Central Asian Research Journal of Natural and Exact Sciences
INTERNATIONAL SCIENTIFIC, APPLIED AND THEORETICAL JOURNAL
2026 / No. 1 (1)
SCIENCE FOR A SUSTAINABLE CENTRAL ASIA

СУНЪИЙ ИНТЕЛЛЕКТ АСОСИДАГИ ИШЛАБ ЧИҚАРИШНИ МОНИТОРИНГ ҚИЛИШ ВА БОШҚАРИШ ТИЗИМИНИ ЖОРИЙ ЭТИШ ҲАМДА УНИНГ САМАРАДОРЛИГИНИ БАҲОЛАШ

Абдулхақов Дадахон Саъдулло ўғли
TEXTILE PRO GROUP MCHJ Конструктор технолог
Наманган Давлат Техника Унверситети Магистранти
abdulhaqov.dadaxon@gmail.com

Аннотация. Мақолада тикувчилик корхоналарида ишлаб чиқариш жараёнларини сунъий интеллект (СИ) асосида мониторинг қилиш ва бошқариш тизимининг тўрт қатламли архитектураси, уни босқичма-босқич жорий этиш методикаси ҳамда самарадорликни баҳолаш усули таклиф этилган. Тизим тикув машиналари ҳолатини IoT сенсорлари орқали аниқлаш, машинавий кўриш ёрдамида сифат назорати, унумдорликни прогнозлаш ва оқим линиясини динамик баланслаш модулларини бирлаштиради. Самарадорлик 10 операция ва 19 оператордан иборат тикув линиясининг дискрет-вақтли имитацион моделида ҳар бир сценарий учун 30 сменада баҳоланди. Натижаларга кўра, ускунанинг умумий самарадорлиги (OEE) 52,3 % дан 61,7 % га, сменадаги сифатли маҳсулот ҳажми 17,9 % га ошди, бир машинанинг сменадаги бекор туриш вақти 73 % га қисқарди ($p < 0,001$). Энг катта ҳисса линияни динамик баланслаш модулига тўғри келди.

Калит сўзлар: *сунъий интеллект, тикувчилик, ишлаб чиқариш мониторинги, OEE, линия баланси, IoT, имитацион моделлаштириш, рақамли трансформация.*

КИРИШ

Тўқимачилик ва тикув-трикотаж саноати Ўзбекистон иқтисодиётининг экспортга йўналтирилган етакчи тармоқларидан бири ҳисобланади. «2022–2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси» [1] ва тармоқни ислоҳ қилишга оид қарорлар [2] пахта толасини тўлиқ қайта ишлаш ҳамда юқори қўшилган қийматли тайёр маҳсулот улушини оширишни устувор вазифа сифатида белгилайди. «Рақамли Ўзбекистон — 2030» стратегияси [3] эса ишлаб чиқариш корхоналарида рақамли технологияларни жорий этишни назарда тутади.

Шу билан бирга, аксарият тикувчилик корхоналарида ишлаб чиқариш жараёнларини назорат қилиш ҳалигача қўлда юритиладиган журналлар, смена охиридаги ҳисоботлар ва уста кузатувига асосланади. Натижада машина тўхтаб қолиши, операциялар орасида ярим тайёр маҳсулот тўпланиши («тор жой») ёки нуқсонли маҳсулот кўпайиши ҳақидаги маълумот раҳбариятга кечикиб етиб келади. Тикувчилик ишлаб чиқаришининг меҳнат сиғимли, кўп операцияли ва моделлари тез алмашадиган табиати [9] бу кечикишни айниқса қимматга туширади.

Тикувчиликдаги бошқарув муаммоларининг ўзига хос сабаблари бор. Битта буюм, масалан, кўйлак тайёрлаш 30–60 та қисқа операцияга бўлинади ва ҳар бир операциянинг давомийлиги бир неча сониядан бир неча дақиқагача бўлади. Операторлар малакаси ва иш суръати турлича, моделлар эса буюртмачи талабига кўра бир неча кунда алмашиши мумкин. Шу сабабли линияни бир марта баланслаш билан узоқ муддат барқарор ишлашни таъминлаб бўлмайди. Ишлаб чиқариш устаси ҳар доим «қаерда иш тўпланиб қолди», «қайси машина тўхтади» ва «қайси операцияда нуқсон кўпайди» деган саволларга тезкор жавоб излашга мажбур. Анъанавий бошқарувда бу саволларга жавоб устанинг тажрибаси ва кузатувига боғлиқ бўлиб қолади.

