вертикальной оси.

В работе приводятся результаты разработанного устройства для очистки ОП СП от пылевых загрязнений, дан анализ его параметров, приводится алгоритм действия устройства.

2. Методы и материалы (Methods and materials)

Основные элементы УО. На рис.1 представлен чертёж выбранного электропривода (ЭП). Из чертежа очевидно, что ЭП имеет простую конструкцию цилиндрической формы и небольшие размеры; кроме этого устройство имеет длительный срок годности (около 5 лет), работает при постоянном напряжении ($U=12$ В), что приемлемо для эксплуатации в энергетическом плане.

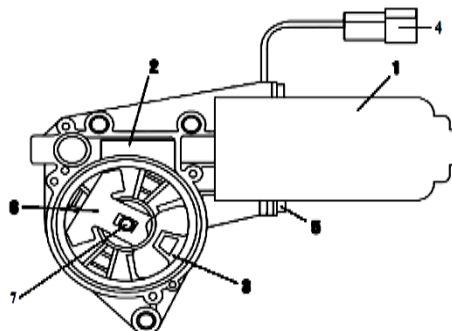


Рис.1. Принципиальная схема конструкции электропривода
Fig.1. Schematic diagram of the electric motor design

ЭП состоит: из корпуса 1, внутри которого встроен якорь, редуктора 2, упругой муфты 3, коннектора 4, винта 5, внутренней шестерни 6 из пластмассы. Якорь – основная часть двигателя ЭП, состоящего из статора и медной обмотки ротора. В конструкцию ЭП также входят ось, червячная передача и зубчатое колесо [10]. Мощность ЭП равна 10 Вт, скорость вращения и крутящий момент составляют около 100 об/м и 7 Н·м, соответственно, его масса равна около 1,1 кг.

В качестве рельсов выбран блок вращения (рис.2а) и направляющие (рис.2б), имеющие форму цилиндра (цилиндрические направляющие – ЦН).

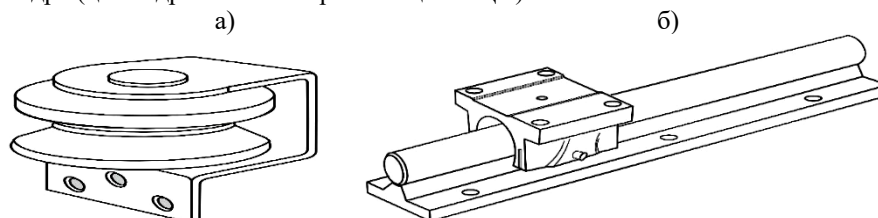


Рис.2. Принципиальная схема основных элементов устройства очистки: а – блок вращения; б – цилиндрические направляющие с встроенным линейным подшипником
Fig.2. Schematic diagram of the main elements of the cleaning device: a – rotation unit; b – cylindrical guides with built-in linear bearing

Блок вращения (БВ) имеет высокую нагрузочную способность, низкую цену, простую, но надёжную конструкцию, устойчив к атмосферным явлениям, жесткую, трудно деформируемую, а срок её годности равен 10 лет. ЦН надёжные, функционирующие при суровых метеоусловиях (дождь, метель, пыль, снег и т.д.), устойчивые к нагрузкам. Преимущество этих направляющих перед аналогами – большой срок годности (~ 12 лет), недорогие, по сравнению с профильными направляющими, не имеют зазоров (технологических); а также имеют прочную, надёжную, жесткую основу, не деформирующуюся при больших нагрузках; легко монтируются.

