

QISHLOQ XO'JALIGIDA AVTOMATLASHTIRILGAN TIZIMLARNING NAZARIY ASOSLARI

Ermanov Farrux

**Kadrlar malakasini oshirish va statistik tadqiqotlar instituti mustaqil
izlanuvchisi**

Annotatsiya

Mavzu qishloq xo'jaligida avtomatlashtirilgan tizimlarning nazariy asoslarini yoritadi. Tahlilda kiber-fizik tizimlar, IoT sensor tarmoqlari, raqamli tvnlar, mashinaviy o'rganish va optimallashtirish nazariyasi kabi konseptlar o'zaro integratsiyada ko'rib chiqiladi. Boshqaruv nazariyasining qayta aloqa, PID va modelga asoslangan prediktiv boshqaruv yondashuvlari agrotexnik jarayonlarda parametrlarni barqaror ushlab turish hamda resurslardan tejamkor foydalanish imkonini beradi. Ma'lumotlar oqimining sensor-edge-bulut arxitekturasini real vaqt monitoringi, anomaliyalarni erta aniqlash va qarorlarni qo'llab-quvvatlashni ta'minlaydi. Nazariy model va algoritmlar ekin parvarishi, sug'orish, oziqlantirish va logistika bosqichlarida mehnat unumdorligi, hosildorlik va sifat ko'rsatkichlarini oshirishga xizmat qiladi. Tadqiqot natijalari sifatida metrikalar tizimi, xavf va kiberxavfsizlikni boshqarish tamoyillari hamda iqtisodiy samaradorlikni baholash mezonlari taklif etiladi; amaliyotda moslashtirilgan arxitekturalar va standartlashtirilgan interfeyslar joriy etish uchun metodik asos yaratadi.

Аннотация

Тема раскрывает теоретические основы автоматизированных систем в сельском хозяйстве. В анализе рассматриваются во взаимной интеграции киберфизические системы, сенсорные сети Интернета вещей (IoT), цифровые двойники, машинное обучение и теория оптимизации. Подходы теории управления — обратная связь, PID и модельно-предиктивное управление (MPC) — позволяют поддерживать стабильность параметров агротехнических процессов и обеспечивать ресурсосбережение. Архитектура потоков данных «сенсоры – периферия (edge) – облако» обеспечивает мониторинг в реальном времени, раннее выявление аномалий и поддержку принятия решений. Теоретические модели и алгоритмы на этапах ухода за посевами, орошения, внесения питательных веществ и логистики способствуют росту производительности труда, урожайности и качественных показателей. В качестве результатов исследования предлагаются система метрик, принципы

управления рисками и кибербезопасностью, а также критерии оценки экономической эффективности; создаётся методическая основа для внедрения адаптированных архитектур и стандартизированных интерфейсов.

Annotation

The study elucidates the theoretical foundations of automated systems in agriculture. The analysis considers, in an integrated manner, cyber-physical systems, IoT sensor networks, digital twins, machine learning, and optimization theory. Control-theory approaches—feedback, PID, and model-predictive control (MPC)—enable maintaining the stability of agrotechnical process parameters and the efficient use of resources. A sensor–edge–cloud data-flow architecture ensures real-time monitoring, early anomaly detection, and decision support. Theoretical models and algorithms across crop care, irrigation, fertilization, and logistics increase labor productivity, yields, and quality indicators. The research proposes a system of metrics, principles for risk and cybersecurity management, and criteria for evaluating economic efficiency; it also provides a methodological basis for implementing adapted architectures and standardized interfaces.

Kalit soʻzlar

avtomatlashtirilgan agrotexnik tizimlar, kiber-fizik tizimlar, IoT sensor tarmoqlari, raqamli egizaklar, SCADA/PLC, real vaqt monitoring, prediktiv boshqaruv (MPC) va PID, bulutli hisoblash, maʼlumotlar integratsiyasi va analitikasi, mashinaviy oʻrganish.