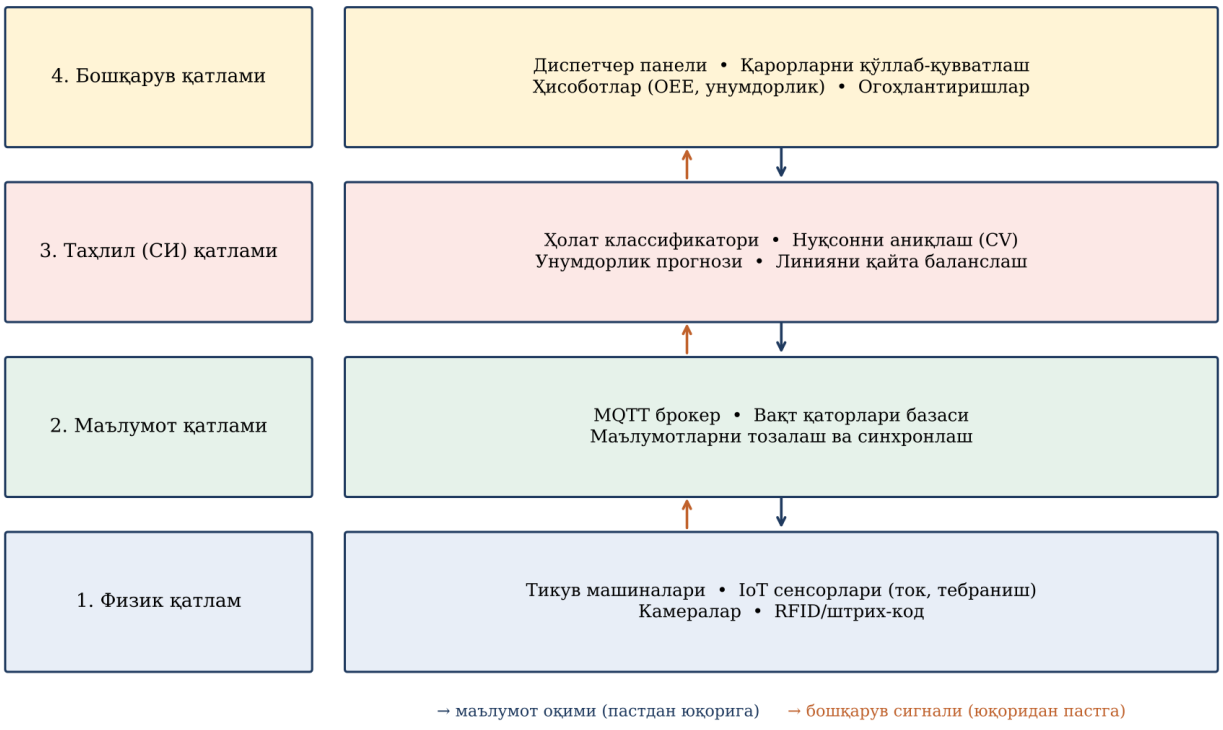
Индустрия 4.0 концепцияси [4] ва кибер-физик тизимлар архитектураси [5] физик жараёнлардан реал вақтда маълумот йиғиш, уни таҳлил қилиш ва бошқарув қарорларини автоматлаштиришни назарда тутади. Ишлаб чиқаришда чуқур ўқитиш [6] ва маълумотларга асосланган «ақлли» ишлаб чиқариш [7, 8] бўйича

тадқиқотлар СИ усулларининг ускуна ҳолатини ташхислаш, сифат назорати ва режалаштиришдаги самарасини кўрсатган. Тикувчилик соҳасида RFID асосида ресурсларни тақсимлаш тизими [10] ва автоматлаштириш бўйича тадқиқотлар [9] мавжуд. Бироқ мониторинг, сифат назорати ва оқим линиясини бошқаришни ягона СИ тизимида бирлаштириш ҳамда бундай тизимни жорий этиш самарадорлигини миқдорий баҳолаш масаласи етарлича ўрганилмаган.

Тадқиқот мақсади — СИ асосидаги ишлаб чиқаришни мониторинг қилиш ва бошқариш тизимини жорий этиш методикасини ишлаб чиқиш ва унинг самарадорлигини миқдорий баҳолаш. Мақсадга эришиш учун қуйидаги вазифалар қўйилди: (1) тизимнинг функционал архитектурасини асослаш; (2) жорий этиш босқичларини белгилаш; (3) самарадорлик кўрсаткичлари тизимини танлаш; (4) имитацион модел ёрдамида тизимнинг умумий самарасини ва ҳар бир модулнинг ҳиссасини баҳолаш.

УСУЛЛАР

Тизим архитектураси. Таклиф этилаётган тизим кибер-физик тизимлар концепцияси [5] асосида тўрт қатламли қилиб лойиҳаланди (1-расм). Физик қатламда тикув машиналарига ток ва тебраниш сенсорлари, иш ўринлари устига камералар ўрнатилади, ярим тайёр маҳсулот пачкалари эса штрих-код ёки RFID ёрлиқлари орқали кузатилади. Маълумот қатлами сенсорлардан келаётган оқимни MQTT протоколи орқали қабул қилади, тозалайди ва вақт қаторлари базасида сақлайди. Таҳлил қатламида СИ моделлари ишлайди, бошқарув қатлами эса натижаларни диспетчер панели, огоҳлантиришлар ва қарор таклифлари кўринишида устага ҳамда цех раҳбарига етказади.



