QUYOSH PANELLARINI TOZALASHNING OPTIMAL VARIANTINI TANLASH VA ENERGIYA SAMARADORLIGINI OSHIRISH

Xamzayev Akbar Abdalimovich
-Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, "Konchilik elektr mexanikasi" kafedrasi dotsenti
Jovbo'riev To'lqin Esirgapovich
-China Construction Sausum МЧЖ ХК Sifat nazorati muhandisi
Raxmatov Bahriddim Hamid o'g'li
- Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, "Konchilik elektr mexanikasi" kafedrasi assistenti

Annotasiya. Mazkur maqolada Sunpure robotlashtirilgan tozalash tizimining texnik imkoniyatlari va amaliy afzalliklari tahlil qilingan. Tizim mustaqil ishlaydigan robot, intellektual boshqaruv, datchik texnologiyasi va IT asosidagi masofaviy monitoring elementlarini o'z ichiga oladi. Sunpure suvsiz tozalash usulini qo'llagan holda ekologik barqarorlikni ta'minlaydi. Robotning yuqori darajadagi mobilligi, tashqi muhitga chidamliligi va avtonom ishlash qobiliyati uni quyosh panellari masivlarida samarali foydalanish imkonini beradi. Monitoring va boshqaruv platformasi orqali masofaviy nazorat qilish, robotlarning holatini kuzatish va texnik xizmatni optimallashtirish imkoniyati yaratiladi. Tizim qo'llanilishi natijasida PV stansiyalari ishlab chiqarish quvvati oshirilib, ekspluatasiya xarajatlari sezilarli darajada kamayishi mumkin.

Kalit so'zlar: Quyosh energetikasi, fotoelektr panellar, PV tozalash roboti, sunpure texnologiyasi, robotlashtirilgan tozalash, ekologik barqarorlik, avtonom tozalash tizimi

Аннотация. В данной статье анализируются технические возможности и практические преимущества роботизированной системы очистки Sunpure. Система включает в себя независимый робот, интеллектуальное управление, сенсорную технологию и элементы дистанционного мониторинга на базе IT. Сунпур, используя метод безводной очистки, обеспечивает стабильность окружающей среды. Высокая мобильность робота, устойчивость к внешней среде и способность работать автономно позволяют эффективно использовать его в массивах солнечных батарей. С помощью платформы мониторинга и управления можно дистанционно контролировать состояние роботов и оптимизировать техническое обслуживание. В результате применения системы можно увеличить производственную мощность ФЭС и значительно снизить эксплуатационные расходы.

ISSN 3030-3907

Ключевые слова: Солнечная энергетика, фотоэлектрические панели, робот для очистки ПВ, технология Sunpure, роботизированная очистка, экологическая устойчивость, автономная система очистки

Abstract. This article analyzes the technical capabilities and practical advantages of the Sunpure robotic cleaning system. The system includes an independent robot, intelligent control, sensory technology, and remote monitoring elements based on IT. Sunpur, using the method of waterless purification, ensures environmental stability. The robot's high mobility, resistance to the external environment, and ability to operate autonomously allow for its effective use in solar arrays. With the help of a monitoring and control platform, it is possible to remotely monitor the state of robots and optimize maintenance. As a result of applying the system, it is possible to increase the production capacity of the FES and significantly reduce operating costs.

Keywords: Solar energy, photovoltaic panels, PV cleaning robot, Sunpure technology, robotic cleaning, environmental sustainability, autonomous cleaning system

Kirish

Quyosh energetikasi — XXI asrning strategik muhim va ekologik toza energiya manbasi sifatida jahonda tobora kengayib bormoqda. Fotoelektr (PV) stansiyalarining samarali faoliyat yuritishi to‘g‘ridan-to‘g‘ri panellar yuzasining tozaligiga bog‘liq. Panellardagi chang, qoraqurum va boshqa ifloslanishlar fotogalvanik samaradorlikni 10–30% gacha pasaytirishi mumkin. Ana shunday muammoni hal qilishda Sunpure kompaniyasi tomonidan ishlab chiqilgan intellektual PV tozalash robotlari muhim texnologik yutuq sifatida maydonga chiqdi.

Texnologiyaning umumiy tavsifi

Sunpure robotlashtirilgan tozalash tizimi — bu mustaqil ishlaydigan, intellektual boshqaruv, sensor texnologiyasi va IoT asosida masofaviy monitoringni qo‘llab-quvvatlaydigan robotdir. Tizimning asosiy qismlari: PV tozalash roboti; dok-stansiyalar va ko‘priklardan iborat yordamchi infratuzilma: aloqa va ma'lumot uzatish tizimi: masofaviy boshqaruv platformasi (Web/APP).