Ключевые слова

автоматизированные агротехнические системы, киберфизические системы, сенсорные сети Интернета вещей, цифровые двойники, SCADA/PLC, мониторинг в реальном времени, предиктивное управление (MPC) и ПИД-регулирование, облачные вычисления, интеграция и аналитика данных, машинное обучение.

Keywords

automated agrotechnical systems, cyber-physical systems, IoT sensor networks, digital twins, SCADA/PLC, real-time monitoring, predictive control (MPC) and PID, cloud computing, data integration and analytics, machine learning.

Kirish

Oʻzbekiston qishloq xoʻjaligini jadal rivojlantirish milliy ijtimoiy-iqtisodiy ustuvor vazifalardan biri sanaladi. Yer maydonlari hamda suv resurslarining cheklanganligi sharoitida samaradorlikni faqat tabiiy resurslarni koʻpaytirish orqali taʼminlash imkoni torayib bormoqda; yechimlar zamonaviy, resurs tejovchi va maʼlumotga tayanuvchi texnologiyalarni keng joriy etishni talab etadi. Shu nuqtai nazardan, qishloq xoʻjaligi jarayonlarini axborotlashuv, raqamlashtirish va kompleks boshqaruv platformalari orqali avtomatlashtirish iqtisodiy samaradorlik, barqarorlik va raqobatdoshlikning asosiy drayveriga aylanmoqda.

Raqamli texnologiyalarni amaliy joriy etish qatlamida IoT datchiklari, sun'iy yo'ldosh kuzatuvlari va dronlar yordamida dala, suv va o'simlik holati bo'yicha real vaqt rejimida ma'lumot yig'iladi; sensor–edge–bulut arxitekturasi orqali bu oqimlar integratsiya qilinadi va tahlil etiladi. Boshqaruv nazariyasining qayta aloqa, PID hamda modelga asoslangan prediktiv boshqaruv (MPC) yondashuvlari agrotexnik jarayonlarda parametrlarning barqarorligini saqlash, suv va energiya sarfini optimallashtirish, hosildorlik va sifat ko'rsatkichlarini oshirishga xizmat qiladi. Natijada dala darajasidan tuman va viloyat miqyosigacha bo'lgan boshqaruvda monitoring, anomaliyalarni erta aniqlash va qarorlarni qo'llab-quvvatlash mexanizmlari kuchayadi.

Mazkur izlanishning maqsadi – qishloq xo'jaligida avtomatlashtirilgan tizimlarning nazariy asoslarini tizimli yoritish, axborot oqimlari va boshqaruv algoritmlarini yagona metodik asosda shakllantirish hamda amaliy joriy etish uchun ilmiy-texnik talablarni aniqlashdan iborat. Vazifalar tarkibiga axborotlashuv va raqamlashtirish konseptlarining agrosohadagi o'rni va o'zaro bog'liqligini asoslash, IoT–dron–sun'iy yo'ldosh ma'lumotlarini integratsiyalovchi arxitekturani ta'riflash, PID va MPC kabi nazorat usullarining qo'llanish shartlarini belgilash, shuningdek, samaradorlikni o'lchash uchun metrikalar (KPI, ROI) hamda xavf va kiberxavfsizlikni boshqarish tamoyillarini ishlab chiqish kiradi. Kutilayotgan ilmiy-amaliy natijalar O'zbekiston sharoitida moslashtirilgan arxitekturalar, standartlashtirilgan interfeyslar va ma'lumotlarga asoslangan boshqaruvni joriy etish uchun poydevor yaratadi.

