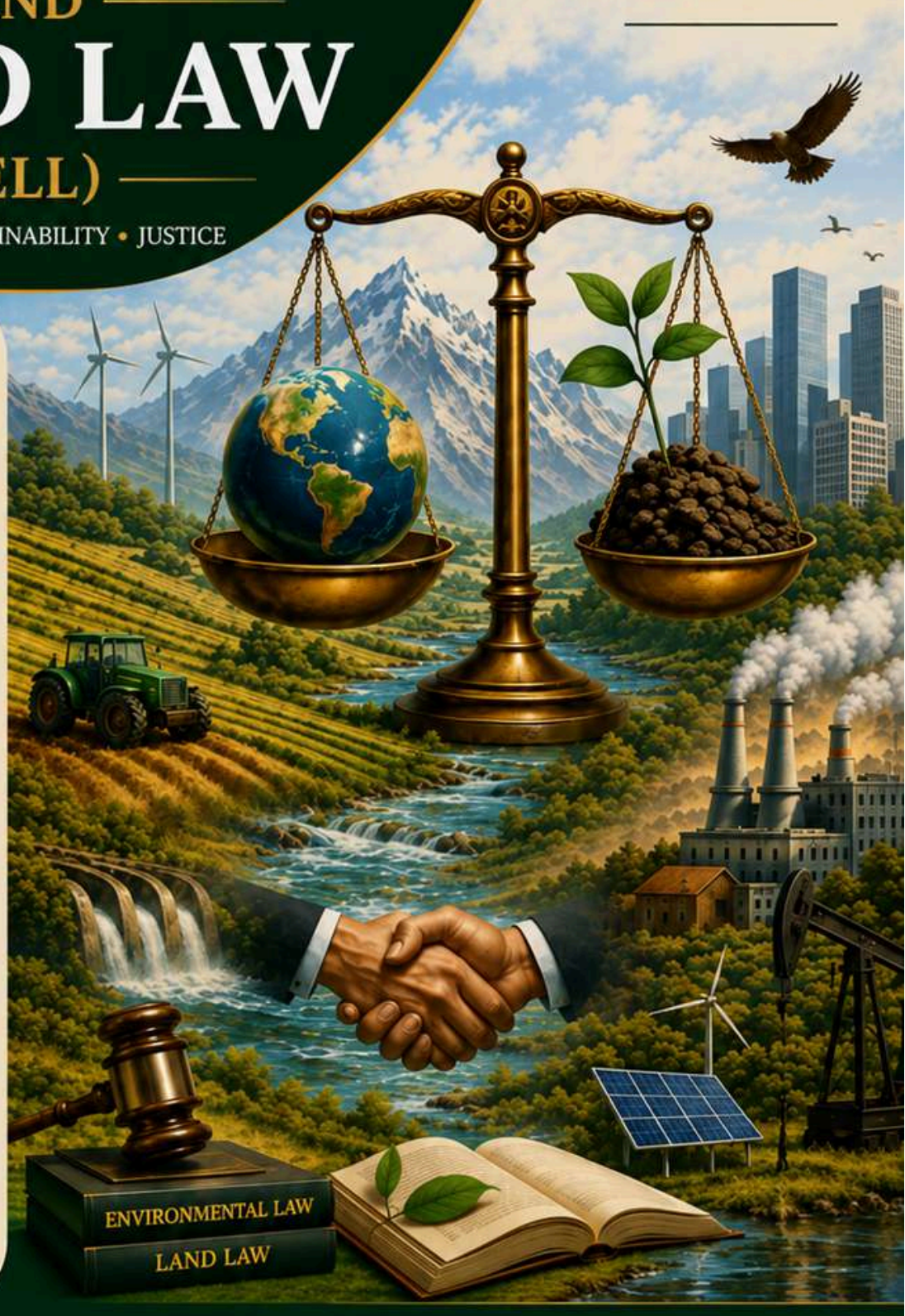
JOURNAL OF ENVIRONMENTAL AND LAND LAW (JELL)

ISSN
3093-9321

LAW • ENVIRONMENT • SUSTAINABILITY • JUSTICE



OUR FIELDS

- Land law and agrarian relations
- Environmental law and climate change
- Water law and transboundary cooperation
- Urban planning and zoning law
- Natural resources and energy law

OUR INDEXING

- Google Scholar
- Zenodo
- DOI
- OpenAIRE
- Open Access

https://unireview.uz/index.php/jell

Published by
UniLex Global

VOLUME 2 | ISSUE 1

OCTOBER 2026

"UNILEX GLOBAL" LLC

Ekologiya va yer huquqi jurnali / Journal of Environmental and Land Law

October, 2026
VOLUME 2, ISSUE 1

EDITORIAL TEAM

Editor-in-Chief, Tukhtashev Hikmatilla Ismatillaevich - Head of the Department of Legal Sciences, Doctor of Philosophy in Legal Sciences (PhD), TIIAME National Research University, Tashkent, Republic of Uzbekistan.

