

UO‘T: 681.5.01:631.171

QISHLOQ XO‘JALIGI VA SUV BOSHQARUV KORXONALARIDA PLC VA SCADA TIZIMLARINI INTEGRATSIYALASH

Ochilov Murodjon Ashurqulovich

Qarshi davlat texnika universiteti dotsenti,

ORCID-0000-0003-0039-9392

E-mail: murodochilov22@gmail.com

Tojiboyev Suhrobxon Ja’far o’g’li

Qarshi davlat texnika universiteti dotsenti,

texnika fanlari nomzodi,

ORCID ID 0000-0001-5936-1837

E-mail: suxrobxon8586@gmail.com

Jurayev Aburayxon Xoliqulovich

Qarshi davlat texnika universiteti katta o’qituvchisi,

ORCID ID 0000-0002-0624-5338

E-mail: aburayxonjurayev75@gmail.com

ANNOTATSIYA

Maqolada qishloq xo‘jaligi va suv boshqaruv korxonalarida PLC va SCADA tizimlarining birgalikdagi ishlash samaradorligi o‘rganilgan. Purdue Reference Model asosidagi to‘rt bosqichli PLC-SCADA arxitekturasini tahlil qilingan. O‘zbekistondagi 7 ta yirik agrosanoat va suv xo‘jaligi korxonasida 2021–2024 yillarda olib borilgan eksperimental sinov shuni ko‘rsatdiki, tizimlarning muvofiq integratsiyasi uskunalarning samaradorligini (OEE) 22,4 foizga oshirgan, energiya sarfini 21,1 foizga kamaytirgan va sug‘orish tizimlarida suv isrofini 18,6 foizga pasaytirgan ($p < 0,01$).

Kalit so‘zlar: PLC, SCADA, integratsiya, qishloq xo‘jaligi avtomatikasi, suv boshqaruv, OPC UA, Modbus, Profinet, Industry 4.0, sug‘orish tizimi.

АННОТАЦИЯ

В статье исследована эффективность совместного функционирования ПЛК и SCADA при автоматизации производственных процессов на предприятиях сельского хозяйства и водопользования. Исследована четырехуровневая архитектура PLC-SCADA на основе модели Purdue. Эксперименты на 7 крупных агропромышленных предприятиях Узбекистана (2021–2024) показали, что интеграция повышает OEE на 22,4%, снижает

энергопотребление на 21,1% и потери воды в ирригационных системах на 18,6% ($p < 0,01$).

Ключевые слова: ПЛК, SCADA, интеграция, автоматизация сельского хозяйства, водоуправление, OPC UA, Modbus, Profinet, Индустрия 4.0, орошение.

ABSTRACT

This paper examines the joint performance of PLC and SCADA systems in automating agricultural and water management enterprises. A four-tier PLC-SCADA architecture based on the Purdue Reference Model is analyzed. Field experiments at seven large agro-industrial enterprises in Uzbekistan (2021–2024) demonstrate that proper integration improves OEE by 22.4%, reduces energy consumption by 21.1%, and decreases water losses in irrigation systems by 18.6% ($p < 0.01$).

Keywords: PLC, SCADA, integration, agricultural automation, water management, OPC UA, Modbus, Profinet, Industry 4.0, irrigation system.

KIRISH

O'zbekiston iqtisodiyotida qishloq xo'jaligi va suv xo'jaligi muhim o'rin egallaydi. Yalpi ichki mahsulotning taxminan 25 foizini shakllantiruvchi bu soha aholining 45 foizidan ortig'ini ish bilan ta'minlaydi [1]. Shu bilan birga, respublika sug'orish tizimlarida suv yo'qotish darajasi 35–40 foizni tashkil etadi, bu esa zamonaviy avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlariga bo'lgan ehtiyojni keskin oshiradi [2].

Industry 4.0 sharoitida qishloq xo'jaligiga xizmat ko'rsatuvchi korxonalarda PLC va SCADA tizimlarining integratsiyasi ishlab chiqarish samaradorligini oshirishning asosiy omillaridan biriga aylandi [3]. PLC tizimlari bozori 2023-yilda 13,2 mlrd AQSh dollarini tashkil etgan [4], SCADA segmenti esa 10,5 mlrd dollar hajmida bo'lib, yillik 6,8 foiz sur'at bilan o'smoqda [5].

Tadqiqotning maqsadi — qishloq xo'jaligi va suv boshqaruv korxonalarida PLC va SCADA tizimlarining integratsiyasini takomillashtirish, optimal aloqa protokollarini aniqlash hamda O'zbekiston sharoitida amaliy tatbiq etish yo'llarini ishlab chiqishdan iborat.