Автоматизированное устройство для очистки ОП СП от пылевых загрязнений. На рис.3 представлены чертежи разработанного УО СП. Предлагаемое устройство имеет конструктивно-компоновочное решение с опорным элементом решётчато-рамной конструкции, с чистящей кареткой в форме поперечной планки, изготовленной из профиля прямоугольной формы. При этом, рама стационарна – станина выполнена с возможностью рассредоточения на ней выбранной СП, планка оснащена пороном изнутри, которая по сути является очищающим элементом ОП панели. Станина выполнена с ложементом в виде подложки прямоуголь-

ной формы (вертикально ориентированный прямоугольник), в металлическом обрамлении, с некоторым углублением коротких сторон, на прямоугольных стойках, попарно разной высоты (верхняя выше, а передняя ниже), с перекладинами между ними для сохранения устойчивости. При работе планка совершает возвратно-поступательные движения снизу-вверх (и/или наоборот) вдоль ОП СП, которая уложена на ложемент.

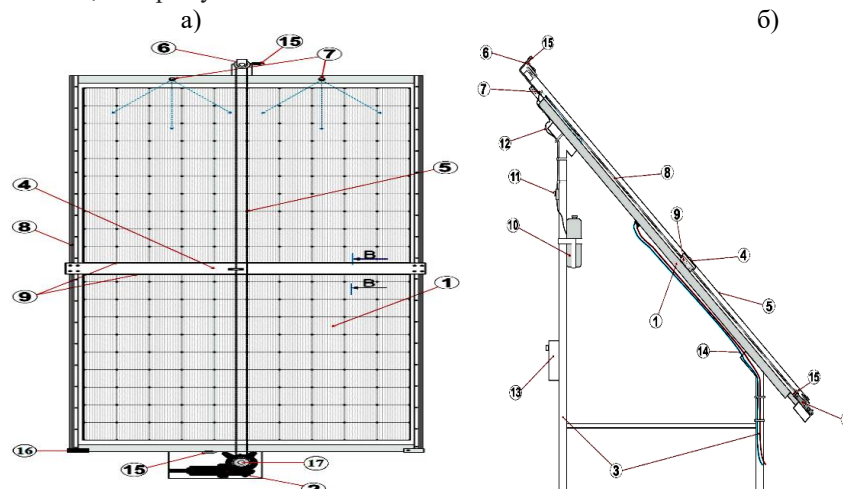


Рис.3. Принципиальная схема устройства очистки: а – вид спереди; б – вид сбоку
Fig.3. Schematic diagram of the cleaning device: a – front view; b – side view

Разработанное устройство состоит из: электропривод (2), рама (3), блок очистки (БО) (4), трос (5), блок вращения (6), насадки (7), цилиндрические направляющие с линейным подшипником (8), поролон (9), резервуар воды (10), насос (11), шланг подачи воды (12), электромеханическая система (13), кнопка переключения направления движения БО (15), датчик коэффициента пропускания (16), ролик вращения (17). Принципиальные элементы новизны конструкции заключаются в разработанном алгоритме, энергоэффективном ЭП и усовершенствованной электромеханической системе, что позволяет сократить время $t_{\text{очистки}}$.

Технические параметры УО. Габариты и масса: УО компактно интегрируются с СП. Длина БО соответствует ширине ОП СП (0,988 м), выступающие части рамы мизерные. Общая масса УО равна ~ 10 кг, что не выше, чем допустимая нагрузка на панель. Конструкция рассчитана таким образом, чтобы не создавались опасные изгибающие моменты: масса распределена по раме, опирающейся на раму СП. Все составные части и элементы УО размещены на раме без значительного увеличения внешних габаритов СП, что даёт возможность упростить монтаж и/или демонтаж. Скорость очистки: один цикл (проход БО по всей ОП панели туда-обратно) занимает примерно 24 секунды. Такая скорость работы позволяет очищать панели без простоев. Поролон является сменным расходным элементом УО – его ресурс составляет ~ 60 циклов очистки, что примерно соответствует 2-3 месяцам. Его смена производится быстро и не требует специальных инструментов. Электронные компоненты (реле, провода и т.д.) размещены в герметичном щите, обеспечивая работоспособность под снегом, дождём, при запылении и т.д. Простота монтажа и обслуживания: конструкция устройства удобная в установке, а монтаж может быть выполнен непосредственно на существующих СП ФЭС, без переделки их треков: направляющие крепятся к раме панелей стандартными крепежами.