Mavzuga oid adabiyotlar tahlili

Qishloq xo'jaligida avtomatlashtirilgan tizimlar bo'yicha xalqaro ilmiy izlanishlar so'nggi yillarda jadal rivojlandi va "aqlii dehqonchilik" paradigmasining nazariy poydevorini shakllantirdi. Kiber-fizik tizimlar va IoT sensor tarmoqlariga asoslangan arxitekturalar ishlab chiqarish jarayonlarini real vaqt rejimida kuzatish hamda boshqarish imkonini berishi bo'yicha ko'plab konseptual va amaliy tadqiqotlar e'lon qilingan. Raqamli egizaklardan foydalanish agrotexnik jarayonlarni modellashtirish, prognozlash va optimallashtirishda samarali vosita sifatida ko'rsatiladi; masofadan zondlash hamda UAV platformalaridan olingan ma'lumotlar esa dalaning fazoviy va vaqt bo'yicha o'zgaruvchanligini aniqlashda asosiy axborot manbai sifatida qo'llaniladi. Boshqaruv nazariyasida PID va modelga asoslangan prediktiv boshqaruv yondashuvlari sug'orish, mikroiklim va oziqlantirish sistemalarini barqaror rejimda ushlab turish uchun metodik asos sifatida asoslab berilgan. Data pipeline'larida sensor–edge–bulut integratsiyasi, SCADA/PLC bilan integratsiya va kiberxavfsizlik talablari bo'yicha ham keng qamrovli ishlanmalar mavjud; big data analitikasi va mashinaviy o'rganish algoritmlarining hosildorlik, resurs sarfi va fitosanitar xatarlarni prognozlashdagi roli bir qator sharh va metaanalizlarda yoritilgan.

O'zbekiston sharoitida so'nggi yillarda raqamli transformatsiya, suv resurslarini boshqarishning avtomatik tizimlari, daladan ma'lumot yig'ish va tahlil qilish, shuningdek, dron va sun'iy yo'ldosh ma'lumotlarini agrotexnik qarorlarga integratsiya qilish bo'yicha ilmiy-amaliy izlanishlar faollashdi. Amaliy jihatdan irrigatsiya samaradorligini oshirish, yopiq issiqxonalar monitoringi, differensial ishlov va o'g'itlash bo'yicha dastlabki tajribalar to'plandi. Biroq mavjud ishlarning aksariyatida

ma'lumotlar sifati va interoperabiliklik talablari yetarli darajada standartlashtirilmagan, arxitekturalar komponentlari o'rtasidagi integratsiya cheklangan, PID va MPC algoritmlarining mahalliy agroiklim sharoitlariga mos parametrizatsiyasi hamda ROI/KPI darajasida iqtisodiy baholash metodikasi to'liq ishlab chiqilmagan.

Shu bois mazkur tadqiqotning dolzarbligi kiber-fizik yondashuv, raqamli egizaklar va boshqaruv algoritmlarini yagona metodik asosda tizimlashtirish, sensor–edge–bulut arxitekturasini milliy sharoitga mos standartlar bilan integratsiyalash, shuningdek, xavf va kiberxavfsizlikni boshqarish hamda iqtisodiy samaradorlikni o'lchash mezonlarini ilmiy asoslash zaruratidan kelib chiqadi.