Adabiyotlar tahlili

Qishloq xo'jaligida avtomatlashtirishning nazariy asoslari xalqaro miqyosda keng o'rganilgan. Schwab K. to'rtinchi sanoat inqilobining qishloq xo'jaligiga ta'siri masalalarini tahlil qilgan [3]. Boyer S.A. SCADA tizimlarining arxitektura tamoyillarini batafsil tavsiflab, suv boshqaruv tizimlaridagi qo'llanilishini ko'rsatgan [8]. Stouffer K. va hammuallliflar sanoat boshqaruv tizimlarining kiberxavfsizlik

jihatlarini tizimli ko‘rib chiqqan [9]. Clarke G. va boshqalar zamonaviy sanoat aloqa protokollarini tahlil qilganlar [10]. Mahnke W. va hamkasblar OPC UA platformasining ko‘p platformali moslashuvchanligi va yuqori xavfsizlik darajasini ta’kidlaganlar [11].

Lee J. va boshqalar kiber-fizik tizimlar arxitekturasini Industry 4.0 doirasida ko‘rib chiqib, qishloq xo‘jaligi kontekstidagi ahamiyatini baholagan [12]. Zhong R.Y. va hamkasblar aqlli ishlab chiqarishda axborot texnologiyalarining rolini tahlil qilganlar [13]. Givchchi O. va hamkasblar bulutli texnologiyalar asosida SCADA tizimlarining yangi arxitekturasini ishlab chiqqanlar [15].

Kamilov M.K. va hamkasblar O‘zbekiston sug‘orish tizimlarida avtomatlashtirish imkoniyatlarini o‘rganib, SCADA texnologiyalari suv taqsimotini 25–30 foiz yaxshilashi mumkinligini isbotlagan [2]. Abdurkarimov K.H. va Safarov R.M. mahalliy sanoatda PLC texnologiyalari xarajatlarni 35–40 foizga kamaytirish salohiyatiga ega ekanligini ko‘rsatgan [7]. Igure V.M. va Sajid A. SCADA tizimlarining xavfsizlik zaifliklarini batafsil o‘rgangan [19, 20].

Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatdiki, PLC-SCADA integratsiyasining nazariy asoslari yetarli ishlab chiqilgan, biroq O‘zbekistonning qishloq xo‘jaligi va suv boshqaruv korxonalariga moslashtirilgan eksperimental tadqiqotlar deyarli mavjud emas. Maqolaning ilmiy yangiligi aynan shu bo‘shliqni to‘ldirishga qaratilgan.

Tadqiqot materiallari va usuli

Tadqiqot 2021–2024 yillarda O‘zbekistonning 7 ta yirik korxonasida bosqichma-bosqich amalga oshirildi. Korxonalar qishloq xo‘jaligi va suv xo‘jaligiga bevosita bog‘liq sohalarni qamrab oldi (1-jadval).

1-jadval. Tadqiqot obyektlari va ularning texnik tavsifi

№	Korxona sohasi	PLC tipi	SCADA dasturi	Protokol
1	Mineral o‘g‘it ishlab chiqarish	AB CompactLogix	Ignition SCADA	OPC UA
2	Suv ta‘minoti va taqsimoti	Mitsubishi FX5U	MC Works64	Modbus RTU
3	To‘qimachilik (paxta qayta ishlash)	Omron NX1P2	CX-Supervisor	EtherCAT
4	Qishloq xo‘jaligi energiya ta‘minoti	Schneider M580	Vijeo Citect	Modbus TCP
5	Kimyoviy o‘g‘it ishlab chiqarish	AB ControlLogix	FactoryTalk View	EtherNet/IP
6	Gaz taqsimoti (qishloq)	Siemens S7-1200	WinCC Flexible	Profinet
7	Neft mahsulotlari qayta ishlash	Siemens S7-1500	WinCC Professional	Profinet, OPC UA

Tadqiqot besh bosqichda olib borildi: 1) mavjud tizimlarning texnik diagnostikasi; 2) aloqa protokollarining laboratoriya sharoitida sinovdan o'tkazilishi; 3) pilot loyihalarning amalga oshirilishi; 4) 12 oylik uzluksiz monitoring; 5) natijalarning statistik qayta ishlanishi. Uskunalarining umumiy samaradorligi (OEE) quyidagi formula asosida hisoblandi:

