SANOAT KORXONALARIDA TEXNOLOGIK JARAYONLARNI AVTOMATLASHTIRISH VA RAQAMLASHTIRISH ORQALI SAMARADORLIKNI OSHIRISH YO'LLARI

R. O`. Siddiqov
Qo‘qon DU Muhandislik texnologiyalari kafedrasi PhD dotsent

Annotatsiya. Maqolada sanoat korxonalarida texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish va raqamlashtirish orqali ishlab chiqarish samaradorligini oshirishning ilmiy-uslubiy asoslari yoritilgan. Jarayonlarni boshqarishning ko'p sathli arxitekturasi, uskunalarning umumiy samaradorligi (OEE) ko'rsatkichi, PID-rostlagich va energiya sarfi modellari tahlil qilingan. Raqamli egizak hamda sanoat IoT texnologiyalarining texnik-iqtisodiy samaradorligi hisoblash formulalari asosida baholangan. Olingan natijalar korxonalarni modernizatsiya qilish bo'yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqishda foydalanilishi mumkin.

Kalit so'zlar: avtomatlashtirish, raqamlashtirish, texnologik jarayon, SCADA, sanoat, raqamli egizak, samaradorlik.

Аннотация. В статье освещены научно-методические основы повышения эффективности производства за счёт автоматизации и цифровизации технологических процессов на промышленных предприятиях. Проанализированы многоуровневая архитектура управления, показатель общей эффективности оборудования (OEE), модели ПИД-регулятора и энергопотребления. На основе расчётных формул оценена технико-экономическая эффективность цифровых двойников и промышленного IoT. Полученные результаты могут быть использованы при разработке практических рекомендаций по модернизации предприятий.

Ключевые слова: автоматизация, цифровизация, технологический процесс, SCADA, цифровой двойник, эффективность.

Abstract. The article presents the scientific and methodological foundations of improving production efficiency through the automation and digitalization of technological processes at industrial enterprises. A multilevel control architecture, the overall equipment effectiveness (OEE) indicator, PID controller and energy consumption models are analyzed. The technical and economic efficiency of digital twins and the industrial IoT is evaluated using calculation formulas. The results can be used to develop practical recommendations for enterprise modernization.

Keywords: automation, digitalization, technological process, SCADA, digital twin, efficiency.

Respublikamizda sanoatni diversifikatsiya qilish va raqamli iqtisodiyotni rivojlantirish ishlab chiqarish korxonalarining raqobatbardoshligini oshirishni

taqozo etmoqda. Texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish — inson ishtirokini kamaytirib, jarayon parametrlarini texnik vositalar yordamida belgilangan chegarada ushlab turish bo'lsa, raqamlashtirish ma'lumotlarni yig'ish, qayta ishlash va tahlil qilish asosida qarorlar qabul qilishni nazarda tutadi [1,7]. Ushbu ikki yo'nalishning uyg'unligi mahsuldorlikni oshirish, xomashyo va energiya sarfini kamaytirish hamda mahsulot sifatini barqarorlashtirish imkonini beradi. Tadqiqotning maqsadi — samaradorlikni miqdoriy baholash modellarini keltirish va ularning amaliy qo'llanilishini asoslashdan iborat.

Zamonaviy sanoat korxonasida boshqaruv tizimi to'rt sathdan iborat bo'ladi (1-jadval). Quyi sathda datchiklar va ijro mexanizmlari, ikkinchi sathda dasturlashtiriladigan mantiqiy kontrollerlar (PLC), uchinchi sathda dispetcherlik boshqaruvi va ma'lumotlarni yig'ish tizimi (SCADA), yuqori sathda esa ishlab chiqarishni boshqarish (MES) va resurslarni rejalashtirish (ERP) tizimlari joylashadi [3, 4].

1-jadval. Boshqaruv tizimining sathlari

Sath	Texnik vositalar	Asosiy vazifasi
0 — dala sathi	Datchiklar, ijro mexanizmlari	O'lchash va ta'sir ko'rsatish
1 — kontrollerlar	PLC, chastota o'zgartirgichlar	Jarayonni real vaqtda rostlash
2 — dispetcherlik	SCADA, HMI	Monitoring va operativ boshqaruv
3 — korxona	MES, ERP, raqamli egizak	Rejalashtirish, tahlil, optimallashtirish