Bu tizim suvsiz tozalash usulini qo‘llaydi, ya'ni u an'anaviy tozalashdan farqli o‘laroq, suv, kimyoviy modda yoki qo‘shimcha resurs talab qilmaydi — bu ekologik barqarorlik nuqtai nazaridan juda muhim.

Texnik xususiyatlar tahlili

Mobillik va to‘siqdan o‘tish qobiliyati: 20° qiyalikka chiqish qobiliyati; 50 mm gacha to‘siqlardan o‘tish; IP65 himoya darajasi, ya'ni changalik va suvga chidamli; C4 korroziyaga qarshi muhofaza.

ISSN 3030-3907

Bu xususiyatlar robotning tashqi muhitda, turli iqlim va relef sharoitlarida ishlashini ta'minlaydi.

Avtonom quvvat manbai: PV modulidan zaryadlanuvchi 105W va 190W tizimlar; 10.2Ah va 13.6Ah akkumulyatorlar — massiv uzunligiga qarab moslashtiriladi; panellarning maksimal tozalash masofasi 3000 metrgacha.

Bu robotlarning to‘liq avtonom ishlashini va tashqi quvvat manbai talab qilmasligini ta'minlaydi.

Monitoring va boshqaruv strategiyasi

Sunpure robotlari IT texnologiyalariga asoslangan bo‘lib, LoRa, LTE, Bluetooth va LAN kabi interfeyslar orqali ma'lumot almashadi. COM100R intellektual aloqa qutisi robotlarning ish holatini to‘plab, SCADA yoki boshqa avtomatlashtirilgan tizimlarga uzatadi.

Boshqaruv platformasi imkoniyatlari: Tizim holati va batareya holatini kuzatish; dasturiy parametrlarni o‘zgartirish; masofadan robotni boshqarish: texnik xizmat ko‘rsatishni optimallashtirish.

Bu platformalar, ayniqsa, yirik massivlarda bir nechta robotni markazlashgan holda boshqarish uchun juda muhim.

Amaliy qo‘llanish va loyiha foydasi: ishlab chiqarish samaradorligi; 99,5% tozalash samaradorligi bilan changning yig‘ilishi kamayib, PV stansiyasining kundalik ishlab chiqarish quvvati 10–20% gacha ortishi mumkin.

Xizmat xarajatlari kamayishi: suv sarfi, ishchi kuchi va tozalash texnikasi talab etilmaydi, bu esa ekspluatasiya xarajatlarini o‘rtacha 30–50% gacha kamaytiradi.

Umr davomiyligi va investisiya samarasi: robotlarning ishlash muddati — 30 yilgacha; robot “o‘zini 2÷3 yil ichida qoplaydigan” ROI (Return on Investment) ko‘rsatkichiga ega

Tizimning tahlil va xulosalari

Sunpure intellektual tozalash tizimi o‘zining yuqori avtomatizasiya darajasi, past ekspluatasiya xarajatlari va ekologik barqarorligi bilan quyosh energetikasining kelajagini shakllantiradi. Ayniqsa, suv kam bo‘lgan mintaqalar yoki yirik massivlarda umumijtimoiy va iqtisodiy jihatdan katta afzallik beradi.

Potensial muammolar: boshlang‘ich investisiya xarajatlari yuqoriroq; moslashuvchan ko‘prik va trekerlar talab etilishi mumkin; noaniq iqlim sharoitida sensorlar ishlashiga ta'sir bo‘lishi ehtimoldan holi emas.

ISSN 3030-3907

1-jadval.
Ko‘rsatkichlar jadvali

Tur	PR200
Moslashuvchanlik	
To‘siq qo‘yish qobiliyati	50 mm
Chirmashish qobiliyati	20°
Tozalash tezligi	10~20m/min
Maksimal chidamli shamol tezligi	dok stansiyasida 55 m/s
Tozalash samaradorligi	99,5%
Aloqa monitoringi	
Aloqa interfeysi	LoRa, LTE, LAN, Bluetooth
Aloqa protokoli	Modbus
Monitoringni boshqarish	Veb\APP
Boshqarish usuli	Avtomatik, joyida, masofaviy
Aloqa chastotasi	922-928 MGs
Energetika tizimi	
Elektr ta’minoti rejimi	O‘zi ishlaydigan PV moduli 105W/190W
Kuchlanish	24 V
Tizim quvvati	240 Vt
Akkumulyator sig‘imi	10.2Ah/13.6Ah
Tozalash masofasi	kunlik tozalash masofasini (2 km) ta'minlash 3 yil davomida
Atrof-muhit parametrlari	
Ishchi harorat	-20~60°C
namlik	0 ~ 95%, kondensatsiyalanmaydigan
IP darajasi	IP65
Korroziyaga qarshi	S4
Mexanik xossalari	
Og‘irlik	58±2 kg
O‘lchamlar	2595 mmX404 mmX572 mm
Hayot sikli	30 yil