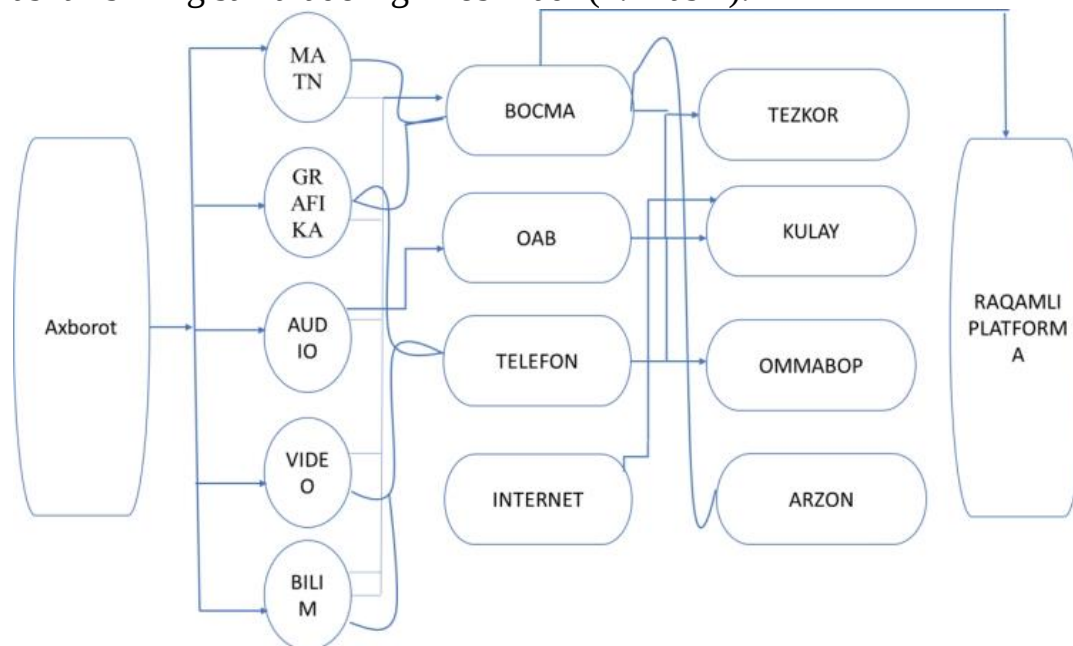
Tadqiqot metodologiyasi

Tadqiqotda tizimli yondashuv, tahliliy va qiyosiy metodlar asosida O'zbekiston sharoitida qishloq xo'jaligida avtomatlashtirilgan tizimlarning (IoT, SCADA/PLC, PID/MPC) joriy etilish darajasi va samaradorligi o'rganildi. Amaliy tahlillar uchun tanlab olingan issiqxona va ochiq maydon xo'jaliklari misolida sensor–edge–bulut arxitekturasini, dron/sun'iy yo'ldosh ma'lumotlari integratsiyasi hamda ishlab chiqarish ko'rsatkichlari bo'yicha KPI/ROI baholandi.

Tahlil va natijalar

Raqamli platformalar hozirgi kunda, Internet va raqamli platformalar orqali qishloq xo'jaligi mahsulotlarini boshqarish va ta'minot zanjirini avtomatlashtirish imkoniyatlarini yaratish mumkin bo'lmoqda.

Qishloq xo'jaligi raqamlashtirilishi bu sohadagi tashqi muhitning barcha elementlari bilan o'zaro bog'liqlikni talab qiladi. Ishlab chiqarish vositalari yetkazib beruvchilari, oziq-ovqat bozorlari, moliyaviy institutlar, davlat va mahalliy boshqaruv organlari, ilmiy va o'quv-ta'lim institutlari bilan integratsiyalashgan tizim yaratish raqamlashtirishning samaradorligini oshiradi (1.1 rasm).



1.1-rasm. Axborotlashtirishni taqdim qilish mexanizimini

1.1-rasmda axborotlashtirish jarayonining taqdim qilish mexanizmi ko'rsatilgan bo'lib, u axborotni turli ko'rinishlarda (matn, grafika, audio, video va bilim) yetkazish va undan samarali foydalanishni ta'minlash uchun zarur bo'lgan elementlarni o'z

ichiga oladi. Ushbu mexanizm qishloq xo'jaligi faoliyatida raqamli texnologiyalarni qo'llashda asosiy vosita sifatida ishlatilishi mumkun bo'ladi.

