

## INTELLEKTUAL DON QURITISH QURILMALARINI LOYIHALASH: IoT, RAQAMLI EGIZAK VA INTELLEKTUAL BOSHQARUV

Safarov Elyorbek Xasanovich  
Andijon davlat texnika instituti, t.f.f.d., dotsent  
+998937819264  
[elyorbeksafarov7@gmail.com](mailto:elyorbeksafarov7@gmail.com)

**Annotatsiya.** Maqolada uzluksiz don quritish jarayonida makkajo‘xori namligini chuqur o‘rganish modellari yordamida aniqlik bilan bashoratlash masalasi ko‘riladi. Taklif etilgan yondashuv klassik empirik modellarga nisbatan xatolikni sezilarli kamaytiradi.

**Аннотация.** В статье рассматривается задача высокоточной прогноза влажности кукурузы в непрерывном процессе сушки с использованием моделей глубокого обучения. Предложенный подход обеспечивает существенное снижение ошибки по сравнению с классическими эмпирическими моделями.

**Abstract.** The paper addresses accurate prediction of corn moisture content in continuous grain drying using deep learning models. The proposed approach significantly reduces prediction error compared with conventional empirical models under industrial dryer operating conditions.

**Kalit so‘zlar:** don quritish; makkajo‘xori namligi; chuqur o‘rganish; vaqt qatori modeli; bashorat aniqligi; empirik model; sanoat quritgich

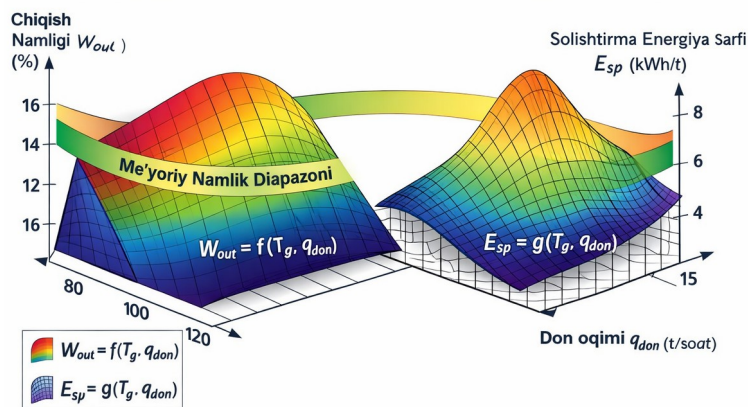
**Ключевые слова:** сушка зерна; влажность кукурузы; глубокое обучение; модель временных рядов; точность прогноза; эмпирическая модель; промышленная сушилка

**Keywords:** grain drying; corn moisture; deep learning; time-series model; prediction accuracy; empirical model; industrial dryer

### **Kirish**

Donlarni quritish qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini uzoq muddat saqlashda namlikni me‘yoriy diapazonda ushlab turish, mog‘or va

mikotoksinlar xavfini kamaytirish hamda omborlardagi miqdoriy yo‘qotishlarni cheklashda muhim ahamiyatga ega. An’anaviy quritgichlarda operator tajribasi va oddiy termostat/PID-regulyatorlarga tayanilgan boshqaruv yuklama va tashqi sharoit o‘zgarganda energiya sarfining ortishi, notekis va ortiqcha quritish tufayli don massasining kamayishi bilan kechadi [1, 2]. Shu sababli IoT sensor tarmoqlari, intellektual boshqaruv algoritmlari va raqamli egizak kontseptsiyasiga asoslangan “aqlli” don quritish tizimlarini ishlab chiqish dolzarb bo‘lib, bunday tizimlarda issiqlik va massa almashinuvi, namlik diffuziyasi, havo harorati va oqim tezligi kabi jarayonlar kuchli nochiziqli, kechikishli va ko‘p o‘lchamli dinamik xususiyatlari bilan hisobga olinadi; maqsad esa quritgich bo‘ylab harorat va namlik maydonlarini IoT sensorlari yordamida real vaqtda o‘lchash, raqamli egizak va data-driven modellar orqali jarayonni bashorat qilish hamda model prediktiv boshqaruv yordamida energiya sarfi va mahsulot sifatini birgalikda optimallashtirishdan iboratdir [3].