Удельная масса на 1 м^2 поверхности: рассчитывается как отношение массы системы к площади очищаемой ОП. Площадь СП равна $1,67 \text{ м}^2$, тогда масса определяется как:

$$m_{\text{уд}} = \frac{m_{\text{устр}}}{S_{\text{ч}}} = \frac{10 \text{ кг}}{1,67 \text{ м}^2} \approx 5,98 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}; \quad (1)$$

где $m_{\text{устр}}$ – масса устройства очистки, кг; $S_{\text{ч}}$ – площадь очистки, м^2 .

Удельный расход воды на единицу площади СП:

$$q_{\text{в}} = V_{\text{ц}} \cdot S = 0,5 \text{ л} \cdot 1,67 \text{ м}^2 = 0,501 \frac{\text{л}}{\text{м}^2}; \quad (2)$$

где $V_{\text{ц}}$ – среднее значение расхода воды, которое необходимо для одного цикла очистки, л;

Расход энергии на 1 м^2 ($\text{Вт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$): Энергопотребление ЭП с насосом во время работы УО составляет около $P=25-30$ Вт. Возьмем расчетное значение мощности равное 25 Вт во время движения БО. Один цикл очистки длится $t_{\text{очистки}} = 24$ с, то есть $t_{\text{очистки}} = 24/3600=0,00667$ часа. Тогда, энергия, затрачиваемая УО за один цикл очистки равна:

$$W_{\text{ц}} = P \cdot t_{\text{очистки}} = 25 \text{ Вт} \cdot 0,00667 \text{ ч} \approx 0,16675 \text{ Вт} \cdot \text{ч}; \quad (3)$$

где $W_{\text{ц}}$ – количество ЭЭ, которое необходимо для осуществления одного цикла очистки $\text{Вт} \cdot \text{ч}$.

На единицу площади СП расход ЭЭ составляет:

$$W_{\text{эн}} = W_{\text{ц}} \cdot S = 0,23345 \text{ Вт} \cdot \text{ч} \cdot 1,67 \text{ м}^2 \approx 0,3898 \text{ Вт} \cdot \frac{\text{ч}}{\text{м}^2}. \quad (4)$$

Таким образом, для очистки 1 м² СП требуется примерно 0,3898 Вт·ч энергии – сравнительно малое количество. В пересчете на более привычные единицы это около 0,2338 кДж на каждый м².

3. Результаты и обсуждение (Results and discussion)

Для автоматизации предлагаемого устройства была разработана электромеханическая система (ЭМС), а также алгоритм её действия. ЭМС включает в себя: универсальное пятиконтактное реле типа РС 711, кнопку переключения, низковольтный переключатель, датчик светопропускания и плату ARDUINO uno. На рис.4 представлен алгоритм действия УО.