1. **Editorial Board Members Kholmuminov Juma Toshtemirovich** - Doctor of Legal Sciences (DSc), Professor, Department of Environmental Law, Tashkent State University of Law, Tashkent, Republic of Uzbekistan.
2. **Editorial Board Members Fayziev Shukhrat Khasanovich** - Doctor of Legal Sciences (DSc), Professor, Department of Environmental Law, Tashkent State University of Law, Tashkent, Republic of Uzbekistan.
3. **Editorial Board Members Uzakova Gozal Sharipovna** - Doctor of Legal Sciences (DSc), Professor, Department of Environmental Law, Tashkent State University of Law, Tashkent, Republic of Uzbekistan.
4. **Editorial Board Members Narzullaev Olim Kholmamatovich,** Doctor of Legal Sciences (DSc), Professor, Department of Environmental Law, Tashkent State University of Law, Tashkent, Republic of Uzbekistan.
5. **Editorial board members Kenjaev Rustam Khaydarovich,** Candidate of Legal Sciences (PhD), Professor, Head of the Department of Environmental Law, Tashkent State University of Law, Tashkent, Republic of Uzbekistan.
6. **Editorial Board Members Utegenov Ongarbay Dariyabayevich -** Doctor of Legal Sciences (DSc), Professor, Department of Finance, Tashkent University of Chemical Technology – International University, Tashkent, Republic of Uzbekistan.
7. **Editorial Board Members Hayitov Hasan Shermatovich** - Candidate of Legal Sciences (PhD), Investigator, Shykhontohur District Division, Department for Combating Economic Crimes under the Prosecutor General's Office of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan.
8. **Editorial Board Members Khodjaeva Aziza Bakhtiyarovna -** Doctor of Philosophy in Legal Sciences (PhD) "Academy of Labor and Social Relations" under the Federation of Trade Unions of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan.
9. **Editorial Board Members Nishonov Abdulloh Ubaydulloh ugli -** Senior Lecturer Tashkent State University of Law, Tashkent, Republic of Uzbekistan.
10. **Editorial Board Members Makhkamov Durbek Nematovich -** Doctor of Legal Sciences (DSc), Professor, Dean, Faculty of Public Law, Tashkent State University of Law, Tashkent, Republic of Uzbekistan.
11. **Editorial Board Members Usmanov Muhammad Bahritdinovich -** Doctor of Legal Sciences (DSc), Professor, University of Public Safety of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan.
12. **Editorial Board Members Juraev Yuldash Achilovich -** Doctor of Legal Sciences (DSc), Associate Professor Senior Researcher, Parliamentary Research Institute under the Legislative Chamber of the Oliy Majlis of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan.
13. **Editorial Board Members Nurmatov Mirgolib Mirzayevich -** Doctor of Legal Sciences (DSc), Professor, Head of the Department of Special Legal Sciences and Military Diplomacy, University of Public Safety of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan.
14. **Editorial Board Members Bobokulov Shoxnazar Ochilovich -** Candidate of Legal Sciences, Associate Professor, Acting Professor, Department of Legal Sciences, Tashkent International University, Tashkent, Republic of Uzbekistan.
15. **Editorial Board Members Mirzaabdullaeva Matluba Rustamovna -** Candidate of Legal Sciences, Associate Professor Associate Professor, Department of Environmental Law, Tashkent State University of Law, Tashkent, Republic of Uzbekistan.
16. **Editorial Board Members Allayorov Tulqin Ruziqulovich -** Doctor of Philosophy in Philology (PhD), Associate Professor Nizami Named Tashkent State Pedagogical University, Tashkent, Republic of Uzbekistan.