1-расм. СИ асосидаги мониторинг ва бошқариш тизимининг тўрт қатламли архитектураси

СИ модуллари. Таҳлил қатлами тўртта модулдан иборат. *Ҳолат классификатори* ток ва тебраниш сигналларининг 1 секундлик ойналаридан олинган статистик белгилар асосида машинанинг «ўчиқ», «бўш туриш», «тикиш» ва «носозлик» ҳолатларини тасодифий ўрмон (Random Forest) алгоритми [17] ёрдамида аниқлайди. *Сифат назорати модули* иш ўрни камераси тасвирларида чок нуқсонларини YOLO оиласидаги бир босқичли детектор [14] ёрдамида топади ва нуқсонни уни келтириб чиқарган операцияга боғлайди. *Прогноз модули* соатлик унумдорликни LSTM тармоғи [15] ёки градиент бустинг (XGBoost) [16] ёрдамида олдиндан

Central Asian Research Journal of Natural and Exact Sciences
INTERNATIONAL SCIENTIFIC, APPLIED AND THEORETICAL JOURNAL
2026 / No. 1 (1)
SCIENCE FOR A SUSTAINABLE CENTRAL ASIA

баҳолайди. *Баланслаш модули* операциялар ўтказиш қобилиятини ҳисоблаб, мослашувчан операторни «тор жой»га кўчиришни таклиф қилади.

Модулларнинг кириш маълумотлари, алгоритмлари ва иш даврийлиги 1-жадвалда умумлаштирилган. Модуллар бир-бирига боғлиқ: ҳолат классификатори натижалари прогноз ва баланслаш модуллари учун кириш маълумоти бўлиб хизмат қилади.

1-жадвал

Тизимнинг СИ модуллари тавсифи

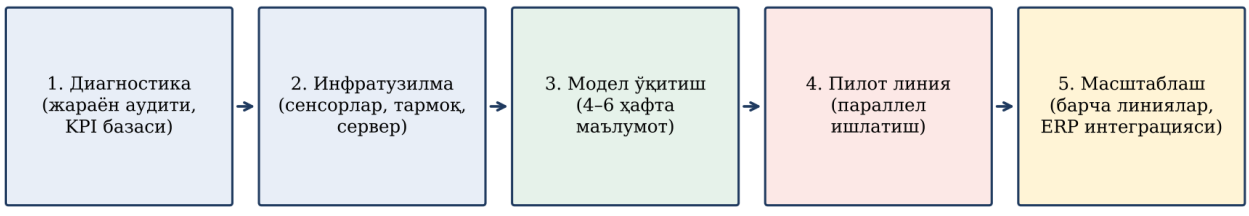
Модул	Кириш маълумоти	Алгоритм	Даврийлик	Чиқиш
Ҳолат классификатори	Ток ва тебраниш белгилари (1 с)	Random Forest	1 с	Машина ҳолати, бекор туриш
Сифат назорати	Иш ўрни тасвирлари	YOLO детектори	Ҳар буюм	Нуқсон тури ва операция
Унумдорлик прогнози	Соатлик чиқиш, ҳолатлар тарихи	LSTM / XGBoost	15 дақ	Кейинги соат чиқиши
Линияни баланслаш	SMV, e_k, буферлар	Очкўз эвристика	60 дақ	Операторни кўчириш тавсияси

Баланслаш масаласи қуйидагича ифодаланди. *i*-операциянинг ўтказиш қобилияти:

$$c_i = \sum \frac{ek}{SMV_i}, \quad k \in K_i \qquad (1)$$

бу ерда K_i — *i*-операцияга бириктирилган операторлар тўплами, e_k — *k*-операторнинг жорий самарадорлик коэффициенти, SMV_i — операциянинг стандарт вақти (дақ/дона). Линия чиқиши энг кичик c_i билан чекланганлиги сабабли, модул ҳар соатда $\max \min_i c_i$ мезонини яхшилайдиган битта операторни қайта тақсимлашни танлайди (очкўз алгоритм). Бу ёндашув ҳисоблаш жиҳатдан енгил бўлиб, устага тушунарли тавсия беради.

Жорий этиш методикаси. Тизимни корхонага жорий этиш беш босқичда амалга оширилади (2-расм). Биринчи босқичда жараён аудити ўтказилиб, KPI нинг бошланғич қийматлари қайд этилади. Иккинчи босқичда сенсорлар, тармоқ ва сервер инфратузилмаси ўрнатилади. Учинчи босқичда камида 4–6 ҳафталик маълумот асосида моделлар ўқитилади. Тўртинчи босқичда пилот линияда тизим тавсиялари анъанавий бошқарув билан параллел синалади. Бешинчи босқичда тизим барча линияларга кенгайтирилади ва корхона ERP тизими билан интеграция қилинади.



2-расм. Тизимни корхонага жорий этиш босқичлари

Самарадорлик кўрсаткичлари. Асосий интеграл кўрсаткич сифатида ускунанинг умумий самарадорлиги (OEE) [11, 12] қабул қилинди:

$$OEE = A \times P \times Q \qquad (2)$$

бу ерда A — фойдаланиш имконияти (режалаштирилган вақтдан бекор туриш чегириб ташланган улуш), P — самарадорлик, Q — сифат коэффициенти. Тикувчиликда P кўрсаткичи стандарт вақт (SAM) усулида линия самарадорлиги сифатида ҳисобланди: $P = N \cdot \Sigma SMV / (n \cdot T \cdot A)$, бу ерда N — чиқарилган маҳсулот, n —

операторлар сони, T — смена давомийлиги. Кўрсаткичлар тизими ISO 22400-2 стандарти [13] тавсияларига мос равишда 2-жадвалда келтирилган.

