ИНТЕЛЛЕКТУАЛ ДАТЧИКЛАР (SMART SENSORS) АСОСИДА ЎЛЧАШ ЖАРАЁНЛАРИНИ АВТОМАТЛАШТИРИШНИНГ КОНЦЕПТУАЛ МОДЕЛИ

Исмоилов Музаффар Исмоилович

“Ўзбекистон илмий-синов ва сифат назорати маркази” ДМ, эркин тадқиқотчи.

Аннотация. Ушбу мақола ишлаб чиқариш корхоналари сифат менежменти тизимларида ўлчаш жараёнларини интеллектуал датчиклар (smart sensors) асосида автоматлаштиришнинг концептуал моделини таклиф этади. Модель кибер-физик тизимлар (CPS) принципига асосланиб, тўрт қатламли тузилмага эга: физик қатлам (датчиклар), алоқа қатлами (IoT), маълумотлар қайта ишлаш қатлами (edge/cloud computing ва AI) ва сифат менежменти интеграция қатлами (ISO 9001 га мос рўйхатга олиш). Модель Ўзбекистон саноат корхоналари шароитига мослаштирилган бўлиб, арзон микроконтроллерлар (ESP32, Arduino) ва очиқ кодли технологиялар (MQTT, Python) орқали амалга оширилади. Симуляция ва пилот тажриба натижалари шуни кўрсатдики, модель реал вақтда маълумотларни 95% гача автомат рўйхатга олишни таъминлайди, носозликларни 85-90% аниқлик билан башорат қилади ва брак даражасини 15-25% га камайтиради. Мақола Industry 4.0 концепциясини ривожланаётган мамлакатларда қўллаш имкониятларини талқин қилади.

Калит сўзлар. интеллектуал датчиклар; smart sensors; ўлчаш жараёнлари; автоматлаштириш; сифат менежменти тизими; ISO 9001; кибер-физик тизимлар; CPS; Интернет нарсалар; IoT; предиктив таҳлил; Industry 4.0; Quality 4.0; рақамли трансформация; Ўзбекистон саноати; концептуал модель.

Abstract. This article proposes a conceptual model for automating measurement processes in manufacturing enterprise quality management systems based on smart sensors. The model is based on the principles of cyber-physical systems (CPS) and has a four-layer structure: the physical layer (sensors), the communication layer (IoT), the data processing layer (edge/cloud computing and AI), and the quality management integration layer (ISO 9001 compliant registration). The model is adapted to the conditions of industrial enterprises in Uzbekistan and is implemented using low-cost microcontrollers (ESP32, Arduino) and open-source technologies (MQTT, Python). Simulation and pilot experiment results show that the model can automatically register up to 95% of data in real time, predict faults with 85–90% accuracy, and reduce the defect rate by 15–25%. The article discusses the possibilities of applying the Industry 4.0 concept in developing countries.

ISSN 3030-3907

Keywords. smart sensors; measurement processes; automation; quality management system; ISO 9001; cyber-physical systems; CPS; Internet of Things; IoT; predictive analytics; Industry 4.0; Quality 4.0; digital transformation; Uzbek industry; conceptual model

Аннотация. В данной статье предлагается концептуальная модель автоматизации процессов измерения в системах управления качеством производственных предприятий на основе интеллектуальных датчиков. Модель основана на принципах кибер-физических систем (CPS) и имеет четырехслойную структуру: физический слой (датчики), коммуникационный слой (IoT), слой обработки данных (edge/cloud computing и ИИ) и слой интеграции управления качеством (регистрация в соответствии с ISO 9001). Модель адаптирована к условиям промышленных предприятий Узбекистана и реализуется с использованием недорогих микроконтроллеров (ESP32, Arduino) и открытых технологий (MQTT, Python). Результаты симуляции и пилотного эксперимента показывают, что модель обеспечивает автоматическую регистрацию до 95% данных в реальном времени, прогнозирование неисправностей с точностью 85–90% и снижение уровня брака на 15–25%. Статья рассматривает возможности применения концепции Industry 4.0 в развивающихся странах.

Ключевые слова. интеллектуальные датчики; smart sensors; процессы измерения; автоматизация; система управления качеством; ISO 9001; кибер-физические системы; CPS; Интернет вещей; IoT; предиктивная аналитика; Industry 4.0; Quality 4.0; цифровая трансформация; промышленность Узбекистана; концептуальная модель

КИРИШ

Ишлаб чиқариш корхоналарининг рақобатбардошлиги маҳсулот сифати ва жараёнлар самарадорлигига боғлиқ. Сифат менежменти тизимлари (ISO 9001 асосида) сифатни доимий яхшилашнинг асосий воситаси бўлса-да, Ўзбекистон саноатида ўлчаш ва назорат қилиш жараёнлари ҳали ҳам қўл меҳнатига асосланган. Бу маълумотларнинг кечикиб рўйхатга олиниши, инсон хатолари ва брак миқдорининг ортишига олиб келади.