1. Joylashtirish tamoyillari

(1) Bitta dok-stansiya taklifi:

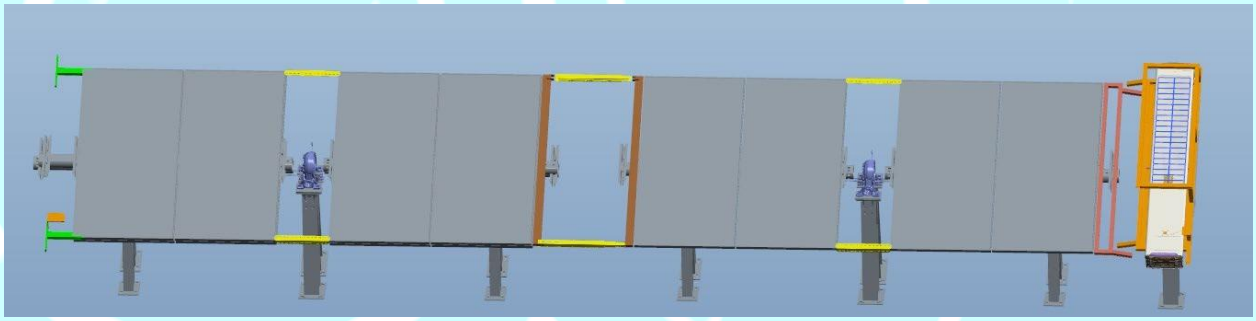
Massiv uzunligi < 1500 metr bo‘lganda, robot bir vaqtning o‘zida bitta

ISSN 3030-3907

aylanma harakatni tozalaydi.

Bir qator uzluksiz kuzatuvchi kronshteynlarga bitta PV tozalash roboti joylashtirilgan. Panellarga soya tushmasligi uchun tutashtiruvchi stansiya shimol tomonda joylashtiriladi. Reverslash stansiyalari janub tomonda joylashtirilgan va qo‘shni trekerlar quyidagi rasmda ko‘rsatilgandek ko‘prik bilan bog‘langan (1-rasm).

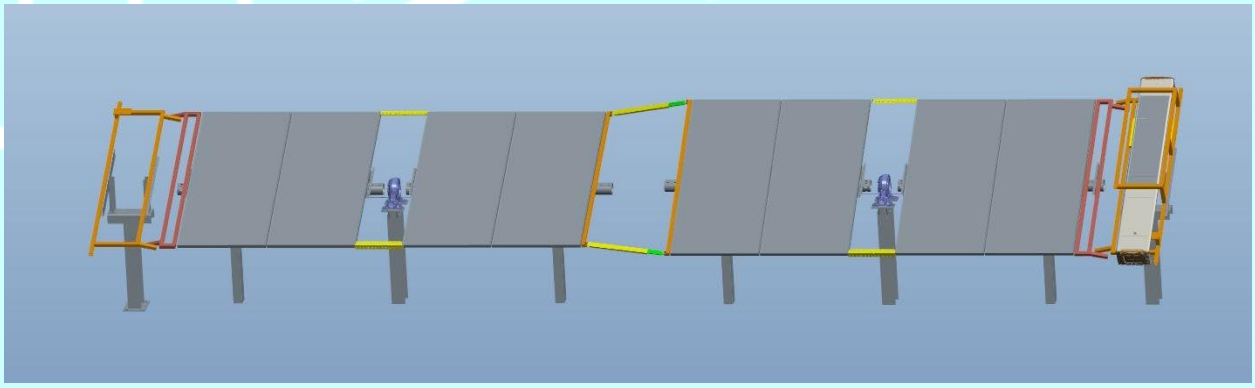
(2) Ikkita dok-stansiya taklifi:



1-rasm. Sunpure intellektual tozalash robotining o‘rnatilish usuli

Massiv uzunligi > 1500 metr bo‘lsa, robot bir martada bitta qatnovni tozalaydi.

Bir qator uzluksiz kuzatuvchi kronshteynlarga bitta PV tozalash roboti joylashtirilgan. Shimoliy tomonda ham, janubiy tomonda ham ikkita dok-stansiya joylashtirilgan, qo‘shni trekerlar quyidagi rasmda ko‘rsatilgandek ko‘prik bilan bog‘langan.