2-жадвал

Самарадорликни баҳолаш кўрсаткичлари тизими

Кўрсаткич	Ҳисоблаш формуласи	Ўлчов бирлиги	Маълумот манбаи
Фойдаланиш имконияти (A)	$\frac{T - T_{\text{бекор}}}{T}$	%	Ҳолат классификатори
Линия самарадорлиги (P)	$N \times \sum \frac{SMV}{n \times T \times A}$	%	Пачка ҳисоби, SMV базаси
Сифат коэффициенти (Q)	$N_{\text{сифатли}} / N$	%	CV модули, назоратчи
OEE	A × P × Q	%	Ҳисобланади
Сифатли маҳсулот	$N_{\text{сифатли}}$	дона/смена	Пачка ҳисоби
Бекор туриш вақти	$\sum \frac{T_{\text{бекор}}}{n}$	дақ/машина	Ҳолат классификатори

Имитацион модел ва тажриба дизайни. Тизимнинг самарасини реал корхонада синашдан олдин баҳолаш учун тикув оқим линиясининг дискрет-вақтли имитацион модели [18] Python тилида тузилди. Модел 1 дақиқалик қадам билан ишлайди: ҳар қадамда ҳар бир операциянинг ўтказиш қобилияти фаол машиналар ва операторлар самарадорлиги бўйича ҳисобланади, ярим тайёр маҳсулот операциялар орасидаги буферлар орқали ҳаракатланади. Машина бузилишлари Пуассон оқими, аниқлаш кечикиши ва таъмир давомийлиги эса экспоненциал тақсимот билан моделлаштирилди. Модел параметрлари 3-жадвалда келтирилган.

3-жадвал

Имитацион модел параметрлари

Параметр	Анъанавий бошқарув	СИ асосидаги тизим
Операциялар / операторлар сони	10 / 19	10 / 19
Буюм стандарт вақти, ΣSMV	11,2 дақ	11,2 дақ
Оператор самарадорлиги, e_k	N(0,82; 0,08)	N(0,82; 0,08)
Бузилишлар жадаллиги	0,45 / машина·смена	0,29 / машина·смена
Носозликни аниқлаш кечикиши (ўрт.)	12 дақ	1,5 дақ
Таъмир давомийлиги (ўрт.)	10 дақ	8 дақ
Линияни баланслаш	Смена бошида, статик	Ҳар соатда, динамик
Нуқсон улуши (ўрт.)	4,2 %	2,5 %
Смена / такрорлар сони	480 дақ / 30	480 дақ / 30

СИ сценарийсидаги параметрлар қуйидаги фаразларга асосланади: реал вақтли ҳолат мониторинги аниқлаш кечикишини бир неча дақиқагача камайтиради; олдиндан огоҳлантирувчи техник хизмат бузилишлар сонини тахминан учдан бирга қисқартиради; нуқсонни у пайдо бўлган операцияда тезкор аниқлаш нуқсон улушини пасайтиради. Иккала сценарий учун ҳам бир хил тасодифий сонлар кетма-кетлиги (common random numbers) ишлатилди, бу фарқни фақат бошқарув усули билан изоҳлаш имконини беради. Натижалар Уэлч t-мезони ёрдамида солиштирилди. Ҳар бир модулнинг алоҳида ҳиссасини аниқлаш учун модуллар навбатма-навбат ёқилган қўшимча сценарийлар (абляция таҳлили) ҳам ҳисобланди.

Central Asian Research Journal of Natural and Exact Sciences
INTERNATIONAL SCIENTIFIC, APPLIED AND THEORETICAL JOURNAL
2026 / No. 1 (1)
SCIENCE FOR A SUSTAINABLE CENTRAL ASIA

НАТИЖАЛАР

Иккала сценарий бўйича 30 сменалик моделлаштиришнинг асосий натижалари 4-жадвалда келтирилган. СИ асосидаги тизим барча кўрсаткичлар бўйича анъанавий бошқарувдан устун келди.