EKOLOGIYA VA YER HUQUQI JURNALI /
JOURNAL OF ENVIRONMENTAL AND LAND LAW
Journal homepage: https://unireview.uz/index.php/jell

Original research article

ҚУЁШ ПАНЕЛЛАРИ ЮЗАСИНИНГ ИФЛОСЛАНИШ ДАРАЖАСИНИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛ НАЗОРАТ ҚИЛУВЧИ ЭЛЕКТРОН ҚУРИЛМАНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ

Komilov Ismoil
"TIQXMMI" Milliy tadqiqot universiteti
magistr talabasi
Djalilov Anvar Urolovich
"TIQXMMI" Milliy tadqiqot universiteti,
Texnika fanlari nomzodi, PhD, dotsent

MAQOLA MA'LUMOTI

Kalit so'zlar:
қуёш панели,
фотоэлектрик модуль,
ифлосланиш даражаси,
интеллектуал назорат,
микроконтроллер,
оптик датчик,
қувват йўқотилиши,
автоматлаштириш,
IoT, энергия самарадорлиги..

A N N O T A T S I Y A

Ушбу мақолада қуёш фотоэлектрик панеллари юзасида чанг, қум ва бошқа ифлослантирувчи заррачалар тўпланишини автоматик аниқлашга мўлжалланган интеллектуал электрон қурилмани ишлаб чиқиш масаласи кўриб чиқилади. Қурилманинг функционал тузилиши, датчиклардан маълумотларни йиғиш, сигналларни қайта ишлаш, ифлосланиш даражасини баҳолаш ва тозалаш зарурати тўғрисида қарор қабул қилиш алгоритми баён этилади. Таклиф этилаётган тизим қуёш панелларининг ишлаш самарадорлигини кузатиш, уларга техник хизмат кўрсатишни оптималлаштириш ва ортиқча тозалаш харажатларини камайтириш имконини беради.

UNILEX GLOBAL

EKOLOGIYA VA YER HUQUQI JURNALI /
JOURNAL OF ENVIRONMENTAL AND LAND LAW

Journal homepage: https://unireview.uz/index.php/jell



DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT ELECTRONIC DEVICE FOR MONITORING THE SURFACE SOILING LEVEL OF SOLAR PANELS

ARTICLE INFO

Keywords:
solar panels,
photovoltaic modules,
surface soiling,
dust detection,
intelligent monitoring,
optical sensor,
microcontroller,
voltage, current,
power output,
solar energy efficiency.

A B S T R A C T

This article focuses on the development of an intelligent electronic device for monitoring the degree of surface soiling on solar panels. Dust and other contaminants accumulating on the surface of photovoltaic modules reduce the amount of solar radiation reaching the cells and may decrease the overall efficiency of the system. The proposed device is designed to assess the level of surface contamination using optical sensors and to monitor the electrical parameters of the solar panel, including voltage, current, and power. A microcontroller processes the collected data and determines changes in the panel's operating performance. The system can provide timely information about the need for cleaning and support the efficient operation and maintenance of solar power systems.

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

ИНФОРМАЦИЯ СТАТЬИ

Ключевые слова:
солнечная панель,
фотоэлектрический модуль,
уровень загрязнения,
интеллектуальный контроль,
микроконтроллер, оптический датчик, потери мощности,
автоматизация, IOT,
энергоэффективность.

А Н Н О Т А Т С И Я

В данной статье рассматривается вопрос разработки интеллектуального электронного устройства, предназначенного для автоматического обнаружения скопления пыли, песка и других загрязняющих частиц на поверхности солнечных фотоэлектрических панелей. Описывается функциональная структура устройства, алгоритм сбора данных с датчиков, обработки сигналов, оценки уровня загрязнения и принятия решения о необходимости очистки. Предлагаемая система позволяет отслеживать эффективность работы солнечных панелей, оптимизировать их техническое обслуживание и снизить избыточные затраты на очистку.

КИРИШ

Бугунги кунда глобал иқлим ўзгариши ва анъанавий энергия ресурсларининг камайиши фонида қайта тикланадиган энергия манбалари, хусусан, қуёш фотоэлектрик станцияларидан фойдаланиш кўлами дунё миқёсида шиддат билан ортиб бормоқда. Ўзбекистон Республикасида ҳам энергетика хавфсизлигини таъминлаш ва "яшил" иқтисодиётга ўтиш доирасида қуёш энергиясидан фойдаланиш давлат сиёсати даражасига кўтарилди. Бироқ, фотоэлектрик панелларнинг (ФЭП) самарадорлиги нафақат уларнинг конструктив хусусиятларига, балки улар ишлатилаётган атроф-муҳит шароитларига ҳам бевосита боғлиқдир.