2-rasm. Sunpure intellektual tozalash robotining quyosh panellarining ulangan joyidan harakatlanish sxemasi

Robotning chidamliligi va loyiha tejamkorligini hisobga olgan holda, massivning joydagi uzunligi turlicha bo‘lganligi sababli, mos ravishda ikki turdagi batareyalar sozlanadi:

ISSN 3030-3907

2-jadval.

Sunpure intellektual tozalash robotining o‘lcham ko‘rsatkichlari

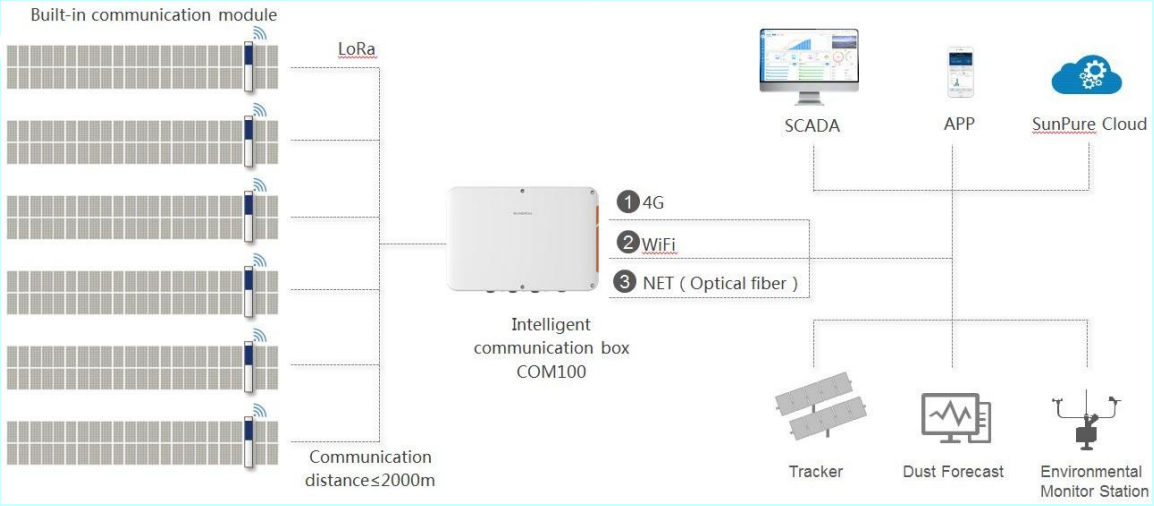
Akkumulyator sig‘imi	O‘zi zaryadlanuvchi modullar sig‘imi	Maksimal tozalash masofasi	Tozalash turi	Maksimal tozalash masofasi
10,2Ah	105 Vt	L<760m	Sikl	<1400m
10,2Ah	190 Vt	760m<L<1000m	Sikl	<2000m
		1500m<L<2000m	bir yoqlama	<2000m
13,6Ah	190 Vt	1000<L<1500m	Sikl	<3000m
		2000<L<3000m	bir yoqlama	<3000m

3 Avtomatik robotlashtirilgan tozalash tizimini joriy etish

3.1 Tizim arxitekturasi

Ushbu loyiha tizimi intellektual PV tozalash robotini, yordamchi tizimni, aloqa tizimini va boshqaruv platformasini o‘z ichiga oladi, bu quyidagi rasmda ko‘rsatilgan:

Sunpure intellektual tozalash tizimi to‘rtta afzallikka ega bo‘lib, fotoelektrik stansiyalarni avtomatik intellektual tozalashga erishish uchun elektr energiya ishlab chiqarish samaradorligini oshiradi.



Sunpure intellektual tozalash tizimi va boshqaruv platformasi

(1) Moslashtirilgan dizayn: Loyihaning tozalash ehtiyojlarini qondirish uchun turli elektr stansiyalari uchun moslashtirilgan echimlar.

(2) To‘siqlardan o‘tish: Noyob 4 g‘ildirakli uzatma va holatni aniqlash qobiliyati, 20° ga ko‘tarilish va 50 mm to‘siqlardan o‘tish talablariga javob bera oladi.

ISSN 3030-3907

(3) Yuqori ishonchlilik: Mahsulot tuzilmasini loyihalash, komponentlarni tanlash va dasturiy ta'minot strategiyasi orqali tizimning yuqori ishonchliligini ta'minlaydi.

3.2 Intellektual: IoT texnologiyasi orqali tizimni masofadan boshqarish va boshqarish, shuningdek, ma'lumotlarni integratsiyalash va tizimning mosligi.