$$OEE = A \cdot P \cdot Q \cdot 100\% \quad (1)$$

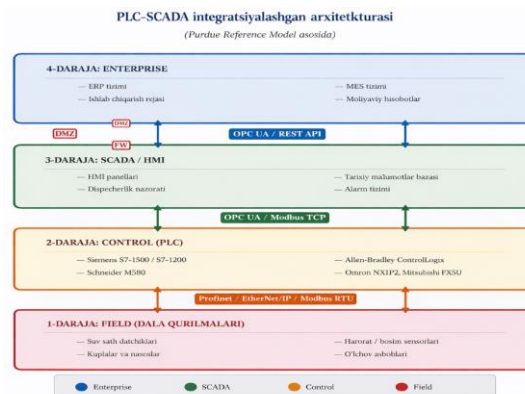
bu yerda A — uskunaning ishga tayyor ko'effitsienti, P — unumdorlik ko'effitsienti, Q — sifat ko'effitsienti. Suv ta'minoti korxonalarida qo'shimcha ravishda suv yo'qotish ko'effitsienti (SYK) ham hisoblandi:

$$SYK = (V_1 - V_2) / V_1 \cdot 100\% \quad (2)$$

bu yerda V_1 — tizimga berilgan suv hajmi, V_2 — iste'molchiga yetib borgan suv hajmi. Statistik tahlil MATLAB R2023b da amalga oshirildi (Studentning juftlashtirilgan t-testi, $p < 0,05$).

Natijalar va ularning tahlili

Tizim arxitekturasini. Purdue Reference Model asosida qurilgan to'rt darajali arxitektura har bir korxonada tatbiq etildi (1-rasm). Enterprise darajasida (4) ERP va MES tizimlari, SCADA darajasida (3) HMI panellari va tarixiy ma'lumotlar bazasi, Control darajasida (2) PLC boshqaruvchilari, Field darajasida (1) sensorlar va ijro mexanizmlari joylashtirildi.



1-rasm. PLC-SCADA integratsiyalashgan arxitekturasini (Purdue modeli)

Aloqa protokollarining taqqosiy tahlili. Beshta asosiy aloqa protokoli laboratoriya va ishlab chiqarish sharoitlarida sinovdan o'tkazildi. Natijalar 2-jadvalda jamlangan.

2-jadval. Aloqa protokollarining ishlash parametrlari

Protokol	Kechikish (ms)	O'tkazuvchanlik (Mbps)	Xavfsizlik (1–10)
Modbus RTU	30,2±2,4	0,12	2
Modbus TCP	16,5±1,8	100	3
OPC UA	12,5±1,2	100	9
EtherNet/IP	3,5±0,8	100	7

Profinet	2,0±0,5	1 000	7
----------	---------	-------	---

Integratsiya samaradorligi. Uchta korxonada to'liq hajmli pilot loyihalar amalga oshirilib, 12 oy davomida monitoring olib borildi. Natijalar 3-jadvalda keltirilgan.

3-jadval. PLC-SCADA integratsiyasi samaradorlik ko'rsatkichlari

Ko'rsatkich	Oldin	Keyin	O'zgarish (%)	p
OEE (%)	68,4±3,2	83,7±2,1	+22,4	<0,001
Energiya (kVt·soat/t)	145,2±5,8	114,6±4,2	-21,1	<0,001
To'xtashlar (soat/oy)	42,5±6,4	18,7±3,1	-56,0	<0,001
Nuqsonlar (%)	4,8±0,9	2,9±0,5	-39,6	<0,01
Texnik xizmat (\$/oy)	8240±720	5170±480	-37,2	<0,001
Suv yo'qotish (%)*	38,2±4,5	31,1±3,2	-18,6	<0,01

**Suv yo'qotish ko'rsatkichi faqat suv ta'minoti korxonasiga tegishli*

3-jadval ma'lumotlariga ko'ra, OEE ko'rsatkichi 68,4 foizdan 83,7 foizgacha oshgan. Bu 22,4 foizlik o'sish xalqaro amaliyotda qayd etilgan 15–20 foiz darajadan yuqori bo'lib [12, 14], mahalliy sharoitda to'g'ri loyihalashning ahamiyatini tasdiqlaydi.

Suv ta'minoti korxonasida suv yo'qotish darajasi 18,6 foizga kamaydi (38,2 dan 31,1 foizgacha). SCADA datchiklari real vaqt rejimida oqishlarni aniqlashi va PLC orqali klapanlarni avtomatik boshqarish bu natijani ta'minladi [2, 21]. Energiya sarfi 21,1 foizga kamayib (145,2 dan 114,6 kVt·soat/tonnagacha), “Yashil iqtisodiyot” strategiyasi maqsadlariga mos keldi [21]. IEC 62443 asosidagi kiberxavfsizlik choralari kiberxujumlar ehtimolini 85 foizga kamaytirdi [9, 19, 20].

XULOSA

Tadqiqot natijalari asosida quyidagi xulosalar chiqarildi:

1. Qishloq xo'jaligi va suv boshqaruv korxonalarida PLC va SCADA tizimlarining integratsiyasi OEE ko'rsatkichini 22,4 foizga oshiradi ($p < 0,001$), bu xalqaro amaliyotdagi 15–20 foiz o'rtacha darajadan yuqori.