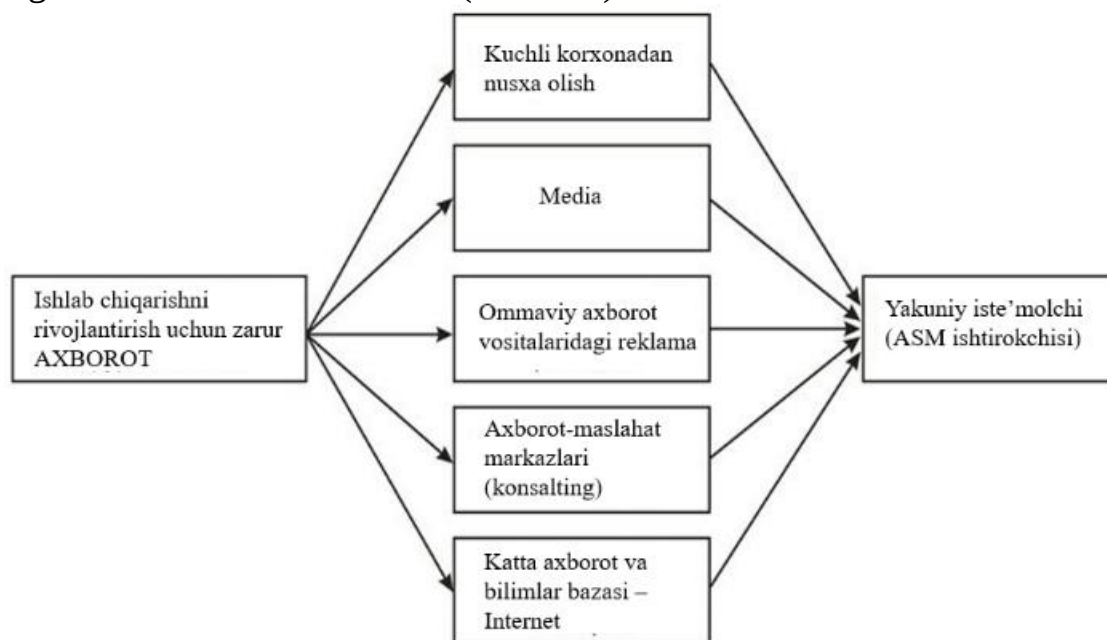
Shu bilan birga, qishloq xo'jaligi korxonalarida axborotning ikki ko'rinishi alohida ahamiyatga ega:

Obyektiv axborot – moddiy ob'ektlar va jarayonlarning fizik holati haqidagi ma'lumotlar.

Subyektiv axborot – inson ongi orqali shakllangan va ma'lumotning mazmunini ifodalovchi axborot.

Mazkur ma'lumotlar ishlab chiqarish jarayonlarini takomillashtirish va resurslardan samarali foydalanishni ta'minlashda asosiy o'rin tutadi. Axborotning qiymati esa uni boshqarish va maqsadli foydalanish jarayonlari bilan bevosita bog'liqdir.

Qishloq xo'jaligi korxonalarining axborotlashtirilishi va raqamlashtirilishi bu sohaning texnologik transformatsiyasiga olib keladi. Bu jarayonlar orqali ishlab chiqarish samaradorligini oshirish, qo'l mehnatini avtomatlashtirilgan tizimlar bilan almashtirish va ishlab chiqarish jarayonlarining iqtisodiy samaradorligini ta'minlashga erishiladi. Shu sababli, raqamli texnologiyalarni qishloq xo'jaligida qo'llash bugungi kunning muhim talablaridan biridir (1.2-rasm).