Tozalash roboti: Sunpure intellektual PV tozalash roboti yurish tizimi, tozalash tizimi, quvvatni saqlash tizimi va mahalliy boshqaruv tizimini o‘z ichiga oladi.

(1) Robot to‘rt g‘ildirakli uzatmaga ega bo‘lib, bu unga 50 mm gacha bo‘lgan to‘siqlardan o‘tish va maksimal 20 daraja qiyalikka ko‘tarilish imkonini beradi va uning holatni aniqlash qobiliyati tiqilib qolish ehtimolini sezilarli darajada kamaytirishi mumkin.

(2) Joylashuvni aniqlash: texnik xizmat ko‘rsatuvchi xodimlarni yo‘naltirish uchun nosozlik turlari va joylarini aniq belgilash.

(3) IP65 himoya va C4 korroziyaga qarshi darajasi.

(4) Ichiga o‘rnatilgan 24 V kuchlanishli o‘z-o‘zidan ishlaydigan tizim: elektr stansiyasidan elektr energiyasini olishning hojati yo‘q va ulash stansiyasi bortdagi PV modulini tozalash uchun o‘z-o‘zini tozalash cho‘tkasi bilan jihozlangan.

(5) Suvsiz toza, engil dizayn, PV moduliga umrbod nol zarar etkazish.

(6) Tozalovchi valik cho‘tkasi panellarning chang to‘planish xususiyatlari uchun maxsus ishlab chiqilgan. Tozalash samaradorligi 99,5%.

(7) Faol shamolga chidamli: ekstremal ob-havo sharoitida robotning xavfsizligini ta'minlash uchun shamolga chidamli plita + faol shamolga chidamli ilgak.

(8) O‘z-o‘zini o‘rganish: Har bir robot o‘zining individual ishlash uslubiga ko‘ra o‘z-o‘zini o‘rganish orqali strategiyasini moslashuvchan tarzda o‘zgartirishi mumkin.

(9) Dasturiy ta'minotdan himoyalanishning bir nechta strategiyalari: to‘siqlarni kesib o‘tish himoyasi, operasiyani vaqtincha to‘xtatish himoyasi, past quvvatni aniqlash himoyasi, akkumulyator batareyasini zaryadlash va razryadlanish himoyasi, meteorologik bog‘lanish himoyasi, gorizontal bir o‘qli treker anomaliyasidan himoya va boshqalar.

(10) Bir nechta monitoring va boshqaruv platformasi: Veb va APP asosidagi HMI, Bluetooth va IoT ulanish orqali real vaqt rejimida nazorat va ma'lumotlarni boshqarish[1-8].

(11) Intellektual qaror qabul qilish: intellektual ishlashni qo‘llab-quvvatlash uchun bulutli texnologiyalardan foydalangan holda uchinchi tomon ma'lumotlarini integrasiya qilish, masalan: ob-havo hisoboti ma'lumotlari asosida ishlashni bekor qilish; chang to‘planishi ma'lumotlari asosida rejadan tashqari

ISSN 3030-3907

zudlik bilan tozalash.Tozalash robotining ko‘rinishi quyidagicha: 105 Vt quvvatga ega o‘z-o‘zini zaryadlash moduliga ega robot: 190 Vt quvvatga ega o‘z-o‘zini zaryadlash moduliga ega robot:

Yordamchi tizim: Yordamchi tizim asosan quyidagi xususiyatlarga ega bo‘lgan tutashtirish stansiyasi, teskari stansiya va ko‘prikni o‘rnatishni o‘z ichiga oladi:

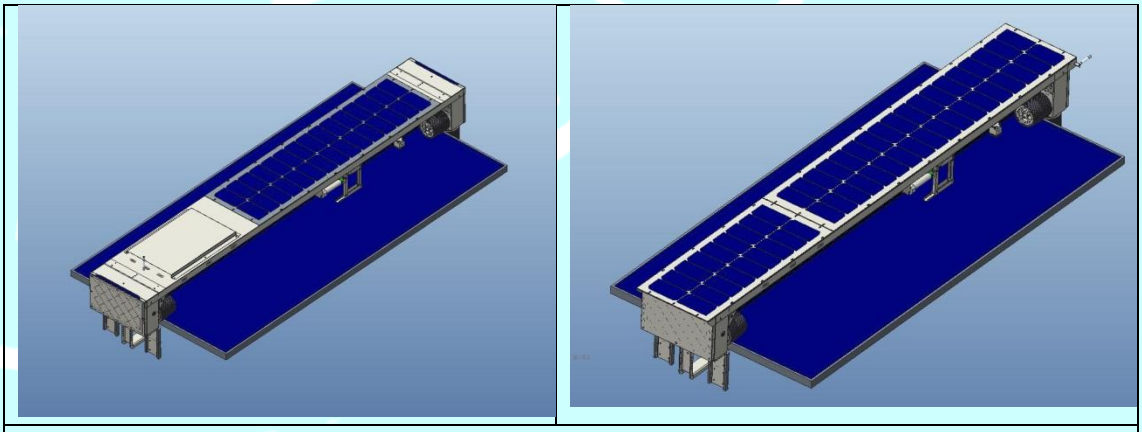
(1) Modulli dizayn, barcha qismlar zavodda yig‘ilgan va PV ramalarga joyida bolt bilan ulanadi, PV panellarining ramkasida burg‘ulash talab qilinmaydi, shu bilan birga, joyida o‘rnatish muddatini qisqartiradi[1-8].