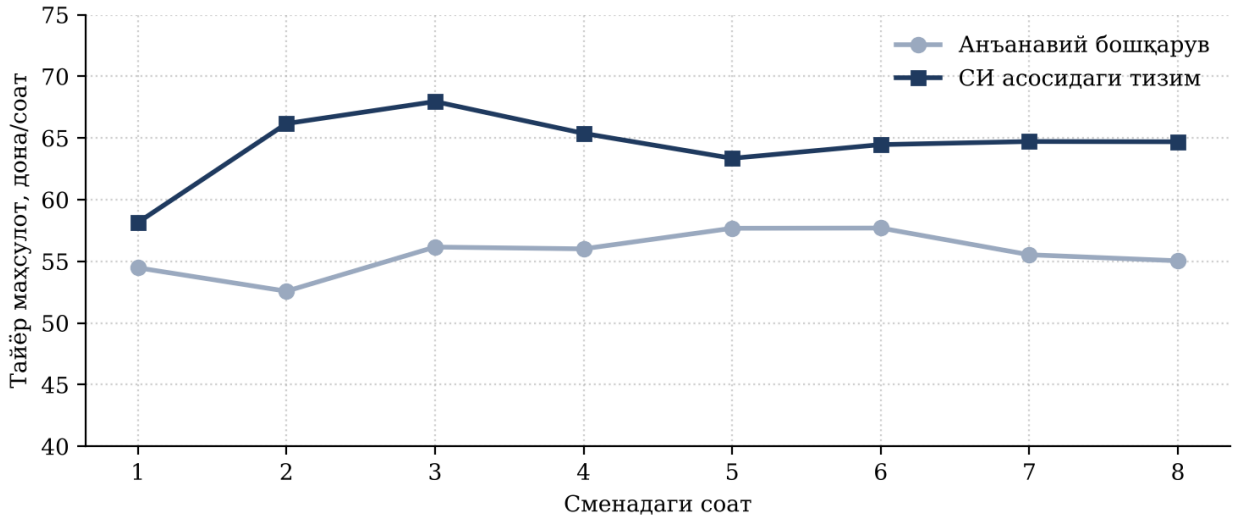
4-жадвал

Имитацион моделлаштиришнинг асосий натижалари (ўртача ± ст. оғиш, n = 30 смена)

Кўрсаткич	Анъанавий	СИ асосидаги	Ўзгариш
Жами маҳсулот, дона/смена	445,2 ± 42,2	514,8 ± 24,5	+15,6 %
Сифатли маҳсулот, дона/смена	426,2 ± 40,9	502,6 ± 24,3	+17,9 %
Фойдаланиш имконияти A, %	98,1 ± 0,7	99,5 ± 0,3	+1,4 ф.б.
Линия самарадорлиги P, %	55,7 ± 5,2	63,6 ± 3,1	+7,9 ф.б.
Сифат коэффициенти Q, %	95,7 ± 0,5	97,6 ± 0,5	+1,9 ф.б.
OEE, %	52,3 ± 5,0	61,7 ± 3,0	+9,4 ф.б.
Бекор туриш, дақ/машина·смена	9,3 ± 3,3	2,5 ± 1,2	−73,3 %

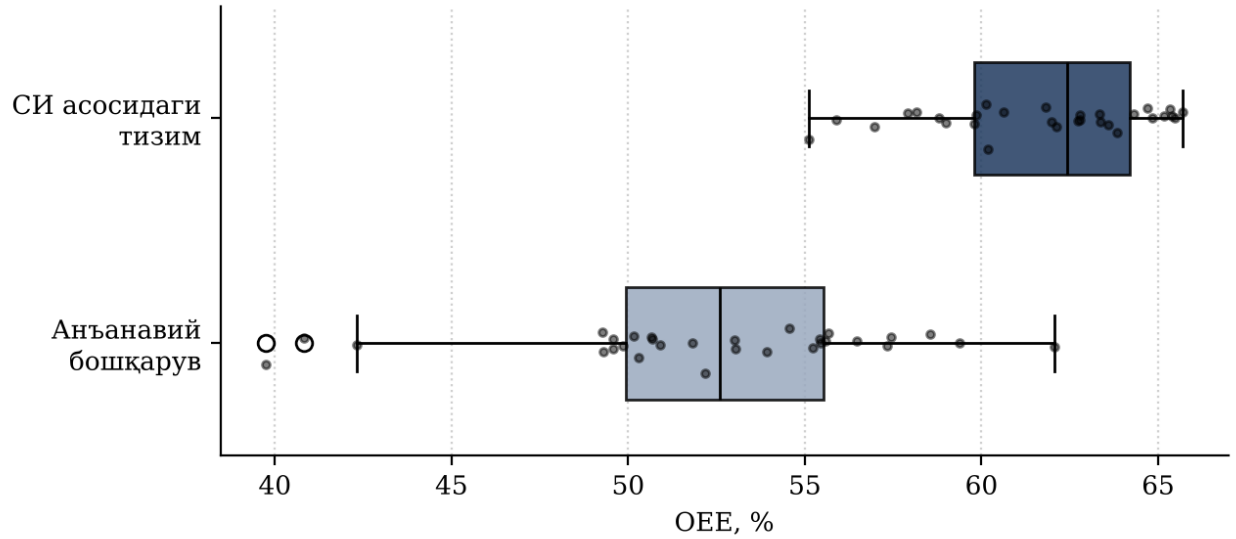
OEE бўйича фарқ статистик жиҳатдан аҳамиятли: Уэлч мезони $t = 8{,}65$ (эркинлик даражаси ≈ 47), $p < 0{,}001$. Сифатли маҳсулот ҳажмининг стандарт оғиши ҳам 40,9 дан 24,3 донагача, яъни қарийб 40 % га камайди. Бу тизим нафақат ўртача унумдорликни оширишини, балки сменалар орасидаги натижалар барқарорлигини ҳам таъминлашини кўрсатади.

Соатлик чиқиш динамикаси (3-расм) иккала сценарийда ҳам биринчи соат линияни ярим тайёр маҳсулот билан тўлдириш даври эканини кўрсатади. Кейинги соатларда анъанавий бошқарувда чиқиш 53–58 дона/соат оралиғида қолган бўлса, СИ тизимида биринчи қайта баланслашдан сўнг 63–68 дона/соат даражасига кўтарилди.