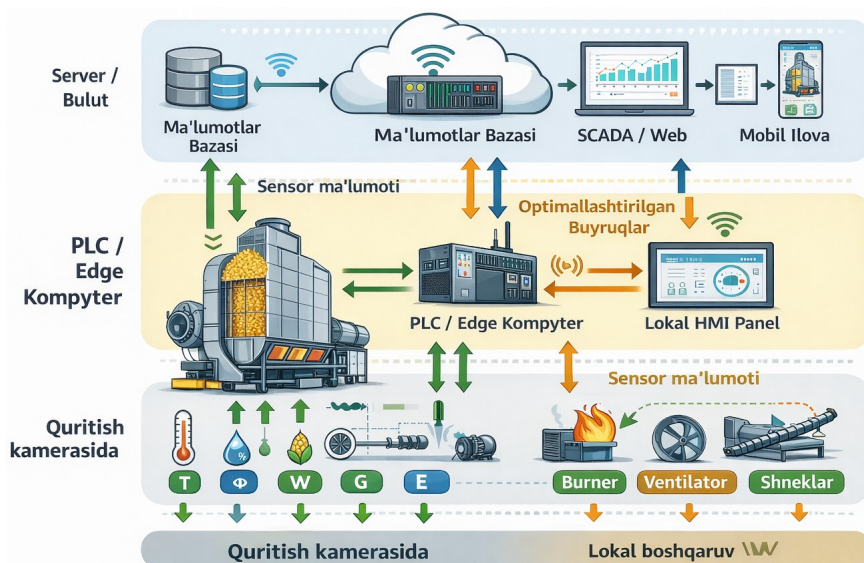


**1-rasm.** Don quritish jarayonida asosiy boshqariladigan parametrlar va chiqish ko‘rsatkichlari o‘rtasidagi funksional bog‘lanishlarning soddalashtirilgan ko‘rinishi.

### ***IoT asosida quritgichni intellektuallashtirish arxitekturasi***

IoT asosida qurilgach, quritish qurilmasining jismoniy qatlami harorat, nisbiy namlik, havo sarfi, don oqimi, sath, bosim va energiya sarfini o‘lchovchi datchiklar hamda burner, ventilyator, shnek va klapanlar kabi ijro mexanizmlaridan iborat bo‘ladi; ularning signallari sanoat PLC yoki

edge-kompyuterda yig'ilib, filtrlash, anomaliyani aniqlash va lokal himoya bajarilgach, yuqori darajadagi server yoki bulutga uzatiladi. Tarmoq-axborot qatlamida Modbus TCP, Ethernet/IP, LoRa, Wi-Fi va 4G/5G kabi protokollar orqali ma'lumotlar uzatilib, time-series bazada saqlanadi, SCADA va web-dashbordlarda real vaqt vizualizatsiya qilinadi hamda tarixiy ma'lumotlar asosida analitik modellar o'qitiladi; natijada operator mobil ilova yoki veb-interfeys orqali quritgich holati, don namligi va harorat profilini kuzatib, rejimlarni masofadan sozlashi mumkin bo'ladi [4].

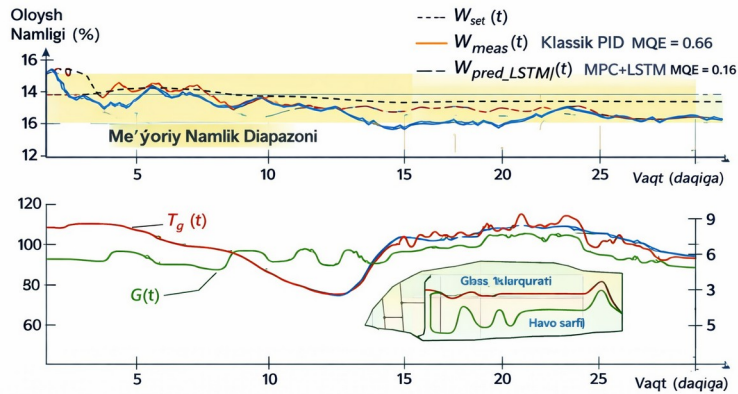


**2-rasm.** IoT sensor tarmog'i asosida don quritish qurilmasini masofaviy monitoring va intellektual boshqaruv arxitekturasini.