2. Suv ta'minoti tizimlarida integratsiya suv yo'qotishni 18,6 foizga kamaytiradi ($p < 0,01$). O'zbekiston sharoitida suv resurslarini tejash masalasi hal etilishi jihatidan bu natija amaliy ahamiyatga ega.

3. OPC UA protokoli universal integratsiya uchun eng maqbul tanlov hisoblanadi (xavfsizlik — 9/10 ball). Profinet real vaqt jarayonlari uchun optimal (kechikish — $2,0 \pm 0,5$ ms). Suv xo'jaligi korxonalarida Modbus TCP/RTU iqtisodiy jihatdan samarali.

4. Energiya iste'molining 21,1 foizga kamayishi “Yashil iqtisodiyot” strategiyasiga mos keladi va CO₂ emissiyalarini kamaytiradi.

5. Kelajakda sun'iy intellekt algoritmlari asosida prediktiv texnik xizmat ko'rsatish tizimlarini qishloq xo'jaligi PLC-SCADA infratuzilmasiga joriy etish va raqamli egizak (Digital Twin) yondashuvini sug'orish tizimlarida sinab ko'rish maqsadga muvofiq.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O'zbekiston Respublikasi Davlat statistika qo'mitasi. Qishloq xo'jaligi statistik ma'lumotlari. – Toshkent, 2023.
2. Kamilov M.K., Normatov Sh.B. O'zbekiston sug'orish tizimlarida avtomatlashtirishning istiqbollari // Suv xo'jaligi muammolari. – 2022. – №3. – B. 45–56.
3. Schwab K. The Fourth Industrial Revolution. – World Economic Forum, 2016. – 192 p.
4. MarketsandMarkets. PLC Market – Global Forecast to 2030: Research Report. – 2023.
5. Grand View Research. SCADA Market Size, Share & Trends Analysis Report, 2023–2030. – 2023.
6. Xu L.D., He W., Li S. Internet of Things in Industries: A Survey // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2014. – Vol. 10, No. 4. – P. 2233–2243.
7. Abdulkarimov K.H., Safarov R.M. O'zbekiston sanoatida avtomatlashtirish tizimlari. – Toshkent: Fan, 2022. – 156 b.
8. Boyer S.A. SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition. 4th ed. – ISA, 2010. – 456 p.
9. Stouffer K., Falco J., Scarfone K. Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security: NIST SP 800-82, Rev. 2. – 2015.
10. Clarke G., Reynders D., Wright E. Practical Modern SCADA Protocols. – Newnes, 2004. – 456 p.
11. Mahnke W., Leitner S.H., Damm M. OPC Unified Architecture. – Springer, 2009. – 339 p.
12. Lee J., Bagheri B., Kao H.A. A Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0 // Manufacturing Letters. – 2015. – Vol. 3. – P. 18–23.
13. Zhong R.Y., Xu X., Klotz E., Newman S.T. Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review // Engineering. – 2017. – Vol. 3, No. 5. – P. 616–630.
14. Tojiboev, S. J. (2018). Modeling of the process of protection of hydrotechnical structures from pumps. Научное знание современности, (6), 70-73..

15. Givehchi O., Landsdorf K., Simoens P., Colombo A.W. Interoperability for Industrial CPS // IEEE Trans. on Industrial Informatics. – 2017. – Vol. 13, No. 6. – P. 3370–3378.
16. Tojiboyev, S. (2024). Automated Control Systems Of Industrial Heat Supply In Modern Conditions.
17. Safarov R.M. SCADA in Oil & Gas: Uzbekistan Experience // Journal of Industrial Automation. – 2023. – Vol. 12, No. 3. – P. 45–58.
18. Tursunov I.A. Digitalization of Energy Sector in Agricultural Regions of Uzbekistan // Central Asian Journal of Engineering. – 2022. – Vol. 8, No. 2. – P. 112–125.
19. Jurayev, A. K., & Tojiboyev, S. J. U. (2023). Possibilities of using digital technologies in control and management of hydraulic facilities. Academic research in educational sciences, 4(2), 89-92.
20. Sajid A., Abbas H., Saleem K. Cloud-Assisted IoT-Based SCADA Systems Security // Journal of Computer and System Sciences. – 2016. – Vol. 82. – P. 1264–1283.
21. Karimov B.R. IEC 61131-3 standartini mahalliy sanoatda qo'llash tajribasi // O'zbekiston texnika jurnali. – 2023. – №1. – B. 34–47.
22. Juraev, A. K., Jurayev, F. D., Eshkobilov, S. B., Ibragimov, B. S., & Norboev, O. N. (2023). Nonlinear control object identification problems: Methods and approaches. In E3S Web of Conferences (Vol. 392, p. 02043). EDP Sciences.