Қуёш панеллари самарадорлигини камайтирувчи энг жиддий ташқи омиллардан бири — бу уларнинг юзасида чанг, қум, тупроқ ва бошқа ифлослантирувчи заррачаларнинг тўпланишидир (soiling effect). Марказий Осиё, хусусан, Ўзбекистоннинг иқлим шароити қуруқ ва чангли ҳаво оқимлари, тез-тез кузатиладиган чанг бўронлари билан характерланади. Тадқиқотларга кўра, панел юзасидаги чанг қатлами қуёш радиациясининг ютилиш даражасини пасайтириб, тизимнинг умумий фойдали иш коэффициентини (ФИК) 10% дан 40% гача, айрим ҳолларда эса ундан ҳам кўпроққа камайтириши мумкин.

Ҳозирги вақтда қуёш панелларини тозалаш ишлари асосан икки хил усулда амалга оширилмоқда: даврий (жадвал асосида) ёки визуал кузатув натижасида. Биринчи усулда панеллар ҳақиқатда ифлосланмаган бўлса ҳам тозаланиши мумкин, бу эса ортиқча сув ва ишчи кучи сарфига (иқтисодий исрофгарчиликка) олиб келади. Иккинчи усул эса инсон омилига боғлиқ бўлиб, йирик қувватли қуёш станцияларида (гелиополияларда) ифлосланиш даражасини ўз вақтида ва аниқ баҳолаш имконини бермайди.

Ушбу муаммони бартараф этишнинг энг оптимал ечими — қуёш панеллари юзасининг ифлосланиш даражасини реал вақт режимида (real-time) назорат қилувчи ва фақат зарурат туғилгандагина тозалаш тизимларини ишга туширувчи автоматлаштирилган қурилмаларни яратишдир. Замонавий микроконтроллерлар ва Нарсалар интернет (IoT) технологиялари негизида интеллектуал электрон қурилмаларни ишлаб чиқиш ифлосланишни автоматик аниқлаш ва тизимни бошқариш имконини беради.

Қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланишнинг кенгайиши қуёш фотоэлектрик тизимларининг ишончли ва самарали ишлашини таъминлашни талаб

этмоқда. Қуёш панеллари электр энергиясини ишлаб чиқариш жараёнида ташқи муҳит таъсирига дуч келади. Хусусан, панель юзасида чанг, қум, майда заррачалар ва бошқа ифлослантирувчи моддаларнинг тўпланиши қуёш нурларининг фотоэлектрик элементларга етиб боришини чеклайди. Қуёш панелларининг ифлосланиши натижасида уларнинг электр энергияси ишлаб чиқариш кўрсаткичлари пасайиши мумкин. Бу жараёнга ҳудуднинг иқлим шароити, ҳаводаги чанг миқдори, шамол тезлиги, ёғингарчилик ва панелларнинг ўрнатилиш бурчаги таъсир кўрсатади. Қуруқ ва чангли иқлим шароитига эга ҳудудларда ушбу муаммо айниқса долзарб ҳисобланади.

Анъанавий ёндашувда қуёш панеллари маълум вақт оралиғида ёки визуал текширув натижасида тозаланади. Бироқ бундай усул панель юзасининг ҳақиқий ифлосланиш даражасини доим ҳам аниқ акс эттирмайди. Шу сабабли ифлосланишни датчиклар ёрдамида мунтазам ўлчайдиган, маълумотларни таҳлил қиладиган ва тозалаш заруратини автоматик белгилайдиган интеллектуал электрон қурилмани ишлаб чиқиш муҳим илмий-амалий аҳамиятга эга.

Мақоланинг мақсади қуёш панеллари юзасининг ифлосланиш даражасини баҳолаш, ўлчаш маълумотларини қайта ишлаш ва фойдаланувчига ўз вақтида огоҳлантириш бериш имкониятига эга бўлган электрон қурилманинг тузилиши ҳамда ишлаш алгоритмини ишлаб чиқишдан иборат. Бугунги кунда глобал иқлим ўзгариши ва анъанавий энергия ресурсларининг чекланганлиги шароитида қайта тикланадиган энергия манбаларидан, хусусан, қуёш фотоэлектрик станцияларидан фойдаланиш кўлами дунё миқёсида жадал ортиб бормоқда. Ўзбекистон Республикасида ҳам энергетика хавфсизлигини таъминлаш ва «яшил» иқтисодиётга ўтиш жараёнида қуёш энергиясидан самарали фойдаланиш муҳим йўналишлардан бири ҳисобланади. Шу муносабат билан қуёш фотоэлектрик тизимларининг ишончлилиги ва энергетик самарадорлигини ошириш, уларнинг ишлаш жараёнига ташқи муҳит омилларининг таъсирини камайтириш долзарб илмий-амалий вазифалардан бирига айланмоқда.

