# ESP32 MIKROKONTROLLERI VA TRACE MODE 6 ASOSIDA QUYOSH ENERGIYALI TASHQI YORITISHNI BOSHQARISH VA MONITORING TIZIMINI ISHLAB CHIQISH

UO‘K 004.896:628.971

**Toshpo‘latov I.K.[1], Ismanov M.A.[2]**

*[1]Namangan davlat texnika universiteti magistranti; [2]Namangan davlat texnika universiteti, t.f.f.d. (PhD), dotsent*

E-mail:ismanovm91@gmail.com

**Annotatsiya.** Maqolada quyosh panellari va $LiFePO_4$ akkumulyatorlaridan ta’minlanadigan tashqi yoritish tizimi uchun ESP32-WROOM-32 mikrokontrolleri asosidagi boshqaruv bloki va TRACE MODE 6 muhitidagi SCADA-tizim ishlab chiqilgani bayon etilgan. Boshqaruv bloki sensorlar, akkumulyator BMS tizimi (CAN) va energiya hisoblagichidan ma’lumot oladi, kontaktorlar va 0–10 V dimming signali orqali yoritgichlarni boshqaradi. Dasturiy ta’minot FreeRTOS asosida ikki yadroli arxitekturada yaratilgan. TRACE MODE 6 da Techno ST tilidagi boshqaruv dasturi va rasmli operator mnemosxemasi ishlab chiqilib, profilerda kunduzgi, kechki, tungi va tarmoqqa o‘tish rejimlarida sinovdan o‘tkazilgan.

**Kalit so‘zlar:** ESP32, SCADA, TRACE MODE 6, mnemosxema, FreeRTOS, MQTT, tashqi yoritish, quyosh energiyasi.

**Аннотация.** В статье описана разработка блока управления на микроконтроллере ESP32-WROOM-32 и SCADA-системы в среде TRACE MODE 6 для системы наружного освещения с питанием от солнечных панелей и $LiFePO_4$-аккумуляторов. Блок управления получает данные от датчиков, BMS аккумулятора (CAN) и счётчика энергии и управляет светильниками через контакторы и сигнал диммирования 0–10 В. Программное обеспечение построено на FreeRTOS с двухъядерной архитектурой. В TRACE MODE 6

разработаны программа на языке Techno ST и графическая мнемосхема оператора, испытанные в профайлере в дневном, вечернем, ночном режимах и при переходе на сеть.

**Ключевые слова:** ESP32, SCADA, TRACE MODE 6, мнемосхема, FreeRTOS, MQTT, наружное освещение, солнечная энергия.

**Abstract.** The paper describes an ESP32-WROOM-32 based control unit and a TRACE MODE 6 SCADA system for an outdoor lighting installation powered by solar panels and $LiFePO_4$ batteries. The control unit reads sensors, the battery BMS over CAN and an energy meter, and drives the luminaires through contactors and a 0–10 V dimming signal. The firmware runs on FreeRTOS with a dual-core architecture. A Techno ST control program and a graphical operator mimic diagram were built in TRACE MODE 6 and tested in the profiler in day, evening, night and grid-transfer modes.