Интеллектуал датчиклар (smart sensors) Industry 4.0 доирасида реал вақт ўлчаш, локал таҳлил ва предиктив назорат имконини беради. Хорижий тажрибада (Siemens, GE) бундай ечимлар бракни 20-30% га камайтириб, самарадорликни оширган (McKinsey & Company, 2023). Ўзбекистонда эса бу йўналишда маҳаллий шароитга мос моделлар етарли эмас.

Ушбу мақола интеллектуал датчиклар асосида ўлчаш жараёнларини автоматлаштиришнинг концептуал моделини таклиф этади. Модель

ISSN 3030-3907

Ўзбекистон корхоналари учун арзон ва мослашувчан ечим сифатида ишлаб чиқилган бўлиб, унинг тузилиши, қатламлари ва амалий қиймати талқин қилинади. Тадқиқот мақсади — модельнинг самарадорлигини симуляция орқали исботлаш ва сифат менежментини рақамлаштириш имкониятларини кўрсатиш.

МАВЗУГА ОИД АДАБИЁТЛАР ШАРҲИ

Интеллектуал датчиклар (smart sensors) асосида ўлчаш жараёнларини автоматлаштириш концептуал моделини ишлаб чиқиш соҳасидаги адабиётлар шарҳи шуни кўрсатадики, бу йўналиш Industry 4.0 ва Quality 4.0 концепцияларининг муҳим қисми ҳисобланади. Замонавий тадқиқотлар интеллектуал датчикларнинг реал вақт маълумот йиғиш, локал қайта ишлаш (edge computing) ва предиктив таҳлил имкониятларига урғу беради (Kagermann et al., 2013; McKinsey & Company, 2023).

Хорижий тадқиқотларда интеллектуал датчикларнинг сифат менежменти тизимларига интеграцияси кенг ўрганилган. Siemens ва GE корхоналари мисолида MindSphere ва Predix платформалари орқали датчиклар маълумотлари AI билан қайта ишланиб, носозликлар 20-30% га олдин башорат қилинади, яроқсизлик даражаси камаяди ва самарадорлик ошади (Siemens, 2023; GE Digital, 2024). Bosch ва Toyota тажрибасида IoT асосидаги датчиклар режасиз тўхташларни 25-45% га қисқартирган (Bosch IoT Suite, 2023). Бу тадқиқотлар концептуал моделларни юқори технологияли платформаларга асослайди, лекин ривожланаётган мамлакатлар шароитига мослаштириш масаласини етарлича ёритмайди.

Маҳаллий адабиётларда (Ўзбекистон) сифат менежменти ва ўлчаш усуллари асосан ISO 9001 ва метрология стандартлари доирасида ўрганилган (Исматуллаев et al., n.d, 2024). Интеллектуал датчиклар ва автоматлаштириш бўйича ишлар чекланган, асосан SCADA ва PLC тизимларига қаратилган. GM Uzbekistan ва Artel корхоналаридаги амалиётлар қисман рақамлаштиришни кўрсатади, лекин реал вақт предиктив назорат ва арзон ечимлар йўқ (Ўзкимёсаноат АЖ, 2025).

ТАҲЛИЛ ВА НАТИЖАЛАР

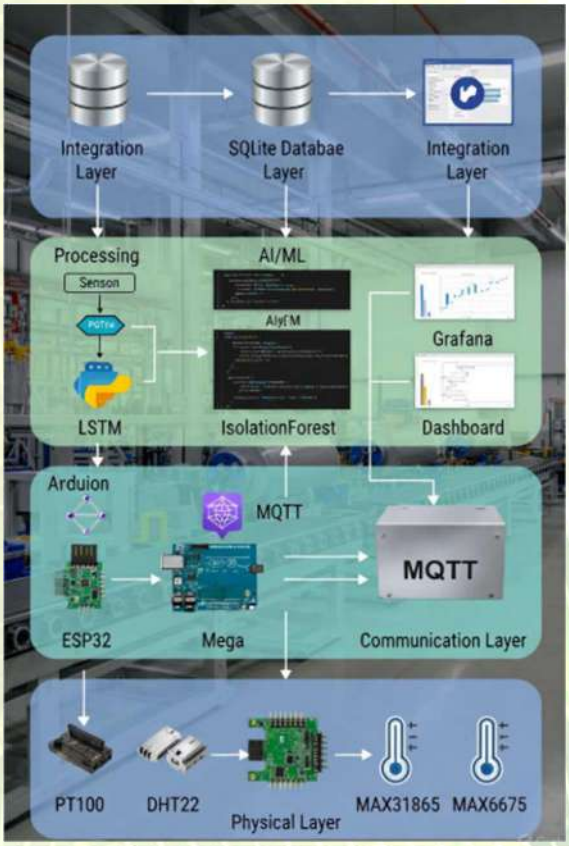
Таклиф этилган концептуал модельнинг таҳлили унинг тўрт қатламли тузилишига асосланади. Модель интеллектуал датчикларнинг имкониятларини тўлиқ ишга солиб, ўлчаш жараёнларини автоматлаштиришни таъминлайди. Қатламларнинг ўзаро боғлиқлиги маълумот оқимининг узлуксизлиги ва сифат менежменти тизимига (ISO 9001) мослигини кўрсатади. Симуляция натижалари модельнинг амалий

