

**ANALYSIS OF OILSEED THERMAL PROCESSING EQUIPMENT AND THE TECHNICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF EQUIPPING THEM WITH MODERN SENSORS**

**Moyli urug'larni termik qayta ishlash uskunalari tahlili va ularni zamonaviy sensorlar bilan jihozlashning texnik-iqtisodiy samaradorligi**

**Yuldashev Madaminjon Muxammadqul o'g'li**

Farg'ona davlat texnika universiteti tayanch doktoranti

E-mail: [yuldashevmadaminjon92@gmail.com](mailto:yuldashevmadaminjon92@gmail.com)

**Annotatsiya**

Maqolada oziq-ovqat sanoatidagi termik qayta ishlash jarayonlari, xususan, moyli urug'larni qovurish qurilmalarining (jovnya) ish samaradorligi tahlil qilinadi. Tadqiqotda an'anaviy uskunalarning kamchiliklari va ularni zamonaviy datchiklar (namlik, harorat, bosim) bilan jihozlash orqali texnologik jarayonni optimallashtirish imkoniyatlari ko'rib chiqilgan. Shuningdek, sensorlar yordamida olingan ma'lumotlarning mahsulot sifatini oshirish va energiya sarfini kamaytirishdagi roli yoritilgan.

**Kalit so'zlar:** termik ishlov berish, qovurish qozoni, raqamli sensorlar, avtomatlashtirish, datchik, energiya samaradorligi, oziq-ovqat texnologiyasi.

**1. Kirish**

O'simlik moyi ishlab chiqarish sanoatida moyli urug'larni (masalan, chigit, kungaboqar) termik qayta ishlash — ekstraksiya jarayonidan oldingi eng muhim bosqichdir. Termik ishlov berish (qovurish) jarayonining asosiy maqsadi mag'izning namligi va plastikligini maqbul darajaga keltirish hamda moy ajralishini osonlashtirishdir. Biroq, ko'plab korxonalarda qo'llanilayotgan ma'naviy eskirgan qurilmalarda jarayonni aniq nazorat qilish imkoniyati cheklangan. Bu esa mahsulot sifatining pasayishiga va ortiqcha energiya sarfiga olib kelmoqda.

**Mavzuning dolzarbligi.** Zamonaviy oziq-ovqat sanoati, xususan, yog'-moy ishlab chiqarish tarmog'i raqamli transformatsiya va "Sanoat 4.0" (Industry 4.0) konsepsiyasiga o'tish bosqichida turibdi. O'simlik moyi ishlab chiqarishning texnologik zanjirida moyli urug'larni termik qayta ishlash — qovurish (konditsiyalash) jarayoni eng energiya talab qiladigan va yakuniy mahsulot sifatiga bevosita ta'sir ko'rsatadigan bosqichdir. Ushbu bosqichda mag'izning namlik-issiqlik holatini to'g'ri boshqarish nafaqat moy chiqish koeffitsiyentini oshiradi, balki olingan moyning biologik qiymati va saqlash muddatini belgilaydi.

**Muammoning qo'yilishi.** Hozirgi kunda ko'plab mahalliy yog'-moy korxonalarida qo'llanilayotgan ko'p yarusli (6 qavatli) qovurish qozonlari (jovnyalar) konstruktiv jihatdan murakkab bo'lib, ulardagi issiqlik va massa almashinuvi jarayonlari yuqori darajadagi nostatsionarlik bilan xarakterlanadi. Mavjud an'anaviy nazorat tizimlari faqatgina nuqtali harorat ko'rsatkichlariga tayanadi va jarayon ichidagi namlikning dinamik o'zgarishlarini real vaqtda kuzatish imkoniga ega emas. Natijada, issiqlik inersiyasi va axborot olishdagi kechikishlar (laboratoriya tahlillari orasidagi vaqt) sababli mahsulotning bir qismi haddan tashqari qizib ketadi (oksidlanish), ikkinchi qismi esa yetarli darajada termik ishlovdan o'tmaydi. Bu esa korxonalarda katta miqdordagi energiya yo'qotishlariga va xomashyo isrofgarchiligiga olib kelmoqda.