1.2 – rasm. Axborotni ishlab chiqarish jarayonida iste'molchiga yetkazish tizimi

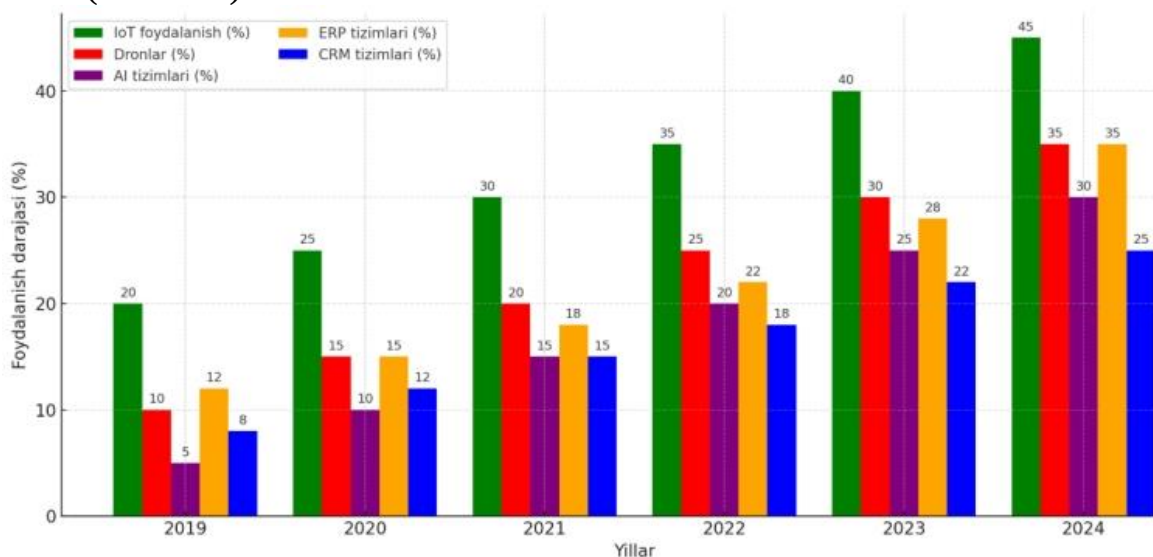
Mazkur diagramma ishlab chiqarishni rivojlantirish uchun zarur bo'lgan axborotning manbadan yakuniy iste'molchiga (ASM ishtirokchisi) yetkazilish tizimini ko'rsatadi. Ushbu tizim qishloq xo'jaligi yoki boshqa iqtisodiy sohalarda axborot almashuvining samarali tashkil etilishini ifodalaydi. Diagrammada axborot tarqatishning bir nechta asosiy kanallari aks ettirilgan bo'lib, ular ishlab chiqarish samaradorligini oshirishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Diagramma markazida "Ishlab chiqarishni rivojlantirish uchun zarur axborot" joylashgan. Ushbu axborot ishlab chiqarish jarayonlarini samarali boshqarish, resurslardan oqilona foydalanish va innovatsion texnologiyalarni joriy qilish bo'yicha muhim ma'lumotlarni o'z ichiga oladi. Axborotni tarqatish vositalari sifatida kuchli korxonalar tajribasini nusxa olish, ommaviy axborot vositalari, reklama, maslahat

markazlari va katta ma'lumotlar bazasi kabi kanallar foydalaniladi. Ushbu kanallar orqali axborotni tezkor, ommabop va qulay shaklda yakuniy iste'molchiga yetkazish ta'minlanadi.

Yakuniy iste'molchi sifatida qishloq xo'jaligi ishlab chiqarish ishtirokchilari, fermerlar, korxona rahbarlari va boshqa soha vakillari axborotni qabul qilib, o'z faoliyatini takomillashtirish va ishlab chiqarish jarayonlarini optimallashtirish uchun foydalanadilar. Axborotning to'g'ri yetkazilishi va undan samarali foydalanish natijasida ishlab chiqarish samaradorligi oshadi, raqobatbardoshlik mustahkamlanadi va resurslardan foydalanish darajasi yaxshilanishiga olib keladi.

Mazkur tizimning samarali ishlashi qishloq xo'jaligi sohasida zamonaviy boshqaruv usullarini qo'llash, yangi texnologiyalarni joriy etish va axborot almashuvini optimallashtirish orqali iqtisodiy samaradorlikni oshirishga xizmat qiladi. Diagramma axborot tarqatish jarayonlarining barcha bosqichlarini yoritadi va ularni yagona tizim sifatida bog'laydi. Shu sababli, mazkur tizim qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishida axborot almashuvini takomillashtirishda kerakli bo'lgan tizim deb hisoblashimiz mumkun (1.3-rasm).



1.3-rasm. Qishloq xo'jaligi korxonalarida raqamli texnologiyalardan foydalanish (%) 2019-2024 yillar kesimida

Rasmda qishloq xo'jaligi korxonalarida raqamli texnologiyalardan foydalanish darajasining 2019–2024 yillar oralig'ida qanday o'zgarishlarga uchragani aks ettirilgan. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, barcha texnologiyalar bo'yicha foydalanish ko'rsatkichlari izchil ravishda oshib bormoqda.

IoT texnologiyalari qishloq xo'jaligi sohasida yetakchi o'rin egallab, 2019-yilda 20% dan 2024-yilda 45% ga oshgan. Bu texnologiyalar resurslardan samarali foydalanish va jarayonlarni avtomatlashtirish imkonini beradi. Shuningdek, dronlardan foydalanish darajasi ham sezilarli ravishda o'sgan bo'lib, 10% dan 35% ga yetgan. Bu esa ekinlarni kuzatish, zararkunandalarni aniqlash va monitoring jarayonlarida dronlarning ahamiyatini ko'rsatadi.