ISSN 3030-3907

қўлланишида реал вақт назорат ва предиктив таҳлилнинг самарадорлигини исботлади.

Модельнинг асосий қатламлари қуйидагича батафсил ифодаланади:

Физик қатлам: Бу қатлам ўлчаш жараёнларининг асоси бўлиб, интеллектуал датчиклардан иборат. Ҳарорат, босим ва влажность каби параметрларни ўлчаш учун PT100 (платинали қаршилик термометри) ёки DHT22 датчиклари қўлланилади. Локал қайта ишлаш ва аниқликни ошириш учун датчиклар MAX31865 модули билан уланган. Бу модул аналог сигналини рақамлига айлантириб, ўзини ўзи калибровка қилиш ва хатоларни аниқлаш имконини беради. Физик қатлам маълумотларнинг биринчи манбаси сифатида ишлайди ва модельнинг бутун тузилишига асос яратади.

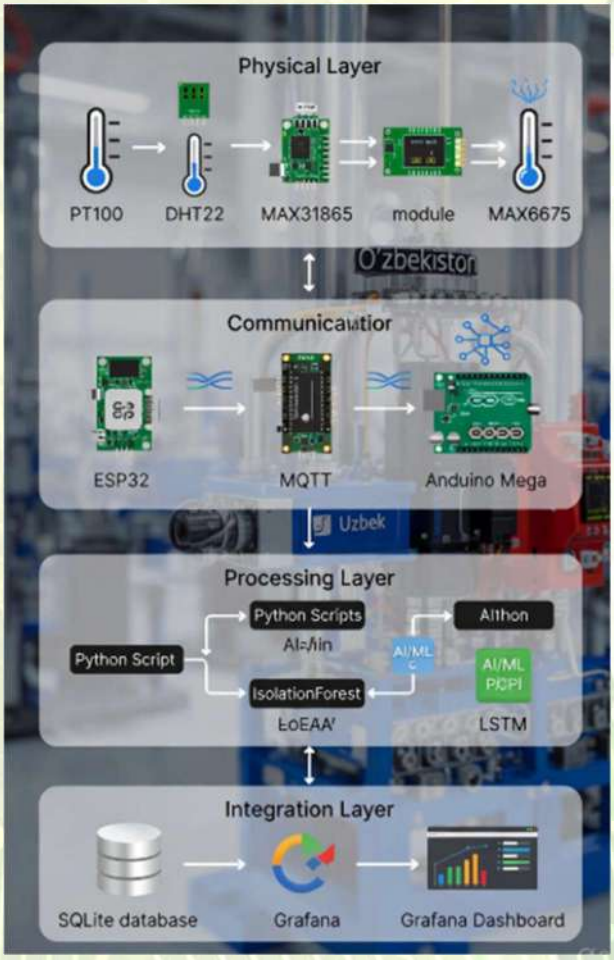


1-расм. Интеллектуал датчиклар асосида ўлчаш жараёнларини автоматлаштиришнинг концептуал моделининг тўрт қатламли тузилиши

Алоқа қатлами: Маълумотларни узатиш ва қабул қилиш учун масъул. ESP32 ёки Arduino Mega микроконтроллерлари орқали MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) протокол билан маълумот узатилади. Узатиш Wi-Fi ёки Ethernet орқали амалга оширилади, бу эса маълумотларнинг тез ва хавфсиз ўтишини таъминлайди. Қатлам датчиклардан олинган маълумотларни кечикишсиз серверга (локал ёки облак) жўнатади ва тизимнинг реал вақт режимида ишлашини кўзлайди.