### ***Raqamli egizak va intellektual boshqaruv algoritmlari***

Raqamli egizak konsepsiyasida don quritgichning fizik (geometrik, issiqlik-massa almashinuvi, gidrodinamika) va ma'lumotlarga tayanuvchi modellar yagona virtual muhitda birlashtirilib, sensorlardan o'lchanadigan harorat, namlik, oqim va energiya sarfi asosida real vaqtda parametrik identifikatsiya va qayta kalibrlash amalga oshiriladi; bu turli ish rejimlari va iqlim sharoitlarida optimal strategiyalarni xavfsiz sinovdan o'tkazish imkonini beradi. Model prediktiv boshqaruv don namligi va harorat traektoriyalarini dinamik model asosida bashorat qilib, sifat xatosi, energiya

sarfi va ijro mexanizmlari cheklovlari kiritilgan maqsad funksiyasini minimallashtiradi; genetik algoritmlar, SVM yoki chuqur neyron tarmoqlar bilan integratsiya qilingan MPC don quritgichlarida namlik chetlanishini kamaytirish va energiya tejamkorligini oshirishga xizmat qilishi ko‘rsatilgan [5].



**3-rasm.** Don quritish qurilmasida chiqish namligini klassik PID va MPC+LSTM intellektual boshqaruv rejimlarida nazorat qilish natijalarining qiyosiy grafigi (shartli ma'lumotlar asosida).

Data-driven modellar orasida LSTM va konvolyutsion neyron tarmoqlar don oqimida namlikni kontaktsiz, yuqori tezlikda aniqlash va uzluksiz quritish jarayonida chiqish namligini prognozlashda muvaffaqiyatli qo‘llanilmoqda. Ma'lumotlar bo'yicha LSTM modeli klassik empirik modellarga qaraganda past xatolik ( $MAPE < 1\%$ , RMSE pasayishi) bilan namlikni oldindan aytishi qayd etilgan bo'lib, bu modellarni MPC tuzilmasida "yumuq sensor" sifatida ishlatish imkonini beradi [6].

**Xulosa.** IoT sensor tarmog‘i, raqamli egizak va intellektual boshqaruv algoritmlarini birlashtirgan don quritish tizimlari energiya sarfi va  $CO_2$  chiqindilarini kamaytirish, namlikni me'yoriy diapazonda ushlab turish, ortiqcha quritish va termik zararlanishni cheklash hamda masofadan monitoring va diagnostika imkoniyatlarini kengaytiradi. Kelgusida barabanli, shaxtali va kombinatsiyalashgan quritgichlar uchun tajriba-sanoat stendlari

asosida keng qamrovli IoT ma'lumotlar bazasini shakllantirish, issiqlik-massa almashinuvi va ichki namlik profilini hisobga olgan fizika-asoslangan va data-driven gibrid modellarni parametrik identifikatsiya va verifikatsiya qilish, shuningdek, MPC+LSTM kabi algoritmlarni real ob'ektlarda sinash don quritish qurilmalarini intellektuallashtirish hamda qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishida raqamli transformatsiyani chuqurlashtirish uchun istiqbolli yo'nalishdir.

### **Foydalanilgan adabiyotlar ro'yhati**

1. Dai, Y., & Zhou, X. (2013). Intelligent control of a grain drying system using a GA-SVM-IMPC strategy. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 29(15), 191–199.[semanticscholar](#)
2. Duysak, H., Babalik, A., & Yigit, E. (2024). Detection of moisture of flowing grain with a novel deep learning approach. *Biosystems Engineering*, 239, 135–149.[sciencedirect](#)
3. Jin, X., Li, Z., Wang, Y., & Chen, H. (2023). Deep-learning-based model predictive control of an industrial multistage grain dryer. *Processes*, 11(1), 45–63.[pmc.ncbi.nlm.nih](#)
4. Li, H., Zhang, Y., & Liu, J. (2013). Parameters online detection and model predictive control during grain drying process. *The Scientific World Journal*, 2013, Article 924698.[onlinelibrary.wiley](#)
5. Molla, M. T., Rahman, M. M., & Islam, M. S. (2023). IoT-based real-time crop drying and storage monitoring system. *International Journal of Intelligent Systems*, 38(5), 987–1003.[onlinelibrary.wiley](#)
6. Rahman, A., & Saha, P. (2025). Real-time framework for sustainable IoT-based grain drying and storage. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 24(3), 55–67.[iieta](#)