AI tizimlaridan foydalanish 2019-yilda 5% ni tashkil etgan bo'lsa, 2024-yilda bu ko'rsatkich 30% ga yetgan. AI texnologiyalari hosildorlikni prognozlash, jarayonlarni optimallashtirish va boshqaruv tizimlarini avtomatlashtirishda muhim rol o'ynamoqda. ERP tizimlari 2019-yilda 12% dan 2024-yilda 35% ga yetib, korxona resurslarini

samarali boshqarishda keng qo'llanilgan. CRM tizimlari esa mijozlar bilan ishlashni yaxshilash maqsadida 2019-yilda 8% bo'lgan darajadan 2024-yilda 25% ga oshgan.

Mazkur tahlil shuni ko'rsatadiki, raqamli texnologiyalarning qishloq xo'jaligidagi qo'llanilishi ishlab chiqarish samaradorligini oshirish va raqobatbardoshlikni ta'minlashda muhim rol o'ynaydi. Ushbu o'sish dinamikasi qishloq xo'jaligida raqamli transformatsiya jarayonining jadal rivojlanayotganidan dalolat beradi.

Xulosa va takliflar

Avtomatlashtirilgan agrotexnik tizimlarning samarasi kiber-fizik yondashuvni, sensor–edge–bulut arxitekturasini va raqamli egizaklarga tayangan boshqaruv algoritmlarini yagona platformada uyg'unlashtirish bilan ta'minlanadi. IoT, UAV/DZZ va SCADA/PLC oqimlari sintez qilinganda jarayonlarning deterministik va stoxastik tarkibi ajraladi, PID hamda MPC yondashuvlari sug'orish, mikroiklim va oziqlantirishda parametrlarni cheklovlar ostida barqaror ushlab turadi. Bu integratsiya real vaqt monitoringi, anomaliyalarni erta aniqlash va qarorlarni qo'llab-quvvatlashni kuchaytirib, suv va energiya tejallishi, hosildorlik o'sishi hamda mehnat unumdorligining ortishi orqali ROI va payback ko'rsatkichlarini yaxshilaydi.

Nazariy modelni raqamli egizak ko'rinishida qurib, MPC optimallashtirish vazifasi orqali suv–energiya–hosildorlik muvozanatini boshqarish, identifikatsiyada state-space va Kalman filtridan foydalanish tavsiya etiladi. Interoperabiliklikka mos OPC UA/MQTT interfeyslari, feature store va MLOps sikli bilan birga ma'lumotlar sifati va metama'lumotlar siyosati joriy etilishi lozim. Kiberxavfsizlikda segmentatsiya, ruxsatlarni boshqarish va zaxira-tiklash rejasi “nol ishonch” tamoyiliga yaqinlashtiriladi. Natijalarni ishonchli baholash uchun randomizatsiyalangan blok yoki difference-in-differences dizayni qo'llanadi; KPI tarkibiga suv unumdorligi, energiya intensivligi, hosildorlik va sifat indeksi kiritilib, ROI va payback ssenariylari hisoblanadi. Joriy etish bosqichma-bosqich pilotlardan boshlanib, mahalliy servis va ehtiyot qismlar zanjiri, shuningdek, operatsion xodimlar uchun qisqa treninglar bilan birgalikda hududiy kengayishga o'tkaziladi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. Camacho E. F., Bordons C. (2007). Model Predictive Control (2-nashr). — London: Springer.
2. Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.-J. (2017). Big Data in Smart Farming: A Review. — Agricultural Systems, 153, 69–80-betlar.
3. Liakos K. G., Busato P., Moshou D., Pearson S., Bochtis D. (2018). Machine Learning in Agriculture: A Review. — Sensors, 18(8):2674.
4. FAO (2022). Digital Agriculture Transformation for Sustainable Rural Development. — Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. - <https://www.fao.org>.