(2) Ko‘prik noyob patentlangan texnologiyani o‘z ichiga oladi, uni joyida kichik massiv orasidagi bo‘shliq va burchakka qarab sozlash mumkin, o‘rnatish samaradorligi va o‘rnatish sifatini oshiradi[1-8].

(3) PV modullarini sozlash shart emas.

(4) QFESni o‘rnatish bo‘yicha katta tajriba, loyiha sifatini ta'minlash uchun jarayonni boshqarishning yuqori standarti.

Joylashtirish sxemasi quyidagi rasmda ko‘rsatilgan:



3-rasm. Sunpure intellektual tozalash qurilmasini joylashtirish sxemasi

To‘xtash joyi: O‘ng tomonda to‘xtash joyi joylashgan. Tozalash roboti PV modullarini soyalab qo‘ymaslik uchun stansiyada tozalanmaydigan holatda turadi.

Reverslash stansiyasi: Chap tomonda reverslash stansiyasi joylashgan. Tozalash roboti tozalash paytida stansiyada orqaga qaytib, keyin dok stansiyasiga qaytadi.

Qo‘zg‘almas ko‘prik: Bir xil gorizontal yagona o‘qdagi ko‘prik robotni tozalash uchun yurish yo‘lagi sifatida qo‘zg‘almas ko‘prik bilan bog‘langan.

Egiluvchan ko‘prik: Qo‘shni gorizontal bitta o‘q orasidagi ko‘prik robotni tozalash uchun yurish yo‘lagi sifatida egiluvchan ko‘prik bilan bog‘langan.

(1) Egiluvchan ko‘prik gorizontal bir o‘qli izlagichning ikki to‘plamini qurish va o‘rnatishda gorizontal va balandlik xatoliklariga moslashishi mumkin.

ISSN 3030-3907

(2) Egiluvchan ko‘prik ishlayotganda gorizontal bir o‘qli izlagichning chap va o‘ng tomonlarining burchak xatoligiga qarab ko‘prikning burchagi va masofasini o‘zgartirishi mumkin.

(3) Agar gorizontal bir o‘qli izlagichning bir to‘plami ishdan chiqsa, ko‘prik kuzatuv tizimining boshqa to‘plamining normal ishlashiga ta'sir qilmaydi.

3.3 Aloqa tizimi

Sunpure intellektual tozalash tizimida ma'lumotlar LAN COM100 intellektual aloqa qutisi orqali ulanadi. Robotning ishlash ma'lumotlarini to‘plash va uzatish uchun integratsiyalashgan ma'lumotlar kollektoridan foydalangan. U moslashuvchan tarmoq, qulay foydalanish va texnik xizmat ko‘rsatish kabi afzalliklarga ega.

(1) COM100R o‘rnatilgan LORA xostga ega bo‘lib, u ma'lumotlarni to‘plash uchun robotning o‘z LORasi bilan simsiz aloqa qiladi.

(2) COM100R 4G tarmog‘i, WIFI va optik tolali tarmoqni qo‘llab-quvvatlaydi.

(3) COM100R standart Ethernet interfeysiga ega bo‘lib, u SCADA tizimi bilan ma'lumotlar aloqasini amalga oshirish uchun stansiyadagi mahalliy tarmoqni bog‘lashi mumkin.

(4) COM100R TCP/IP asosidagi protokollarni, shu jumladan standart IEC104 va Modbus TCP protokollarini qo‘llab-quvvatlaydi.

COM100R o‘lchami:

Boshqaruv platformasi

Robotlarni boshqarish platformasi quyidagi funksiyalarga ega:

(1) Robotdan operasion ma'lumotlarni, jumladan, tizim holati, joriy holat, dvigatel holati, batareya holati, o‘z-o‘zini ta'minlaydigan PV panel holati va boshqalarni olish [1-8].