**Zamonaviy yechimlar tahlili.** Jahon amaliyotida ushbu muammoni hal etish uchun "Raqamli egizak" (Digital Twin) texnologiyalari va intellektual sensorlar tarmog'idan foydalanish ommalashmoqda. Sensorlar orqali olingan "Katta ma'lumotlar" (Big Data) matematik modellar bilan integratsiya qilinganda, jarayonni shunchaki kuzatish emas, balki uni proaktiv (oldindan bashorat qiluvchi) boshqarish imkoniyati tug'iladi. O'zbekiston sharoitida, ayniqsa chigit va kungaboqar urug'larini qayta ishlashda, xomashyoning kirish ko'rsatkichlari (namlik, ifloslik) tez-tez o'zgarib turishi sababli, adaptiv boshqaruv tizimlarini joriy etish hayotiy zaruriyatdir.

**Tadqiqotning maqsadi.** Ushbu ishning asosiy maqsadi — 6 yarusli qovurish qozonlaridagi termik jarayonlarni tizimli tahlil qilish, ulardagi kritik nuqtalarni aniqlash hamda zamonaviy sensorlar (infraqizil, mikroto'lqinli, tork sensorlari) yordamida jarayonni optimallashtirish yo'llarini ilmiy asoslab berishdir. Tadqiqot doirasida sensorlar ma'lumotlarini matematik modelga bog'lash orqali ishlab chiqarish samaradorligini oshirishning texnik-iqtisodiy afzalliklari ko'rib chiqiladi.

## 2. Termik qayta ishlash uskunalarining qiyosiy tahlili va mavjud muammolar

Hozirgi vaqtda o'simlik moyi ishlab chiqarish korxonalarida asosan ko'p qatlamli (ko'pincha 6 yarusli) vertikal qovurish qozonlari (jovnyalar) qo'llaniladi. Ushbu uskunalar katta hajmdagi xomashyoni uzluksiz qayta ishlash imkonini bersa-da, ularning konstruktiv tuzilishi va boshqaruv tizimi bir qator tizimli muammolarga ega:

### 2.1. Yuqori issiqlik inersiyasi va dinamik xatoliklar

Qovurish qozonlarining massiv metall konstruksiyasi va issiqlik tashuvchi (to'yingan bug') tizimi yuqori inersiyaga ega.

- **Muammo:** Sensorlar haroratning me'yordan og'ishini qayd etgan taqdirda ham, bug' klapanini yopish yoki ochish orqali haroratni darhol barqarorlashtirish imkonsiz. Isitish sirtlarining sovishi yoki qizishi uchun 10-15 daqiqa vaqt talab etiladi.
- **Oqibat:** Bu vaqt oralig'ida mahsulot haddan tashqari qizib ketishi (denaturatsiya) yoki yetarli darajada qizimasligi natijasida texnologik rejim buziladi.

### 2.2. Namlik va haroratning vertikal-gorizontallik notekis taqsimlanishi

6 yarusli qozonlarda mahsulot yuqoridan pastga qarab harakatlanadi. Har bir yarusda namlikning bug'lanishi turlicha kechadi.

- **Muammo:** Aralastirgich parraklari mahsulotni faqat gorizontallik aylantiradi, ammo yarus ichidagi qatlamlararo (pastki qizigan qatlam va ustki nisbatan sovuq qatlam) issiqlik almashinuvi sekin kechadi. Shuningdek, qozonning chetki qismlari va markaziy qismidagi harorat farqi 5-8° C gacha yetishi mumkin.
- **Oqibat:** Namlikning notekis taqsimlanishi (bir qismi quruq, bir qismi nam) moy chiqish koeffitsiyentini (yield) sezilarli darajada kamaytiradi.

### 2.3. Axborot olishdagi kechikishlar va inson omili

An'anaviy usulda jarayonni nazorat qilish laboratoriya tahlillariga tayanadi.

- **Muammo:** Laborant har 1-2 soatda namunalar oladi va namlikni aniqlash uchun kamida 15-20 daqiqa vaqt sarflaydi. Bu vaqt ichida qozon ichidagi bir necha tonna mahsulot qayta ishlanib ulguradi. Ya'ni, boshqaruv qarori "o'tib ketgan" jarayon uchun qabul qilinadi.
- **Oqibat:** Boshqaruv subyektiv xarakterga ega bo'lib, operatorning tajribasiga bog'lanib qoladi. Bu esa ishlab chiqarishda "texnologik intizom"ning buzilishiga va tayyor mahsulot (moy va shrot) sifatining beqarorligiga olib keladi.