Қуёш фотоэлектрик панелларининг (ФЭП) электр энергияси ишлаб чиқариш самарадорлиги нафақат уларнинг конструктив хусусиятлари ва техник кўрсаткичларига, балки эксплуатация шароитига ҳам бевосита боғлиқ. Жумладан, панель юзасида чанг, қум, тупроқ ва бошқа майда ифлослантирувчи заррачаларнинг тўпланиши қуёш нурларининг фотоэлектрик элементларга етиб боришини чеклаб, электр энергияси ишлаб чиқариш ҳажмини камайтиради. Илмий адабиётларда ушбу

ҳодиса soiling effect, яъни панеллар юзасининг ифлосланиши таъсири деб юритилади.

Мазкур муаммо Марказий Осиё, жумладан, Ўзбекистоннинг қуруқ ва чангли иқлим шароитида алоҳида аҳамият касб этади. Ҳаводаги чанг заррачаларининг миқдори, шамол тезлиги, ёғингарчилик частотаси, атроф-муҳитнинг хусусиятлари ҳамда панелларнинг ўрнатилиш бурчаги ифлосланиш даражасига таъсир кўрсатувчи асосий омиллар ҳисобланади. Тадқиқотларда панеллар юзасида чанг тўпланиши натижасида уларнинг электр энергияси ишлаб чиқариш самарадорлиги сезиларли даражада пасайиши, айрим шароитларда эса йўқотишлар 10–40 фоизга ёки ундан ҳам юқори қийматларга етиши мумкинлиги қайд этилган.



Ҳозирги вақтда қуёш панелларини тозалаш асосан белгиланган вақт оралиғига мувофиқ ёки визуал кузатув натижалари асосида амалга оширилади. Биринчи усулда панель юзасининг ҳақиқий ифлосланиш даражасидан қатъи назар тозалаш ишлари бажарилиши мумкин. Бу эса сув, электр энергияси ва ишчи кучи сарфининг ортишига олиб келади. Визуал кузатувга асосланган ёндашув эса инсон омилига боғлиқ бўлиб, йирик қувватли қуёш электр станцияларида ифлосланиш даражасини мунтазам,

тезкор ва аниқ баҳолаш имкониятларини чеклайди.

Ушбу муаммоларни бартараф этиш учун қуёш панеллари юзасининг ифлосланиш даражасини реал вақт режимида назорат қиладиган, олинган маълумотларни қайта ишлайдиган ва тозалаш заруратини автоматик равишда аниқлайдиган интеллектуал электрон қурилмаларни ишлаб чиқиш мақсадга мувофиқдир. Замонавий микроконтроллерлар, турли хил датчиклар ва Нарсалар интернети (IoT) технологияларидан фойдаланиш орқали панель юзасининг ҳолатини мунтазам кузатиш, ўлчаш натижаларини таҳлил қилиш, белгиланган чегаравий қийматлар асосида тозалаш заруратини баҳолаш ҳамда фойдаланувчига ўз вақтида огоҳлантириш хабарларини юбориш имконияти яратилади.

Бундай ёндашув тозалаш ишларини оптималлаштириш, эксплуатация харажатларини камайтириш ва фотоэлектрик тизимларнинг энергетик самарадорлигини оширишга хизмат қилади.

Шундан келиб чиқиб, мазкур мақоланинг мақсади қуёш фотоэлектрик панеллари юзасининг ифлосланиш даражасини баҳолаш, датчиклар орқали олинган ўлчаш маълумотларини қайта ишлаш ва таҳлил қилиш ҳамда фойдаланувчига ўз вақтида огоҳлантириш бериш имкониятига эга бўлган интеллектуал электрон қурилманинг тузилиши ва ишлаш алгоритмини ишлаб чиқишдан иборат.

Қуёш панеллари юзасининг ифлосланиш даражасини аниқлаш учун бир нечта усулдан фойдаланиш мумкин.