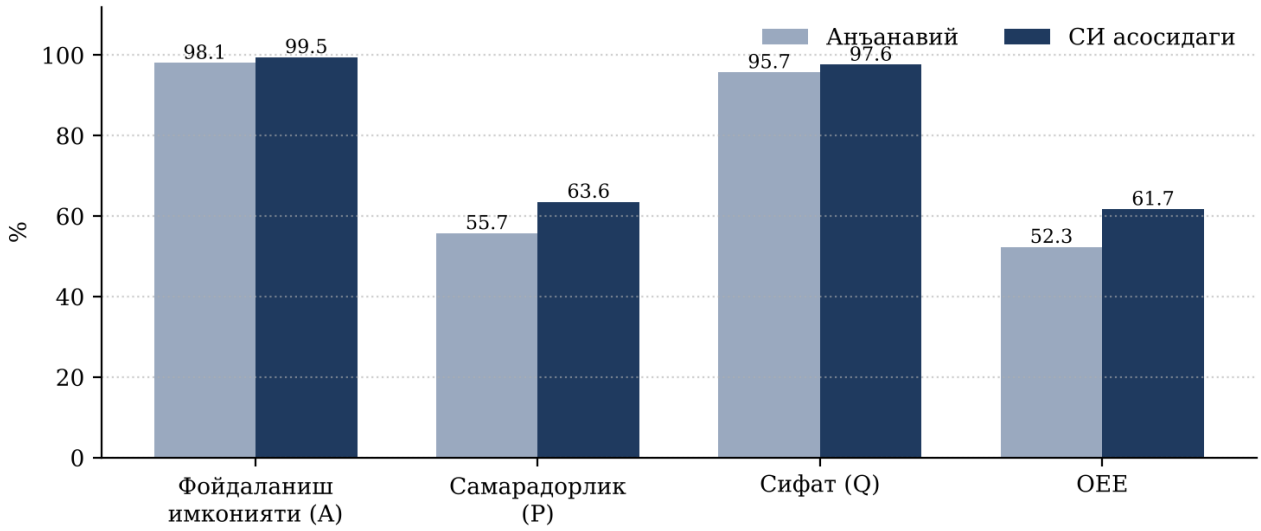
3-расм. Сменадаги соатлик сифатли маҳсулот чиқиши (30 сменанинг ўртачаси)

OEE нинг сменалар бўйича тақсимоти (4-расм) СИ сценарийсида натижалар тарқоқлиги анча кичик эканини ва энг паст сменалар ҳам анъанавий бошқарувнинг ўртача даражасидан юқори бўлганини кўрсатади.



4-расм. OEE нинг 30 смена бўйича тақсимоти (нуқталар — алоҳида сменалар)

OEE ташкил этувчилари бўйича таҳлил (5-расм) ўсишнинг асосий манбаи самарадорлик (P) эканини кўрсатди. Фойдаланиш имконияти иккала ҳолатда ҳам юқори бўлгани учун унинг ўсиши нисбатан кичик (+1,4 ф.б.). Лекин машина тўхташи унга боғлиқ кейинги операцияларни ҳам «оч» қолдиргани учун бекор туришнинг қисқариши билвосита P га ҳам таъсир қилади.



5-расм. OEE ташкил этувчиларининг сценарийлар бўйича қиёсий таҳлили

Модулларнинг алоҳида ҳиссаси абляция таҳлили натижаларида кўрсатилган (5-жадвал, 6-расм). Ҳар бир модул алоҳида ёқилганда OEE нинг ўсиши: мониторинг ва олдиндан огоҳлантирувчи хизмат — 2,6 ф.б., динамик баланслаш — 5,7 ф.б., CV асосидаги сифат назорати — 1,0 ф.б. Уларнинг йиғиндиси (9,3 ф.б.) тўлиқ тизим самарасига (9,4 ф.б.) деярли тенг, яъни модуллар бир-бирининг таъсирини камайтирмайди ва асосан аддитив ишлайди.

5-жадвал

Тизим модулларининг ҳиссаси (абляция таҳлили, 30 смена ўртачаси)

Сценарий	Сифатли маҳсулот, дона	A, %	P, %	Q, %	OEE, %
Анъанавий бошқарув	426,2	98,1	55,7	95,7	52,3
+ Мониторинг ва прогнозли хизмат	446,9	99,5	57,5	95,9	54,9
+ Динамик баланслаш	472,4	98,1	61,8	95,7	58,0
+ CV сифат назорати	433,8	98,1	55,7	97,4	53,3
Тўлиқ СИ тизими	**502,6**	**99,5**	**63,6**	**97,6**	**61,7**

СИ сценарийсидаги параметрлар фаразий бўлгани учун натижаларнинг уларга сезгирлиги текширилди (6-жадвал). Пессимистик сценарийда носозликни аниқлаш кечикиши 5 дақиқа, бузилишлар фақат 15 % га камаяди ва нуқсон улуши 3,5 % деб олинди. Оптимистик сценарийда эса бу қийматлар мос равишда 1 дақиқа, 50 % ва 2,0 %. Ҳатто пессимистик фаразларда ҳам OEE 7,7 ф.б. га, сифатли маҳсулот 14,6 % га ошди. Демак, тизим самарасининг асосий қисми фаразларнинг аниқ қийматига кам боғлиқ.