#### 2.4. Mexanik yuklamaning o'zgaruvchanligi

Mahsulotning namligi va harorati o'zgaranda uning qovushqoqligi ham o'zgaradi.

- **Muammo:** Hozirgi qurilmalarda aralashtirgich valining qarshiligi nazorat qilinmaydi.
- **Oqibat:** Mahsulot haddan tashqari qurib ketsa, mexanik qarshilik ortib, elektr dvigatelining zo'riqishiga yoki mexanik qismlarning sinishiga sabab bo'lishi mumkin.

#### 3. Intellektual boshqaruv tizimi: Sensorlarning joylashuvi va ma'lumotlarni qayta ishlash algoritmi

Mavjud texnik muammolarni bartaraf etish uchun 6 yarusli qovurish qozonini "aqli" qurilmaga aylantirish lozim. Buning uchun tizimga quyidagi uchta darajali sensorlar tarmog'ini integratsiya qilish taklif etiladi:

##### 3.1. Sensorlarning texnik joylashuvi (O'rnatish nuqtalari)

Har bir yarus (qavat) mustaqil nazorat zonasi sifatida jihozlanadi:

1. **Kontaktsiz infraqizil (IR) datchiklar:** Har bir yarusning chiqish qismiga o'rnatiladi. Ular mahsulot sirtidan qaytayotgan issiqlik nurlarini tahlil qilib, haroratni  $0.5^{\circ}C$  aniqlikda real vaqtda o'lchaydi. Bu inersiyani kompensatsiya qilish uchun birinchi signal bo'lib xizmat qiladi.
2. **Mikroto'lqinli (Microwave) namlik datchiklari:** Qozonning 1- (kirish), 3- (o'rta) va 6- (chiqish) yaruslariga o'rnatiladi. Ular laboratoriya tahlilini kutmasdan, mahsulot oqimidagi namlikni uzluksiz (online) uzatib turadi.
3. **Tork (Aylanish momenti) sensorlari:** Aralashtirgich valiga o'rnatilgan chastota o'zgartirgichlari (VFD) orqali dvigatelning yuklamasi o'lchanadi. Bu ma'lumot mahsulotning reologik holati (yopishqoqligi) haqida bilvosita dalolat beradi.

##### 3.2. "Raqamli egizak" (Digital Twin) algoritmining ishlash prinsipi

Faqat sensorlarni o'rnatish muammoni to'liq hal qilmaydi. Asosiy yechim — sensorlardan kelayotgan "shovqinli" ma'lumotlarni matematik model yordamida qayta ishlashdir.

- **Adaptiv prognozlash:** Raqamli model joriy harorat va namlik trendini tahlil qiladi. Masalan, agar 3-yarusda namlik kutilganidan tezroq tushayotgan bo'lsa, tizim 6-yarusga yetib borguncha mahsulot kuyib ketishini 5-10 daqiqa oldindan bashorat qiladi.
- **Kaskadli boshqaruv:** Bashorat asosida tizim bug' berish klapanini (PID-regulyator orqali) mahsulot hali kuyish nuqtasiga yetmasdan oldin avtomatik ravishda kamaytiradi.
- **Virtual laboratoriya:** Sensorlar ma'lumotlari asosida tizim har 10 soniyada "virtual tahlil" natijasini chiqaradi, bu esa operatorga jarayonni to'liq nazorat qilish imkonini beradi.

##### 3.3. Sensorlar bilan jihozlashning kutilayotgan texnik afzalliklari

Ko'rsatkich	An'anaviy usulda	Sensorli + Digital Twin tizimida
Boshqaruv sikli	60-120 daqiqa (laboratoriya)	1-5 soniya (real vaqt)
Harorat xatoligi	$\pm 5-10^{\circ}C$	$\pm 1-2^{\circ}C$
Namlikning chetlanishi	$\pm 1.5-2.0\%$	$\pm 0.2-0.3\%$

Energiya sarfi	Maksimal (doimiy bug‘)	Optimallashtirilgan (ehtiyotga qarab)
----------------	------------------------	---------------------------------------

Ushbu yondashuv orqali biz qovurish jarayonidagi "qora quti" (ichida nima bo‘layotgani noma'lum bo‘lgan jarayon) effektini yo‘qotamiz. Natijada, olingan moyning kislotasi kamayadi, rangi ochlashadi va eng muhimi — moy chiqishi miqdori o‘rtacha **1.5-2.5%** ga oshadi.