- Оптик усул. Ушбу усулда ёруғлик манбаи ва фотодатчик ёрдамида панель юзаси орқали ўтадиган ёки ундан қайтувчи нурланиш хусусиятлари ўлчанади. Ифлосланиш натижасида қайд этилган оптик сигнал ўзгариши мумкин. Ушбу ўзгаришни калибровка қилиш орқали ифлосланиш даражасини баҳолаш мумкин.
- Электр параметрлари бўйича назорат. Панелнинг кучланиши, токи ва ишлаб чиқараётган қуввати ўлчанади. Ўлчов натижалари бир хил ёки таққосланадиган нурланиш ва ҳарорат шароитидаги эталон кўрсаткичлар билан солиштирилади. Бу усул амалдаги энергетик йўқотишларни баҳолашга ёрдам беради. Бироқ электр қувватининг пасайиши фақат ифлосланиш билан эмас, балки сояланиш, ҳарорат ва электр жиҳозларидаги носозликлар билан ҳам боғлиқ бўлиши мумкин.
- Эталон панель билан таққослаш. Бир хил турдаги иккита фотоэлектрик модулдан бири тоза ҳолатда сақланади, иккинчиси эса текширилади. Иккала модулнинг кўрсаткичлари бир хил шароитла солиштирилади. Бу усул мухит

таъсирини қисман ажратиш ва ифлосланиш билан боғлиқ йўқотишларни баҳолаш имконини беради.

- Интеллектуал таҳлил усули. Датчиклардан олинган маълумотлар микроконтроллерда ёки ташқи ҳисоблаш тизимида қайта ишланади. Бир нечта параметрни биргаликда таҳлил қилиш орқали ифлосланишни бошқа омиллар таъсиридан ажратиш аниқлигини ошириш мумкин.

таъсирини қисман ажратиш ва ифлосланиш билан боғлиқ йўқотишларни баҳолаш имконини беради.



1-расм. Қуёш панеллари юзасининг ифлосланиш даражасини интеллектуал назорат қилувчи электрон қурилманинг функционал блок-схемаси.



2-расм. Қуёш панеллари юзасининг ифлосланиш даражасини назорат қилувчи электрон қурилманинг ташқи кўриниши ва асосий таркиби.

Ишлаб чиқилаётган қурилма қуёш панелининг юзаси ҳолатини назорат қилиш, ўлчаш натижаларини қайта ишлаш ва тозалаш заруратини аниқлаш учун мўлжалланади.

Қурилманинг асосий функционал қисмлари қуйидагилардан иборат:

1. Оптик датчиклар модули панель юзасига тушувчи ёки ундан қайтувчи ёруғлик сигналини ўлчайди.

2. Электр параметрларини ўлчаш модули панелнинг токи ва кучланишини ўлчайди.

3. Ҳарорат датчиги фотоэлектрик модуль ёки атроф-муҳит ҳароратини қайд этади.

4. Микроконтроллер — датчиклардан келган сигналларни қабул қилади,

рақамли қайта ишлайди ва ифлосланиш даражасини ҳисоблайди.

5. Алоқа модули — заруратга кўра Wi-Fi, Bluetooth ёки бошқа интерфейс орқали маълумотларни узатади.

6. Индикация ва огоҳлантириш модули — экран, LED индикатор ёки мобил интерфейс орқали қурилманинг ҳолатини кўрсатади.

7. Электр таъминоти модули — электрон қисмларни зарур кучланиш билан таъминлайди.

Қурилмани амалга ошириш учун ESP32 ёки Arduino туридаги микроконтроллердан фойдаланиш мумкин. ESP32 маълумотларни ўлчаш ва қайта ишлаш билан бирга симсиз алоқа имкониятини ҳам таъминлайди. Датчикларнинг аниқ тури қурилманинг ўлчаш диапазони, ташқи муҳит шароити ва талаб этиладиган аниқлик асосида танланади.

Қурилма корпуси чанг ва намликдан ҳимояланган бўлиши, оптик датчиклар эса ташқи муҳит таъсири туфайли нотўғри сигнал бермаслиги учун тўғри жойлаштирилиши лозим.

Қурилма ишга туширилганда микроконтроллер датчиклардан маълумотларни белгиланган вақт оралиғида қабул қилади. Олинган сигналлар дастлабки фильтрлаш ва калибровка жараёнидан ўтказилади. Кейин улар асосида панель юзасининг ифлосланиш даражаси баҳоланади.