**Keywords:** ESP32, SCADA, TRACE MODE 6, mimic diagram, FreeRTOS, MQTT, outdoor lighting, solar energy.

## Kirish

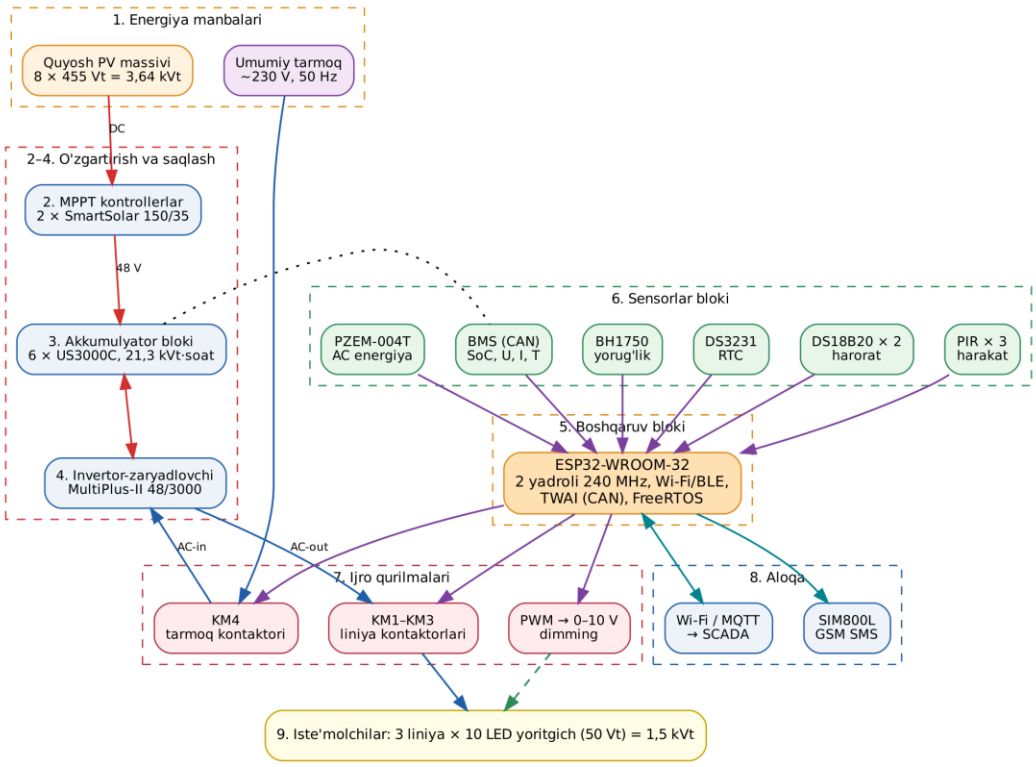
Quyosh energiyasidan foydalanuvchi tashqi yoritish tizimlarida yoritgichlarni boshqarish bilan bir qatorda akkumulyator holatini kuzatish, tarmoq zaxirasiga o‘z vaqtida o‘tish va dispetcherga ma’lumot uzatish talab etiladi [1, 2]. Mavjud avtonom quyosh yoritgichlari odatda oddiy zaryad kontrollerlari bilan jihozlanadi va masofaviy monitoring imkoniyatiga ega emas.

ESP32 oilasidagi mikrokontrollerlar ikki yadroli protsessor, ichki Wi-Fi/Bluetooth moduli va CAN (TWAI) kontrolleriga ega bo‘lib, bunday tizimlar uchun qulay asos hisoblanadi [3]. TRACE MODE 6 esa operator ekranlari va IEC 61131-3 tillaridagi boshqaruv dasturlarini bitta loyihada yaratish imkonini beruvchi SCADA/HMI muhitidir [4]. Maqolaning maqsadi — ESP32 asosida boshqaruv blokini

va TRACE MODE 6 da dispetcherlik ekranini ishlab chiqish hamda ularning ishlashini sinab ko‘rish.

## Tizim tuzilishi

Tizimning funksional blok-sxemasi 1-rasmda keltirilgan. Energiya zanjiri PV massiv, MPPT kontrollerlar, akkumulyator bloki, invertor va uchta yoritish liniyasidan iborat; tarmoq zaxira sifatida KM4 kontaktori orqali ulanadi. Markazda ESP32 boshqaruv bloki joylashgan.