(2) Boshqaruv platformasi tizim parametrlarini va robotning ichki tizimining ishlash parametrlarini sozlashi mumkin, bu esa tizimning optimal sozlamada ishlashini ta'minlaydi, jumladan, batareya konfigurasiyasi, dvigatel konfigurasiyasi, mashinani to‘liq boshqarish, tizim strategiyasi va boshqalar.

(3) Robotni WEB yoki boshqa aloqa orqali boshqarish.

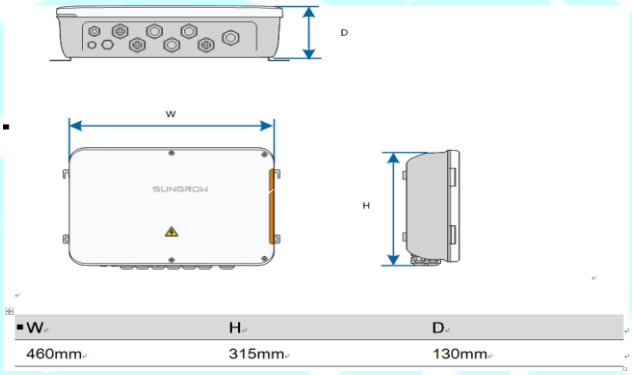
(4) Robot operasiyalari jurnalini saqlash va boshqarish.

(5) Robot signalizasiyasini boshqarish.

(6) Robot dasturiy ta'minotini masofadan yangilash.

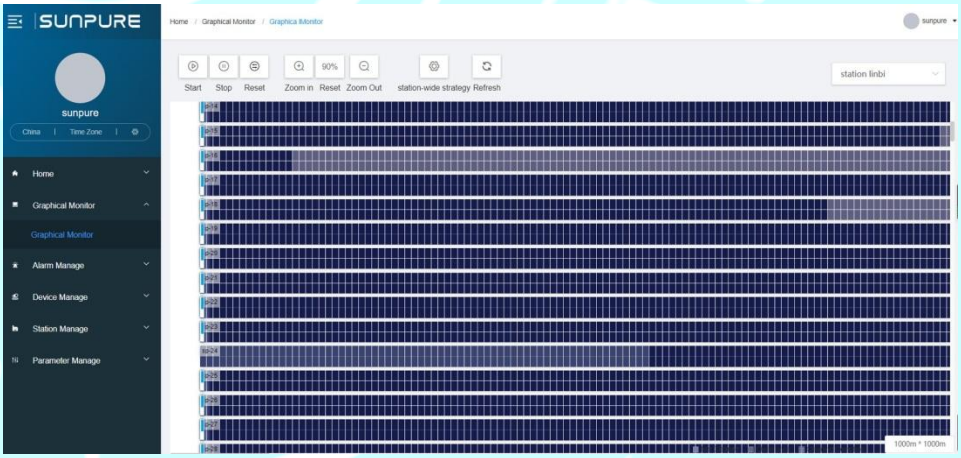
ISSN 3030-3907

(7) Boshqaruv platformasi uchinchi tomon platformasi bilan bog‘lanish uchun aloqa interfeysini taqdim etadi, u orqali uchinchi tomon platformasining



W	H	D
460mm	315mm	130mm

ma'lumotlarini to‘plash mumkin va uchinchi tomon platformasi ham interfeys orqali robotlarni boshqarish platformasi ma'lumotlarini to‘plashi mumkin.



Quyidagi rasmda robotlarni boshqarish platformasi keltirilgan:

Tizim ishlashi

(1) Sunpure roboti PV modullarini suvsiz tozalash usulidan foydalanadi. Tozalash ishlari boshlanganda, robot ramkaning yuqori chekkasi bo‘ylab yuradi.

(2) Tozalash rolikli cho‘tka PV robotning ish yo‘li bo‘ylab PV modullari yuzasidagi changni artish uchun robotning yurish yo‘nalishiga qarama-qarshi tomonga aylanadi.

(3) PV robot massiv oxiriga etganda, u avtomatik ravishda teskari yo‘nalishda ishlaydi va PV modullarini dok stansiyasiga etguncha tozalaydi. Shu bilan tozalash sikli tugaydi va robot keyingi tozalash operasiyasi bo‘yicha ko‘rsatmalarni kutadi.