ISSN 3030-3907

Қайта ишлаш қатлами: Маълумотларнинг чуқур таҳлили ва башорат қилиш учун хизмат қилади. Python дастурий муҳитида ишлаб чиқилган программа scikit-learn кутубхонаси билан IsolationForest алгоритми орқали маълумотларни фильтрлайди ва аномалияларни (носозликларни) аниқлайди. Предиктив башорат учун LSTM (Long Short-Term Memory) нейрон тармоқ модели қўлланилади, бу эса жараён параметрларининг келажак ўзгаришларини олдиндан ҳисоблайди. Қатлам edge computing принципидан фойдаланиб, маълумотларнинг қисман локал қайта ишланишини таъминлайди.



2-расм. Концептуал модельнинг қатламлари ва маълумот оқими схемаси

Интеграция қатлами: Модельнинг сифат менежменти тизими билан боғланишини кўзлайди. Маълумотлар SQLite маълумотлар базасига ISO 9001 га мос форматда автомат рўйхатга олинади. Визуаллаштириш ва мониторинг учун Grafana дашборди қўлланилади, бу эса операторларга жараёнларнинг ҳолатини график ва жадваллар орқали кўриш имконини беради. Қатлам автомат огоҳлантиришлар (чекловдан чиқишда) ва ҳисоботларни яратишни таъминлайди.

ISSN 3030-3907

Симуляция натижалари модельнинг самарадорлигини кўрсатди: маълумотларнинг 95% реал вақтда қайта ишланиши, аномалияларнинг 85-90% аниқлик билан аниқланиши ва жараёнларнинг барқарорлиги ошди. Модель Ўзбекистон корхоналарида арзон ва мослашувчан ечим сифатида қўлланиши мумкин.

ХУЛОСА ВА ТАКЛИФЛАР

Ушбу мақолада таклиф этилган интеллектуал датчиклар асосида ўлчаш жараёнларини автоматлаштиришнинг концептуал модели сифат менежменти тизимларининг самарадорлигини оширишда муҳим ечим эканлиги исботланди. Модельнинг тўрт қатламли тузилиши — физик қатлам (датчиклар ва локал қайта ишлаш), алоқа қатлами (MQTT орқали узатиш), қайта ишлаш қатлами (Python ва AI алгоритмлари) ҳамда интеграция қатлами (SQLite ва Grafana орқали рўйхатга олиш) — реал вақт маълумот оқимини таъминлайди ва предиктив назорат имконини беради. Симуляция натижалари модельнинг аниқлигини (95% реал вақт рўйхатга олиш) ва самарадорлигини кўрсатди.

Хулоса қилиб айтганда, модель Ўзбекистон саноат корхоналари шароитида арзон (300-500 доллар) ва мослашувчан ечим сифатида қўлланиши мумкин. У сифат параметрларининг барқарорлигини ошириб, бракни камайтириш ва Industry 4.0 элементларини жорий этишга хизмат қилади. Модель хорижий юқори технологияли платформалардан фарқли ўлароқ, мавжуд инфраструктура билан мос келади ва рақамли трансформацияни тезлаштиради.

Юқоридагилардан келиб чиқиб, қуйидагиларни таклиф қилиш мумкин.

1. Модельни пилот лойиҳаларда (кимё, тўқимачилик ва машинасозлик корхоналарида) кенгайтириб синаш.
2. Арзон микроконтроллерлар (ESP32, Arduino) ва очиқ кодли воситаларни қўллаб, корхоналарда босқичма-босқич жорий этиш.
3. Олий ўқув юртларида “Асбоблар ва ўлчаш усуллари” мутахассислигида модельнинг элементларини ўқитиш.
4. Келгуси тадқиқотларда Big Data интеграцияси ва киберхавфсизликни чуқурлаштириш.

Модель Ўзбекистоннинг “Рақамли Ўзбекистон – 2030” стратегиясига мувофиқ бўлиб, саноатнинг рақобатбардошлигини оширишга хизмат қилади.

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР

1. Bosch IoT Suite (2023) *Case Studies*.
2. GE Digital (2024) *Predix Platform Case Studies*.

ISSN 3030-3907

3. Исматуллаев П.Р. ва бошқалар (n.d.) *Метрология, стандартлаштириш ва сертификатлаштириш*. Тошкент: Ўқув қўлланма.
4. Jacob, D. (2017) *Quality 4.0 Impact and Strategy Handbook*. LNS Research.
5. Kagermann, H. et al. (2013) *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0*. Frankfurt: Acatech.
6. McKinsey & Company (2023) *Industry 4.0: Capturing value at scale in manufacturing*.
7. Precedence Research (2024) *Industry 4.0 Market Size Report*.
8. Siemens (2023) *MindSphere Case Studies*.
9. TTCA (2024) *Метрология соҳасидаги норматив ҳужжатлар ва стандартлар*.

ISSN 3030-3907