**1-rasm.** ESP32 asosidagi boshqaruv tizimining funksional blok-sxemasi

*1-jadval*

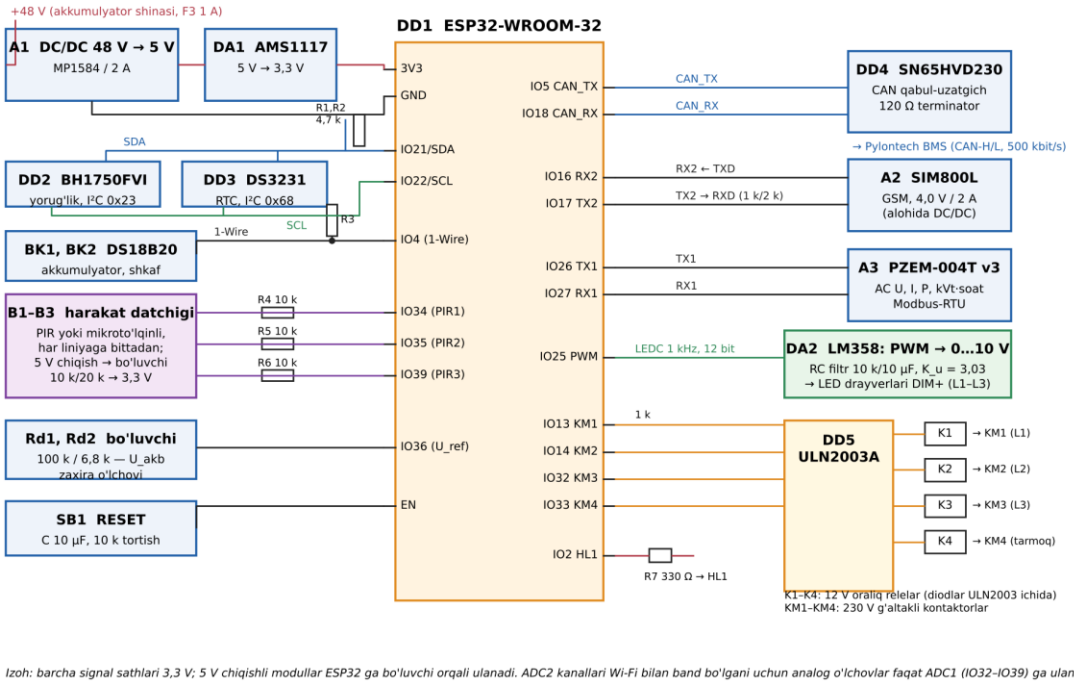
### Tizimning asosiy uskunalari

| Uskuna | Model | Asosiy xarakteristikalar | Soni |
|---|---|---|---|
| Mikrokontroller | ESP32-WROOM-32 | 240 MGts, Wi-Fi/BLE, TWAI | 1 |
| PV modul | Longi LR4-72HPH-455M | 455 Vt, 20,9 % | 8 |
| MPPT kontroller | Victron SmartSolar 150/35 | 150 V, 35 A, 48 V | 2 |

| Uskuna | Model | Asosiy xarakteristikalar | Soni |
|---|---|---|---|
| Akkumulyator | Pylontech US3000C | $LiFePO_4$, 3,55 kVt·soat | 6 |
| Invertor-zaryadlovchi | Victron MultiPlus-II 48/3000 | 3 kVA, 230 V, tarmoq kirishi | 1 |
| LED yoritgich | 50 Vt, 0–10 V dimming | IP66 | 30 |

## Boshqaruv blokining apparat qismi

Boshqaruv blokining elektr ulanish sxemasi 2-rasmda ko‘rsatilgan. ESP32 ning deyarli barcha interfeyslari ishlatilgan: I²C orqali BH1750 yorug‘lik sensori va DS3231 real vaqt soati; 1-Wire orqali DS18B20 harorat sensorlari; TWAI kontrolleri va SN65HVD230 drayveri orqali akkumulyator BMS (500 kbit/s); UART orqali PZEM-004T energiya hisoblagichi va SIM800L GSM moduli. Kontaktorlar ULN2003A orqali boshqariladi.




**2-rasm.** ESP32 asosidagi boshqaruv blokining elektr ulanish sxemasi

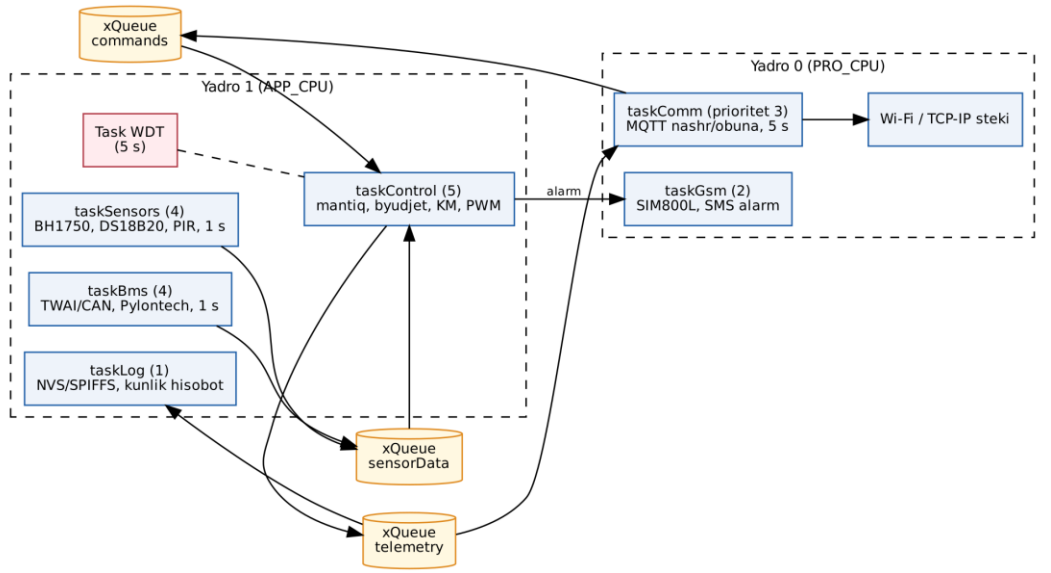
Dimming signali LEDC moduli hosil qilgan 1 kGts PWM signalni LM358 operatsion kuchaytirgichida filtrlash va kuchaytirish orqali 0–10 V ga aylantiriladi:

$$U_{chiq} = D \cdot U_{3,3} \cdot (1 + R_2/R_1) = D \cdot 3{,}3 \cdot (1 + 20{,}3/10) \approx 10 \cdot D, V, \quad (1)$$

bu yerda D — PWM to‘ldirish koeffitsiyenti.

## Dasturiy ta’minot

Dasturiy ta’minot FreeRTOS asosida yaratilgan va vazifalar ikki yadroga taqsimlangan (3-rasm). 1-yadroda o‘lchash, BMS ma’lumotlarini o‘qish va boshqaruv algoritmi, 0-yadroda Wi-Fi, MQTT va GSM aloqasi ishlaydi. Shu tufayli aloqa uzilganda ham yoritishni boshqarish to‘xtamaydi. Vazifalar xQueue navbatlari orqali bog‘lanadi, Task WDT osilib qolishni nazorat qiladi. Holat ma’lumotlari har 5 s da MQTT protokoli bo‘yicha dispetcherlik serveriga uzatiladi [5].




**3-rasm.** Dasturiy ta’minotning FreeRTOS asosidagi arxitekturasi

## TRACE MODE 6 muhitida SCADA-tizim

TRACE MODE 6 loyihasi RTM_1 tugunidan iborat bo‘lib, unda Techno ST tilidagi boshqaruv dasturi (algoritm va ob’ekt modeli) va operator ekrani joylashgan. Dastur 16 ta chiquvchi argument hosil qiladi; ular ekran argumentlariga bog‘langan.

Operator ekrani ikki qismdan iborat. Chap tomonda 15 ta matnli element raqamli ko‘rsatkichlarni beradi. Pastki va o‘ng qismda esa rasmli mnemosxema joylashgan: quyosh paneli, akkumulyator, invertor, LED yoritgichlar, tarmoq tayanchi

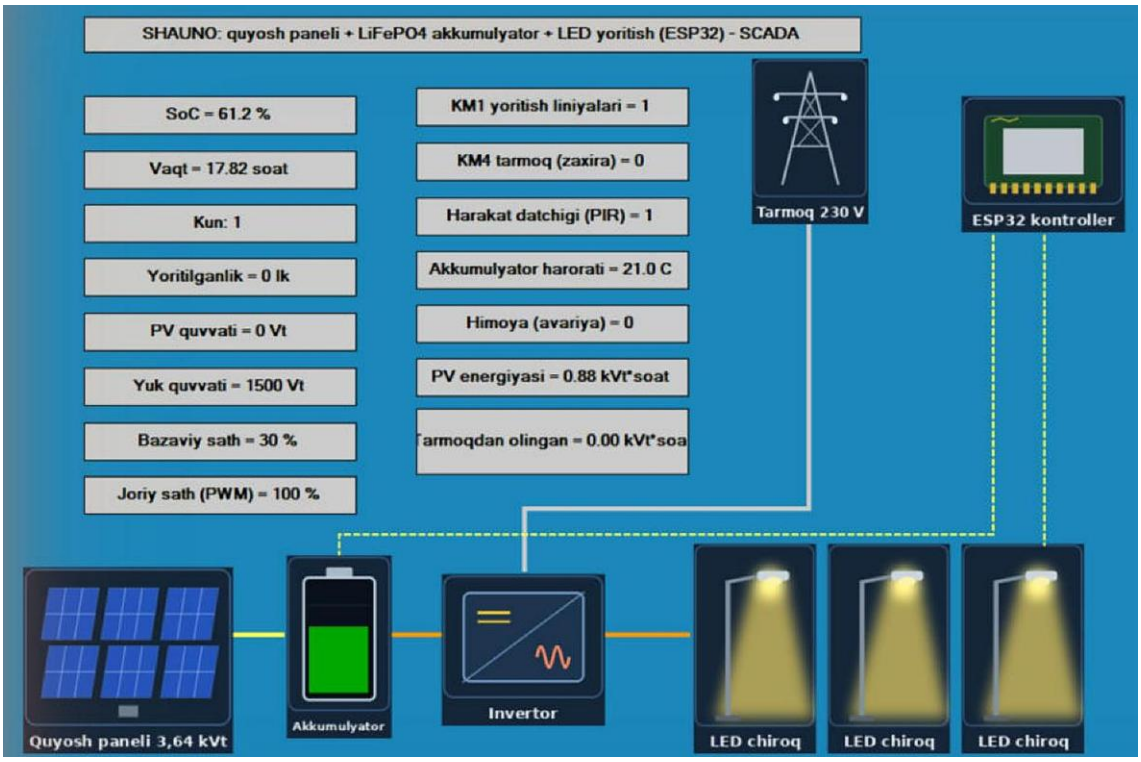
va ESP32 tasvirlari muallif tomonidan chizilgan va loyiha tasvirlar kutubxonasiga import qilingan. Elementlar dastur argumentlariga quyidagicha bog‘langan:

– yoritgichlarning yongan holat tasviri «Видимость» xossasi orqali KM1 argumentiga bog‘langan (KM1 = 1 da ko‘rinadi);

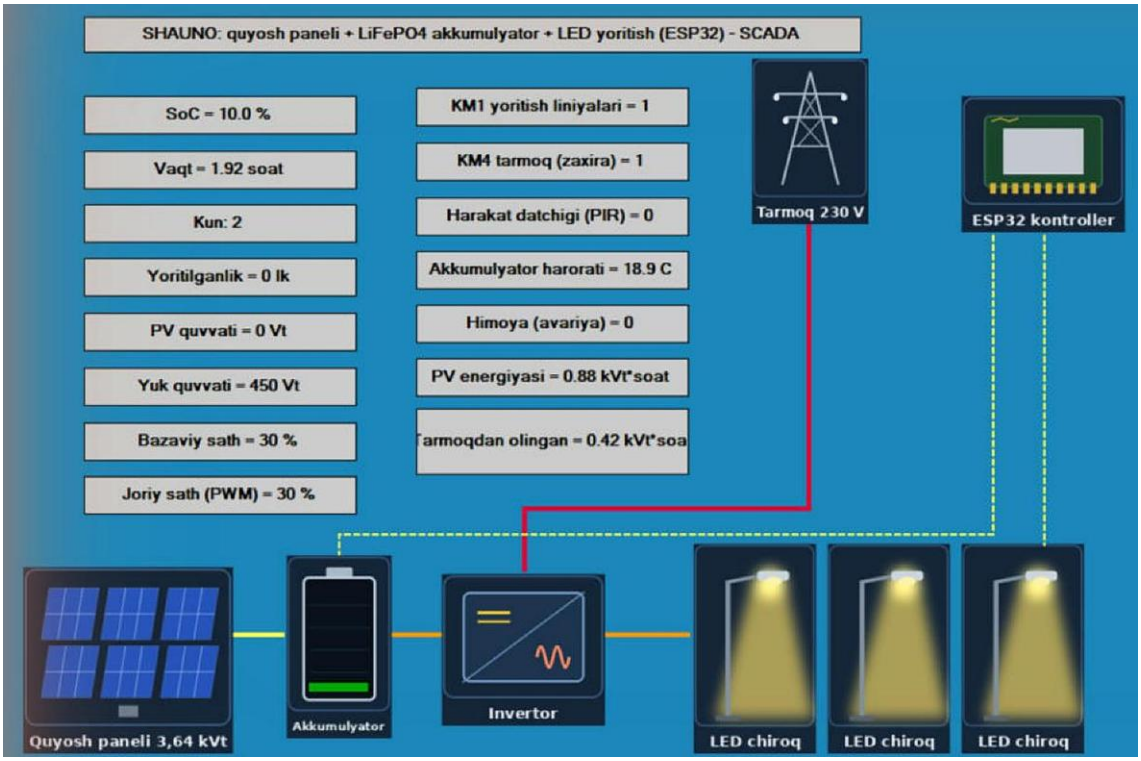
– akkumulyator ichidagi ustunga «Масштабировать» animatsiyasi berilgan: SoC = 0–100 % ga mos ravishda balandligi 0–100 % ga o‘zgaradi;

– tarmoq liniyasining rangi KM4 argumentiga bog‘langan: KM4 = 0 da kulrang, KM4 = 1 da qizil.