Avtomatlashtirish natijasini baholashda uskunalarning umumiy samaradorligi (OEE) ko'rsatkichi keng qo'llaniladi. U uchta omil — tayyorlik, unumdorlik va sifat koeffitsiyentlarining ko'paytmasi sifatida aniqlanadi [5]:

$$K_t = \frac{T_r - T_{to'x}}{T_r} \quad (1)$$

$$K_u = \frac{N_f \cdot t_{id}}{T_{ish}} \quad (2)$$

$$K_s = \frac{N_{yar}}{N_{um}} \quad (3)$$

$$OEE = K_t \cdot K_u \cdot K_s \quad (4)$$

bu yerda T_r — rejalashtirilgan ish vaqti; $T_{to'x}$ — to'xtab qolish vaqti; N_f — haqiqiy chiqarilgan mahsulot soni; t_{id} — ideal sikl vaqti; T_{ish} — ishlash vaqti; N_{yar} va N_{um} yaroqli va umumiy mahsulot soni.

Mehnat unumdorligining nisbiy o'sishi quyidagicha hisoblanadi:

$$\Delta П = \frac{П_1 - П_0}{П_0} \cdot 100\% \quad (5)$$

bu yerda $П_0$ va $П_1$ — modernizatsiyagacha va undan keyingi unumdorlik (birlik vaqtdagi mahsulot hajmi).

Texnologik parametrlarni (harorat, bosim, sarf, sath) rostlashda PID-qonun keng qo'llaniladi [1, 6]. Rostlagichning chiqish signali xatolik e(t) bo'yicha quyidagicha aniqlanadi:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau)d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (6)$$

Boshqariladigan obyekt ko'pincha kechikishli birinchi tartibli bo'g'in ko'rinishida modellashtiriladi:

$$W(s) = \frac{K \cdot e^{-\tau s}}{Ts+1} \quad (7)$$

bu yerda K — uzatish koeffitsiyenti, T — vaqt doimiysi, τ — sof kechikish. Rostlash sifati kvadratik integral mezon bilan baholanadi va uni minimallashtirish rostlagich koeffitsiyentlarini tanlash mezoni bo'lib xizmat qiladi:

$$J = \int_0^\infty e^2(t)dt \to min \quad (8)$$

Raqamlashtirish jarayon parametrlarining statistik nazoratini avtomatik yuritish imkonini beradi. Jarayonning texnologik qobiliyati indekslari ruxsat etilgan chegaralar (USL, LSL), o'rtacha qiymat μ va o'rtacha kvadratik chetlanish σ orqali hisoblanadi [5]:

$$C_p = \frac{USL-LSL}{6\sigma} \quad (9)$$

$$C_{pk} = min\left(\frac{USL-\mu}{3\sigma}; \frac{\mu-LSL}{3\sigma}\right) \quad (10)$$

Odatda $C_{pk} \geq 1{,}33$ bo'lganda jarayon barqaror hisoblanadi. Avtomatik o'lchash tizimlari σ ni kamaytirib, *C*pk ni oshiradi va yaroqsiz mahsulot ulushini pasaytiradi, bu esa (3) formuladagi sifat koeffitsiyentining o'sishiga olib keladi. Ishlab chiqarish oqimidagi tugallanmagan ishlab chiqarish hajmi esa Little qonuni bilan bog'lanadi:

$$L = \lambda \cdot W \quad (11)$$

bu yerda L — tizimdagi o'rtacha mahsulot soni, λ — kelib tushish intensivligi, W — mahsulotning tizimda o'rtacha bo'lish vaqti. Raqamli monitoring orqali W qisqartirilganda, λ o'zgarmagan holda L kamayadi, ya'ni aylanma mablag'lar ozod bo'ladi.

Energiya samaradorligi foydali sarflangan energiyaning umumiy iste'molga nisbati, solishtirma sarf esa bir birlik mahsulotga to'g'ri keladigan energiya bilan ifodalanadi:

$$\eta_e = \frac{W_f}{W_{um}}; \quad W = \frac{W_{um}}{Q} \quad (12)$$

Loyihaning iqtisodiy samaradorligi sof joriy qiymat (NPV) va qoplash muddati orqali baholanadi [7]:

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad (13)$$

$$T_q = \frac{I_0}{CF_{yil}} \quad (14)$$

bu yerda CF — pul oqimi, r — diskont stavkasi, n — hisob davri, I_0 — boshlang'ich investitsiya.

Raqamli egizak real jarayonning virtual modeli bo'lib, datchik ma'lumotlari asosida uskuna holatini bashorat qiladi. Ishonchlilik eksponensial qonun bo'yicha, uskunalarning o'rtacha ishlash vaqti esa nosozliklar intensivligi λ orqali topiladi:

$$R(t) = e^{-\lambda t}; \quad MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (15)$$

Prognostik xizmat ko'rsatish rejadan tashqari to'xtashlarni kamaytirib, Tto'x qiymatini pasaytiradi va natijada (1) va (4) ifodalar bo'yicha ifodalanadi.