6-жадвал

Натижаларнинг модел фаразларига сезгирлиги (тўлиқ СИ тизими, 30 смена)

Сценарий	Сифатли маҳсулот, дона	Ўсиш, %	OEE, %	Бекор туриш, дақ
Анъанавий (таққослаш)	426,2	—	52,3	9,3
Пессимистик	488,5	+14,6	60,0	4,3
Асосий	502,6	+17,9	61,7	2,5
Оптимистик	505,7	+18,6	62,1	1,9

Иқтисодий самарани баҳолаш учун бир линия бўйича қўшимча сифатли маҳсулот ҳажми асос қилиб олинди. Ҳисоб-китоб тартиби 7-жадвалда берилган. Маржинал фойда ва тизим харажатлари корхонага хос бўлгани учун улар ўзгарувчи сифатида қолдирилди.

7-жадвал

Бир линия бўйича иқтисодий самарани ҳисоблаш тартиби

Кўрсаткич	Формула	Қиймат
Қўшимча сифатли маҳсулот, дона/смена	$\Delta N = N_{СИ} - N_{анъан}$	76,4
Ойлик қўшимча маҳсулот (22 иш куни, 1 смена)	$\Delta N_{ой} = 22 \times \Delta N$	≈ 1 681
Йиллик қўшимча фойда	$\Delta Ф = 12 \cdot \Delta N_{ой} \cdot m$	m — 1 дона маржинал фойда
Ўзини қоплаш муддати, ой	$Тқ = K / (\Delta Ф/12 - Э)$	K — инвестиция, Э — ойлик хизмат харажати

МУҲОКАМА

Олинган натижалар СИ тизимининг асосий самараси алоҳида «ақлли» функциялардан эмас, балки мониторинг маълумотлари асосида оқимни тезкор бошқаришдан келиб чиқишини кўрсатади. Абляция таҳлилида динамик баланслаш модули умумий ўсишнинг қарийб 60 % ини таъминлади. Бу тикувчилик линиясининг ўзига хослиги билан изоҳланади: операторлар самарадорлиги кун давомида ва ҳар хил бўлади, шу сабабли смена бошида тузилган статик баланс тезда эскиради. Реал вақтли маълумот бўлмаса, уста «тор жой»ни кўз билан, кўпинча кечикиб аниқлайди.

Мониторинг модулининг ҳиссаси нисбатан кичик бўлиб чиқди (2,6 ф.б.). Бунга моделда бузилишлар жадаллиги паст олингани сабаб бўлди. Эскирган машина паркига эга корхоналарда бу модулнинг аҳамияти ортади. Бундан ташқари, мониторинг маълумотлари бошқа модуллар учун ҳам асос бўлади: ҳолат классификатори бўлмаса, баланслаш модули операторларнинг жорий самарадорлигини билолмайди. Шу маънода модуллар техник жиҳатдан аддитив бўлса-да, ахборот жиҳатидан бир-бирига боғлиқ.

CV асосидаги сифат назоратининг OEE га бевосита таъсири кам бўлди (1,0 ф.б.), аммо унинг аҳамияти бу кўрсаткич билан чекланмайди. Нуқсонни у пайдо бўлган операцияда аниқлаш қайта ишлаш харажатларини, буюртмачи шикоятлари хавфини ва экспорт шартномаларидаги жарима рискини камайтиради. Бу самаралар OEE да акс этмайди. Улар алоҳида баҳоланиши лозим.

Сезгирлик таҳлили яна бир муҳим хулосани берди: оптимистик ва асосий сценарийлар орасидаги фарқ жуда кичик (OEE бўйича 0,4 ф.б.). Демак, носозликни аниқлаш кечикишини бир неча дақиқадан янада камайтириш катта қўшимча самара бермайди. Бу ҳолат мониторинги учун қиммат юқори частотали тизимлар шарт эмаслигини, арзон IoT сенсорлари етарли эканини кўрсатади. Аксинча, пессимистик сценарийда самара сезиларли пасаяди. Бу эса огоҳлантириш устага етиб бориши ва унга жавоб қайтариш тартиби, яъни ташкилий жараён тизимнинг техник қисми каби муҳим эканини билдиради.

Тизимнинг бошқарувдаги ўрнини «маълумот — таҳлил — қарор — ҳаракат» цикли сифатида қараш мумкин. Анъанавий бошқарувда бу цикл смена ёки кун давомида бир марта ёпилади, СИ тизимида эса дақиқалар ичида. Бироқ охирги бўғин — ҳаракат — ҳалигача инсон томонидан бажарилади: операторни кўчириш ёки машинани таъмирлаш ҳақидаги қарорни уста қабул қилади. Шу сабабли тизим автоматик бошқарувчи эмас, балки қарор қабул қилишни қўллаб-қувватловчи восита сифатида лойиҳаланди. Бу ёндашув жорий этишда ходимлар қаршилигини камайтиради ва масъулиятни аниқ сақлаб қолади.