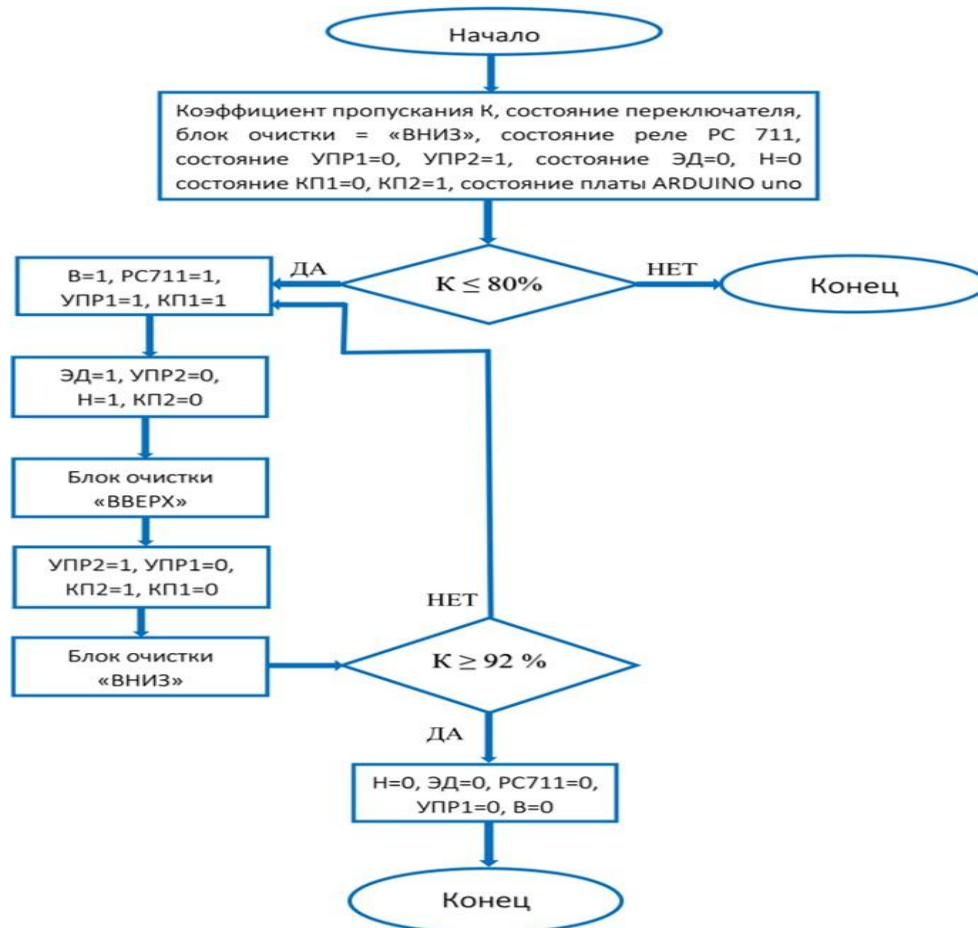


Рис.4. Алгоритм действия устройства

Fig.4. Algorithm of device operation

УО действует по следующему принципу: датчик светопропускания (ДСВ) измеряет коэффициент пропускания (К) стекла СП, если значение $K \leq 80\%$, то ДСВ подаст сигнал на плату ARDUINO, который после чего подаст команду на низковольтный переключатель, в результате он замыкает свои контакты. После этого сработает РС 711 и подаёт сигнал ЭП с насосом. Насос из резервуара будет подавать воду к насадкам, которые распыляют воду на ОП СП. В этот момент сработает ЭП, который приводит в действие БО, а он в свою очередь, начнёт совершать возвратно-поступательные движения по поверхности панели, тем самым эффективно очищая её от пылевых загрязнений. Принципиальная схема ЭМС будет действовать до тех пор, пока $K \geq 92\%$. После этого низковольтный переключатель разомкнет цепь и обесточит элементы ЭМС.

Таким образом, предлагаемое УО может функционировать автономно в составе ФЭС, а рабочий цикл её запускается по сигналу датчика светопропускания без участия человека.

4. Заключение (Conclusion)

1. Запыление ОП СП приводит к потерям генерации ЭЭ до 50 % за несколько месяцев, а существующие устройства их очистки обладают существенными ограничениями (высокие за-



траты, громоздкость, высокий расход ЭЭ, низкий уровень автоматизации и др.), что обуславливает необходимость разработки энергоэффективного, недорогого и автоматизированного УО;