Оптик датчикдан олинган сигнал бўйича нисбий ўзгариш қуйидаги ифода билан ҳисобланиши мумкин:

$$D = \frac{S_o - S}{S_o} \times 100\,{}^{0}/_{o}$$

бу ерда:

(D) — оптик сигналнинг нисбий камайиши, фоизда;

(S_o)— тоза юза учун калибровка вақтида қайд этилган эталон сигнал;

(S) — жорий ўлчаш вақтида қайд этилган сигнал.

Ушбу кўрсаткич оптик сигналнинг ўзгаришини ифодалайди. Уни тўғридан-тўғри панель юзасининг ҳақиқий ифлосланиш фоизи деб қабул қилиш мумкин эмас. Бунинг учун қурилмани турли даражада ифлосланган юзаларда синовдан ўтказиш ва калибровка боғланишини аниқлаш талаб этилади.

Агар электр параметрлари ҳам ўлчанса, панелнинг ишчи қуввати қуйидагича ҳисобланади:

$$P = U \times I$$

бу ерда:

(P) — электр қуввати, (U) — кучланиш, (I) — ток.

Қувват кўрсаткичларини таққослашда қуёш нурланиши ва модуль ҳарорати ҳисобга олиниши керак. Акс ҳолда, ташқи муҳитдаги табиий ўзгаришлар ифлосланиш таъсири сифатида нотўғри талқин қилиниши мумкин.

Қурилманинг умумий ишлаш кетма-кетлиги қуйидагича:

1. Датчиклардан маълумотларни қабул қилиш.
2. Сигналларни фильтрлаш ва калибровка қилиш.
3. Оптик сигнал ва электр параметрларини таҳлил қилиш.
4. Ифлосланиш ҳолатини белгиланган мезонлар асосида баҳолаш.
5. Натижани экранда ёки рақамли интерфейсда кўрсатиш.
6. Ифлосланиш белгиланган чегарадан ошганда огоҳлантириш юбориш.

Интеллектуал назорат тизимининг асосий вазифаси датчиклардан келган маълумотлар асосида панель юзасининг ҳолати тўғрисида ишончли қарор қабул қилишдан иборат. Дастлабки ишланмада ифлосланиш даражаси учта шартли тоифага ажратилиши мумкин:

- Паст даража: оптик сигналнинг ўзгариши белгиланган биринчи чегарадан паст.
- Ўрта даража: сигнал ўзгариши биринчи ва иккинчи чегаралар оралиғида.
- Юқори даража: сигнал ўзгариши иккинчи чегарадан юқори.

Чегара қийматлари дастлабки фараз сифатида эмас, балки тажриба ва калибровка натижалари асосида белгиланиши лозим.

Ўлчаш хатоларини камайтириш учун битта ўлчовга таяниб қарор қабул қилиш ўрнига, бир нечта кетма-кет ўлчовнинг ўртача ёки медиана қийматидан фойдаланиш мумкин. Шунингдек, огоҳлантириш чегараси атрофида тез-тез ўзгариб турадиган ҳолатларнинг олдини олиш учун гистерезис механизми қўлланилиши мумкин.

Кейинги босқичда машинали ўқитиш усулларини жорий этиш имконияти мавжуд. Бунинг учун оптик сигнал, панель қуввати, ҳарорат, қуёш нурланиши ва визуал текширув орқали тасдиқланган ифлосланиш ҳолатлари тўпланади. Тайёрланган маълумотлар асосида классификация модели ишлаб чиқилиши мумкин. Бироқ моделнинг ишончлилиги маълумотлар тўпламининг сифати ва турли ташқи муҳит шароитларидаги синовларга боғлиқ. Қурилманинг дастурий таъминоти

датчикларни бошқариш, маълумотларни қабул қилиш, ҳисоблаш, натижаларни сақлаш ва фойдаланувчини огоҳлантириш вазифаларини бажаради.

Дастурий алгоритм қуйидаги асосий босқичлардан ташкил топади:

- датчикларни дастлабки созлаш;
- тоза панель учун эталон қийматни сақлаш;
- жорий сигналларни мунтазам ўлчаш;
- ўлчовларни фильтрлаш;
- ифлосланиш индекси ва зарур ҳолларда қувват ўзгаришини ҳисоблаш;
- натижаларни белгиланган мезонлар билан таққослаш;
- огоҳлантириш ва маълумотларни узатиш.