Тадқиқотнинг чекловлари қуйидагилардан иборат. *Биринчидан*, натижалар имитацион моделга асосланган ва СИ сценарийсидаги параметрлар (аниқлаш кечикиши, бузилишлар ва нуқсонларнинг камайиши) фаразий қийматлардир. Уларни реал корхонада пилот синов ўтказиб аниқлаштириш зарур. *Иккинчидан*, моделда операторларнинг ўрганиш эффекти, чарчаши ва бир операциядан бошқасига ўтишдаги мослашиш вақти ҳисобга олинмаган. *Учинчидан*, тизимни жорий этишнинг ижтимоий жиҳатлари — операторларнинг кузатувга муносабати ва ходимлар ҳақидаги маълумотлар махфийлиги — алоҳида тартибга солишни талаб қилади. Тизим маълумотларидан жазолаш учун эмас, балки жараённи яхшилаш учун фойдаланиш тамойилини корхона ички низомида мустаҳкамлаш тавсия этилади.

Амалий тавсия сифатида тизимни бир йўла эмас, балки 2-расмда кўрсатилган босқичлар бўйича жорий этиш таклиф қилинади. Абляция натижаларига кўра, чекланган бюджетли корхоналар учун энг юқори самарани ҳолат мониторинги ва динамик баланслаш модуллари беради. CV модулини эса кейинги босқичда, нуқсон улуши юқори бўлган операциялардан бошлаб жорий этиш мумкин.

ХУЛОСА

Тадқиқот натижасида тикувчилик корхоналари учун СИ асосидаги ишлаб чиқаришни мониторинг қилиш ва бошқариш тизимининг тўрт қатламли архитектураси, беш босқичли жорий этиш методикаси ва OEE га асосланган самарадорлик кўрсаткичлари тизими ишлаб чиқилди. Имитацион моделлаштириш тизим OEE ни 52,3 % дан 61,7 % гача, сифатли маҳсулот чиқишини 17,9 % га оширишини ва машиналарнинг бекор туриш вақтини 73 % га қисқартиришини кўрсатди. Бунда сменалараро натижалар барқарорлиги ҳам сезиларли яхшиланади. Энг катта самарани оқим линиясини динамик баланслаш модули беради. Кейинги тадқиқотлар тизимни реал корхонада пилот синовдан ўтказиш, модел параметрларини амалий маълумотлар асосида калибрлаш ва иқтисодий самарани аниқ ҳисоблашга қаратилади.

АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ

1. Ўзбекистон Республикаси Президентининг «2022–2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида»ги ПФ-60-сон Фармони. 28.01.2022.

2. Ўзбекистон Республикаси Президентининг «Тўқимачилик ва тикув-трикотаж саноатини янада ислоҳ қилиш ва унинг экспорт салоҳиятини кенгайтириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги ПҚ-4186-сон Қарори. 12.02.2019.

3. Ўзбекистон Республикаси Президентининг «Рақамли Ўзбекистон — 2030» стратегиясини тасдиқлаш ва уни самарали амалга ошириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги ПФ-6079-сон Фармони. 05.10.2020.

4. Lasi H., Fettke P., Kemper H.-G., Feld T., Hoffmann M. Industry 4.0 // Business & Information Systems Engineering. – 2014. – Vol. 6, No. 4. – P. 239–242.

5. Lee J., Bagheri B., Kao H.-A. A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems // Manufacturing Letters. – 2015. – Vol. 3. – P. 18–23.

6. Wang J., Ma Y., Zhang L., Gao R. X., Wu D. Deep learning for smart manufacturing: Methods and applications // Journal of Manufacturing Systems. – 2018. – Vol. 48. – P. 144–156.

7. Tao F., Qi Q., Liu A., Kusiak A. Data-driven smart manufacturing // Journal of Manufacturing Systems. – 2018. – Vol. 48. – P. 157–169.

8. Kusiak A. Smart manufacturing // International Journal of Production Research. – 2018. – Vol. 56, No. 1–2. – P. 508–517.

9. Nayak R., Padhye R. (eds.) Automation in Garment Manufacturing. – Duxford: Woodhead Publishing, 2018.

10. Lee C. K. H., Choy K. L., Ho G. T. S., Law K. M. Y. A RFID-based resource allocation system for garment manufacturing // Expert Systems with Applications. – 2013. – Vol. 40, No. 2. – P. 784–799.

11. Nakajima S. Introduction to TPM: Total Productive Maintenance. – Cambridge, MA: Productivity Press, 1988.

12. Muchiri P., Pintelon L. Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): Literature review and practical application discussion // International Journal of Production Research. – 2008. – Vol. 46, No. 13. – P. 3517–3535.

13. ISO 22400-2:2014. Automation systems and integration — Key performance indicators (KPIs) for manufacturing operations management — Part 2: Definitions and descriptions. – Geneva: ISO, 2014.

14. Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. You only look once: Unified, real-time object detection // Proc. IEEE CVPR. – 2016. – P. 779–788.

15. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long short-term memory // Neural Computation. – 1997. – Vol. 9, No. 8. – P. 1735–1780.

16. Chen T., Guestrin C. XGBoost: A scalable tree boosting system // Proc. 22nd ACM SIGKDD. – 2016. – P. 785–794.

17. Breiman L. Random forests // Machine Learning. – 2001. – Vol. 45, No. 1. – P. 5–32.

18. Law A. M. Simulation Modeling and Analysis. – 5th ed. – New York: McGraw-Hill, 2015.