Loyiha TRACE MODE profilerida boshlang‘ich zaryad 60 % bo‘lgan qishki sutka uchun sinovdan o‘tkazildi. Kechki va tarmoqqa o‘tish holatlari 4- va 5-rasmlarda, asosiy qiymatlar 2-jadvalda keltirilgan.




**4-rasm.** Profilerdagi kechki rejim: KM1 = 1, yoritgichlar yongan, yuk 1 500 Vt




**5-rasm.** Akkumulyator zaryadi 10 % ga yetganda tarmoqqa o‘tish: KM4 = 1, tarmoq liniyasi qizil

*2-jadval*

**TRACE MODE 6 profilerida olingan sinov natijalari**

| Rejim | Vaqt, soat | SoC, % | $P_{PV}$, Vt | $P_{yuk}$, Vt | PWM, % | KM1 | KM4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kunduz | 15,12 | 60,5 | 768 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Kechqurun | 17,82 | 61,2 | 0 | 1 500 | 100 | 1 | 0 |
| Tun, harakat yo‘q | 23,90 | 14,0 | 0 | 450 | 30 | 1 | 0 |
| Tarmoqqa o‘tish | 1,92 (2-kun) | 10,0 | 0 | 450 | 30 | 1 | 1 |

Sinov natijalari tizimning barcha asosiy funksiyalari to‘g‘ri bajarilishini tasdiqlaydi: kunduzi PV energiyasi akkumulyatorga yo‘naltiriladi; qorong‘ilashganda yoritgichlar avtomatik yoqiladi; 23:00 dan keyin yuk 1 500 Vt dan 450 Vt gacha kamayadi; zaryad 10 % ga tushganda yuk tarmoqqa o‘tkaziladi. Rasmli

mnemosxemada bu holatlar raqamli qiymatlar bilan bir vaqtda ko‘rinarli tarzda aks etdi.

## Xulosa

1. ESP32-WROOM-32 asosida sensorlar, BMS (CAN), energiya hisoblagichi va ijro qurilmalarini birlashtiruvchi boshqaruv bloki ishlab chiqildi; ichki TWAI kontrolleri qo‘shimcha CAN moduliga ehtiyojni yo‘qotadi.

2. FreeRTOS asosidagi ikki yadroli dasturiy arxitektura aloqa va boshqaruv vazifalarini ajratib, aloqa uzilganda ham yoritishning uzluksizligini ta’minlaydi.

3. TRACE MODE 6 da rasmli operator mnemosxemasiga ega SCADA loyihasi yaratildi va profilerda to‘rt rejimda sinovdan o‘tkazildi. Loyiha real ob’ektga o‘tishda argumentlarni ESP32 dan MQTT yoki Modbus orqali keladigan kanallarga bog‘lash yo‘li bilan qo‘llanilishi mumkin.

## Adabiyotlar

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 22-avgustdagi PQ-4422-son qarori. — lex.uz/docs/4486125.
2. Masters G.M. Renewable and Efficient Electric Power Systems. 2nd ed. — Hoboken: Wiley-IEEE Press, 2013.
3. Espressif Systems. ESP32 Series Datasheet; ESP32 Technical Reference Manual. — Shanghai: Espressif Systems.
4. AdAstra Research Group. TRACE MODE 6: Integrated Development Environment. User Manual; Techno ST Language Reference. — Moscow: AdAstra Research Group.
5. OASIS. MQTT Version 5.0. OASIS Standard. — 2019.
6. Barry R. Mastering the FreeRTOS Real Time Kernel. — Real Time Engineers Ltd.
7. Pylontech. US3000C Product Manual / CAN-Bus Protocol. — Shanghai: Pylon Technologies Co.

8. Victron Energy. MultiPlus-II 48/3000/35-32 Manual. — Almere: Victron Energy B.V.
9. Ismanov M.A., Raximov R.G‘. Avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari. — Namangan, 2023.