2. Разработано устройство для очистки ОП СП от пылевых загрязнений на основе электро-механической системы и энергосберегающего электропривода, а также разработан алгоритм её действия. В результате, предложенное техническое решение позволяет осуществить один цикл очистки СП, который имеет площадь 1,67 м², за 24 секунды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аллаев К.Р. Электроэнергетика Узбекистана за годы независимости и перспективы её развития. –Ташкент: Ишонч. 2016. - 255 с.
2. Аллаев К.Р. Перспективы развития энергетики Узбекистана // Проблемы энерго- и ресурсосбережения, 2023. № 1. - С. 14-27.
3. Mohamed J.A., Syed A.M. Effect of dust accumulation on the power outputs of solar photovoltaic modules // Renewable energy, 2013. Vol. 60. - pp. 633-636.
4. Али М., Хан Р., Ахмед С. Влияние пыли на эффективность фотоэлектрических систем в засушливых регионах // Журнал возобновляемой энергии, 2023. № 45 (3). - С. 123-135.
5. Кадыров Р.Р. Проблемы эксплуатации солнечных электростанций в условиях резких температурных колебаний в Узбекистане // Энергетическая безопасность и технологии, 2021. № 4(2). - С.15-22.
6. Захидов Р.А., Захидов Н.М. Система для автоматической очистки поверхностей солнечных фотопанелей // Наука и инновационное развитие, 2022. № 3. - С. 16-23.
7. Аbugхийатха А. Устройство автоматизированной очистки солнечной панели / Сборник материалов 54-научно-технической конференции «Вузовская наука в современных условиях», Ульяновск УлГТУ, 27 январь, 2020. - С. 27-31.
8. Исмагилов Ф.Р., Вавилов В.Е., Нургалиева Р.А. Система очистки солнечных панелей // Вестник УГАТУГУ, 2017. № 3 (77). - С. 60-65.
9. Jelle Z. Mobile cleaning device for solar panels. / Patent US 2013/0206173 A1.
10. Зикриллаев Х.Ф., Содиков Т.Б. Электродвигатель – основная часть устройства очистки солнечных панелей / «Физика ва электрониканинг долзарб муаммолари» мавзусидаги Республика илмий-амалий анжумани материаллари. Ташкент, 2023. - С. 190-191.

REFERENCES

1. Allaev K.R. Electric power industry of Uzbekistan during the years of independence and prospects of its development / - Tashkent: Ishonch. 2016. - 255 p.
2. Allaev K.R. Prospects for the development of energy in Uzbekistan. // Problems of energy and source saving, 2023. №. 1. - P. 14-27.
3. Mohamed J.A., Syed A.M. Effect of dust accumulation on the power outputs of solar photovoltaic modules // Renewable energy, 2013. № 60. - pp. 633-636.
4. Ali M., Khan R., Akhmed C. Effect of dust on the efficiency of photovoltaic systems in arid regions // Journal of Renewable Energy, 2023. № 45(3). -P. 123-135.
5. Kadirov R.R. Problems of operation of solar power plants in conditions of sharp temperature fluctuations in Uzbekistan // Energy security and technologies, 2021. № 4(2). -P. 15-22.
6. Zahidov R.A., Zahidov N.M. System for automatic cleaning of solar panels surfaces // Science and innovation development, 2022. № 3. - P. 16-23.
7. Abugkhiyatka A. Automated solar panel cleaning device / Collection of materials of the 54th scientific and technical conference "University science in modern conditions", Ulyanovsk, UGATUGU, 27 January, 2020. - P. 27-31.
8. Ismagilov F.R., Vavilov V.E., Nurgaliyeva R.A. Solar Panel Cleaning System // Vestnik UGATUGU, 2017. № 3 (77). - P. 60-65.
9. Jelle Z. Mobile cleaning device for solar panels. / Patent US, 2013. 2013/0206173 A1.
10. Zikrillayev Kh.F., Sodiqov T.B. Electric motor – the main part of the solar panel cleaning device / “Proceedings of the Republican Scientific-Practical Conference on "Actual Problems of Physics and Electronics”, Tashkent, 2023. - P. 190-191.