Formulalarning qo'llanilishini ko'rsatish uchun o'rta hajmli ishlab chiqarish liniyasi misolida shartli hisob bajarildi (2-jadval). Modernizatsiyagacha Kt = 0,82; Ku = 0,85; Ks = 0,95 bo'lib, (4) formula bo'yicha OEE = 0,662 (66,2 %) hosil bo'ldi. SCADA, PLC va prognostik monitoring joriy etilgach ko'rsatkichlar mos ravishda

0,93; 0,92 va 0,98 ga yetib, OEE = 0,838 (83,8 %) bo'ldi. Mutlaq o'sish 17,6 foiz punktni, nisbiy o'sish esa (5) formulaga ko'ra 26,6 % ni tashkil etdi.

2-jadval. Modernizatsiyagacha va undan keyingi ko'rsatkichlar (shartli misol)

Ko'rsatkich	Oldin	Keyin	O'zgarish
Tayyorlik koeffitsiyenti, Kt	0,82	0,93	+0,11
Unumdorlik koeffitsiyenti, Ku	0,85	0,92	+0,07
Sifat koeffitsiyenti, Ks	0,95	0,98	+0,03
OEE	0,662	0,838	+26,6 %

Iqtisodiy jihatdan boshlang'ich investitsiya I_0 = 1200 mln so'm, yillik pul oqimi CF = 400 mln so'm, diskont stavkasi r = 15 % va hisob davri n = 5 yil qabul qilinganda, (13) formula bo'yicha NPV ≈ 140,9 mln so'm, (14) bo'yicha oddiy qoplash muddati Tq = 3,0 yil bo'ladi. NPV> 0 bo'lgani loyihaning iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiqligini bildiradi.

Korxonalarda modernizatsiyani bosqichma-bosqich amalga oshirish maqsadga muvofiq. Birinchi bosqichda mavjud uskunalarning holati audit qilinib, (1)–(4) ifodalar bo'yicha OEE boshlang'ich qiymati aniqlanadi va eng ko'p yo'qotish keltirayotgan bo'g'inlar belgilanadi. Ikkinchi bosqichda shu bo'g'inlarda datchiklar, PLC va SCADA tizimlari o'rnatilib, (6) PID-qonun parametrlari (8) mezon asosida sozlanadi. Uchinchi bosqichda MES va raqamli egizak joriy etilib, ma'lumotlar asosida prognostik xizmat ko'rsatish yo'lga qo'yiladi. Har bir bosqichning iqtisodiy samarasi (13) va (14) ko'rsatkichlari bilan nazorat qilinishi, kadrlarni malakasini oshirish va axborot xavfsizligini ta'minlash esa loyiha muvaffaqiyatining muhim shartlari hisoblanadi [2].

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish va raqamlashtirish tizimli yondashuv asosida amalga oshirilganda uskunalarning umumiy samaradorligi, energiya tejamkorligi va mahsulot sifati sezilarli yaxshilanadi. Samaradorlikni OEE, PID-rostlash sifati, solishtirma energiya sarfi va NPV ko'rsatkichlari majmuasi bilan baholash modernizatsiya loyihalarini asoslashning ishonchli uslubiy vositasi bo'la oladi. Kelgusida raqamli egizak va sun'iy intellekt usullarini integratsiyalash orqali bashoratli boshqarishni rivojlantirish maqsadga muvofiq.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Yusupbekov N.R., Muxitdinov D.P., G'ulomov Sh.M. Texnologik jarayonlarni boshqarish sistemalari. – Toshkent: O'qituvchi.

2. Yusupbekov N.R., Igamberdiyev H.Z., Malikov A.V. Avtomatik boshqarish nazariyasi asoslari. – Toshkent: ToshDTU.

3. Yusupbekov N.R., G'ulomov Sh.M. Kimyo, oziq-ovqat va tog'-kon sanoatida texnologik jarayonlarni boshqarish va avtomatlashtirish. – Toshkent.

4. Yusupbekov A.N., Igamberdiyev H.Z., Zaripov O.O. Murakkab texnologik jarayonlarni boshqarishning zamonaviy usullari. – Toshkent.

5. Yusupbekov N.R., Muxitdinov D.P. Ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirish asoslari. – Toshkent.

6. Igamberdiyev H.Z., Yusupbekov N.R. Boshqarish tizimlarida rostlagichlarni sozlash usullari. – Toshkent: ToshDTU.