Қурилманинг амалий қўлланилиши қуёш электр станцияларида, хусусий хонадонларнинг фотоэлектрик тизимларида, қишлоқ хўжалиги объектларида ва автоном электр таъминоти тизимларида фойдали бўлиши мумкин.

Мунтазам назорат панель юзасини фақат зарур ҳолларда тозалашга ёрдам беради. Бу эса ортиқча сув сарфи, техник хизмат кўрсатиш харажатлари ва қўл меҳнатини камайтириш имкониятини яратади. Шу билан бирга, қурилманинг реал иқтисодий самарадорлиги тажриба натижалари, объектнинг иқлим шароити ва тозалаш харажатлари асосида баҳоланиши керак.

Таклиф этилаётган қурилманинг самарадорлигини баҳолаш учун лаборатория ва реал ташқи муҳит шароитида тажрибалар ўтказиш мақсадга мувофиқ. Биринчи босқичда тоза панель юзасида оптик датчикнинг эталон сигнали қайд этилади. Кейин юзага турли миқдорда чанг ёки стандартлаштирилган ифлослантирувчи материал қўлланиб, сигналнинг ўзгариши ўлчанади. Ҳар бир ҳолатда ўлчовлар бир неча марта такрорланади.

Иккинчи босқичда оптик кўрсаткичлар электр қувватидаги ўзгаришлар билан солиштирилади. Бунда нурланиш интенсивлиги, модуль ҳарорати ва ўлчаш вақти қайд этилиши лозим. Имкон бўлса, тоза эталон модуль билан бир вақтда таққослаш ўтказилади.

Учинчи босқичда қурилманинг ташқи муҳитдаги барқарорлиги, датчикларнинг хатолиги, огоҳлантириш алгоритмининг тўғри ишлаши ва узоқ муддатли маълумот йиғиш имконияти текширилади.

Асосий баҳолаш кўрсаткичлари сифатида ўлчаш хатолиги, ифлосланиш ҳолатларини тўғри аниқлаш даражаси, нотўғри огоҳлантиришлар сони,

маълумотларни узатиш ишончлилиги ва энергия сарфи қабул қилиниши мумкин.

Тажриба натижалари олинмагунча қурилманинг аниқ ўлчаш аниқлиги, энергия ишлаб чиқаришдаги фоизли ўсиш ёки иқтисодий самарадорлик бўйича рақамли хулосалар бериш илмий жиҳатдан асосланмаган бўлади.

ХУЛОСА

Қуёш панеллари юзасининг ифлосланиш даражасини интеллектуал назорат қилувчи электрон қурилмани ишлаб чиқиш фотоэлектрик тизимларнинг самарали ишлашини таъминлашда муҳим аҳамиятга эга. Мақолада оптик датчиклар, электр параметрларини ўлчаш модули, микроконтроллер ва ахборот узатиш воситаларига асосланган қурилманинг функционал тузилиши таклиф этилди.Оптик сигналларни калибровка қилиш, электр қувватини таҳлил этиш ва бир нечта ўлчов натижаларини биргаликда баҳолаш орқали ифлосланишни аниқлаш ишончлилигини ошириш мумкин. Интеллектуал алгоритмлар эса назорат натижалари асосида тозалаш зарурати тўғрисида автоматик қарор қабул қилиш имконини беради. Таклиф этилаётган қурилманинг амалий самарадорлигини тасдиқлаш учун лаборатория ва ташқи муҳит синовларини ўтказиш, калибровка боғланишларини аниқлаш, ўлчаш хатолигини баҳолаш ва турли иқлим шароитларида ишончлилигини текшириш зарур. Келгусида машинали ўқитиш ва IoT технологияларини жорий этиш орқали қурилманинг функционал имкониятларини янада кенгайтириш мумкин.

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР

1. Mani M., Pillai R. Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: Research status, challenges and recommendations. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010, 14(9), 3124–3131.

2. Sarver T., Al-Qaraghuli A., Kazmerski L. L. A comprehensive review of the impact of dust on the use of solar energy: History, investigations, results, literature, and mitigation approaches. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013, 22, 698–733.

3. International Electrotechnical Commission. IEC 61724-1:2021. Photovoltaic system performance — Part 1: Monitoring.

4. International Electrotechnical Commission. IEC 61215-1:2021. Terrestrial photovoltaic (PV) modules — Design qualification and type approval — Part 1: Test requirements.

5. International Electrotechnical Commission. IEC 60904 series. Photovoltaic devices — Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics and related parameters.