(4) PV roboti tozalash ishlarini bajarishi uchun mos bo‘lmagan yomg‘ir, qor yoki kuchli shamol kabi yomon ob-havo sharoitida boshqaruv platformasi joriy tozalash ishlarini to‘xtatish uchun boshqaruv ko‘rsatmalarini yuborishi mumkin. Agar ob-havo sharoiti yaxshilansa yoki maxsus tozalash operasiyalari talab etilsa, boshqaruv platformasi robotni tozalash operasiyasini boshlash va tozalash jarayonini yakunlash uchun boshqaruv ko‘rsatmalarini ham yuborishi mumkin.

ISSN 3030-3907

(5) Tozalash operasiyasini boshlashdan oldin robot akkumulyatorning hozirgi darajasini tekshiradi. Agar batareya quvvati bitta operasiya uchun talab qilinadigan darajadan past bo‘lsa, joriy ish to‘xtaydi.

(6) Robotlarni tozalash jadvali elektr stansiyasining haqiqiy holatiga qarab belgilanishi mumkin. Umuman olganda, tozalash elektr stansiyasining normal ishini to‘xtatib qo‘ymaslik uchun elektr stansiyasining to‘xtab turish vaqtida amalga oshirilishi kerak.

(7) PV robotlarni tozalash chastotasi elektr stansiyasining haqiqiy holatiga qarab belgilanishi mumkin. Umuman olganda, tozalash har kuni amalga oshirilishi kerak va yomg‘irli mavsumda chastotani mos ravishda kamaytirish mumkin. Haqiqiy vaziyatga ko‘ra, odatdagi operasiyalar chastotasidan tashqari, maxsus tozalash operasiyasi ham bajarilishi mumkin.

4 Tizimni ishga tushirish talabi

(1) Robot gorizontal bir o‘qli treker bilan ishlashi kerak, masalan, SCADA-ga integrasiya qilinishi kerak bo‘lgan kuzatish tizimining to‘xtash burchagi va nosozlik ma'lumotlarini olish. Tafsilotlar uchun 2.6 "Boshqaruv platformasi"ga qarang.

(2) COM100R barqaror elektr ta'minotini, 220VAC yoki 24VDC quvvat interfeysini talab qiladi.

(3) COM100R barqaror tarmoq ulanishi va tarmoq interfeysiga muhtoj.

(4) Boshqa muvofiqlashtirish aniq o‘rnatish shakli va talablariga muvofiq belgilanadi.

Xulosa

Sunpure kompaniyasi tomonidan ishlab chiqilgan intellektual PV tozalash robotlari quyosh energetikasi sohasidagi muhim innovasion echimlardan biri sifatida e'tirof etiladi. Bu robotlashtirilgan tizim yuqori tozalash samaradorligi, suvsiz faoliyat ko‘rsatishi va IT texnologiyalari asosidagi masofaviy boshqaruv imkoniyatlari bilan ajralib turadi. Ushbu texnologiya PV stansiyalarining ishlab chiqarish quvvatini oshirish, ekspluatasiya xarajatlarini kamaytirish va ekologik barqarorlikni ta'minlashda muhim o‘rin tutadi. Ayniqsa, suv resurslari cheklangan va katta masshtabdagi stansiyalarda bu robotlarning afzalliklari yanada yaqqol namoyon bo‘ladi. Shu bilan birga, tizimning to‘liq joriy etilishida boshlang‘ich investisiya xarajatlari va ayrim texnik talablarni hisobga olish zarur. Umuman olganda, Sunpure robotlari quyosh energetikasini yanada samarali va barqaror rivojlantirish uchun katta salohiyatga ega.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

9. Sunpure Intelligent Cleaning System. (01.06.2025 y. holatiga ko‘ra).
10. Sharma, A., & Jain, V. (2021). *Recent advancements in solar panel cleaning*

ISSN 3030-3907

technologies: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 145, 111089.

11. SolarPower Europe (2023). *Operation & Maintenance Best Practices Guidelines for Solar PV*. Brussels, Belgium.

12. Maxkamov, I., & Hamroev, A. (2022). Quyosh energetikasini rivojlantirishda robot texnologiyalarining ahamiyati. *Energetika va avtomatika ilmiy jurnali*, №2, 45–50-betlar.

13. International Energy Agency (IEA) (2022). *World Energy Outlook 2022*. Paris: IEA Publications.

14. LoRa Alliance. (2021). *LoRaWAN® Specification v1.0.4*. Retrieved from https://lora-alliance.org

15. Aybekov, A. (2023). Fotoelektr panellarni tozalashda robot texnikasining imkoniyatlari. *Quyosh energiyasi va innovatsiyalar*, №1, 32–37-betlar.

16. IEEE Standards Association. (2020). *IEEE Standard for Environmental Requirements for Solar PV Equipment* – IEEE Std 1573-2020.

ISSN 3030-3907