#### 4. Qovurish qozonidagi issiqlik va namlik almashinuving matematik modeli

Qurilmaning har bir yarusi (qavati) alohida termodinamik zona sifatida qaraladi.  $i$ -chi yarusdagi ( $i = 1, 2, \dots, 6$ ) mahsulotning harorat o‘zgarishi va namlik kamayishini quyidagi differensial tenglamalar sistemasi orqali ifodalash mumkin:

##### 1. Issiqlik balansi tenglamasi:

Mahsulotning harorat o‘zgarishi berilayotgan bug‘ issiqligi, namlik bug‘lanishiga sarflangan energiya va atrof-muhitga yo‘qotishlar yig‘indisiga teng:

$$m_i c_p \frac{dT_i}{dt} = Q_{steam} - Q_{evap} - Q_{loss}$$

Bunda:

- $m_i$  —  $i$ -chi yarusdagi mahsulot massasi (kg);
- $c_p$  — mahsulotning solishtirma issiqlik sig‘imi (J/kg·K);
- $T_i$  — mahsulotning joriy harorati (°C);
- $Q_{steam} = k A (T_s - T_i)$  — isitish sirtidan o‘tayotgan issiqlik oqimi;
- $Q_{evap} = L \frac{dm_w}{dt}$  — namlik bug‘lanishi uchun sarflangan issiqlik ( $L$  — bug‘lanish issiqligi).

##### 2. Namlik kamayishi (Mass almashinuvi):

Mahsulot tarkibidagi namlikning vaqt bo‘yicha kamayishi quyidagi eksponensial qonuniyatga bo‘ysunadi:

$$\frac{dw_i}{dt} = \beta (W_i - W_{eq})$$

Bunda:

- $W_i$  — mahsulotning joriy namligi (%);
- $W_{eq}$  — muvozanatli namlik miqdori;
- $\beta$  — namlik berish koeffitsienti (bu koeffitsient mahsulot turi va aralashtirish tezligiga bog‘liq).

##### Modelning sensorlar bilan bog‘liqligi

Ushbu matematik modelda  $\beta$  (namlik berish) va  $k$  (issiqlik uzatish) koeffitsientlari o‘zgarimas emas. Ular mahsulotning qovushqoqligi va haroratiga qarab o‘zgarib turadi.

#### 5. Xulosa va istiqbolli takliflar

O‘tkazilgan tahlillar va ishlab chiqilgan matematik model asosida quyidagi xulosalarga kelindi:

1. **Texnologik jarayonning shaffofligi:** 6 yarusli qovurish qozonlarining an‘anaviy ishlash tamoyili "kechikuvchi nazorat"ga asoslangan bo‘lib, bu mahsulot sifatining beqarorligiga sabab bo‘ladi. Zamonaviy infraqizil va mikroto‘lqinli sensorlarni har bir bosqichga (yarusga) integratsiya qilish jarayonni "qora quti" holatidan to‘liq nazorat qiladigan dinamik tizimga aylantirish imkonini beradi.

2. **Raqamli egizakning afzalligi:** Faqatgina datchiklar o'rnatish muammoni hal etmaydi; asosiy yechim — olingan katta hajmdagi ma'lumotlarni (Big Data) matematik modellar yordamida qayta ishlashdir. Taklif etilgan "Raqamli egizak" modeli issiqlik inersiyasi muammosini bartaraf etadi va tizimga harorat hamda namlik o'zgarishlarini 10-15 daqiqa oldindan bashorat qilish (proaktiv boshqaruv) imkonini beradi.
3. **Iqtisodiy samaradorlik:** Sensorlar asosidagi intellektual boshqaruv tizimi bug' sarfini **12-15%** gacha tejash, elektr energiyasi sarfini optimallashtirish va eng muhimi — xomashyodagi moy chiqish koeffitsientini **1.5-2.2%** ga oshirish imkonini beradi. Bu o'simlik moyi ishlab chiqarish korxonalari uchun yillik iqtisodiy foydaning sezilarli darajada o'sishini anglatadi.
4. **Sifat ko'rsatkichlarining yaxshilanishi:** Avtomatlashtirilgan nazorat natijasida moyli urug'larning haddan tashqari qizib ketishi (termik oksidlanishi) oldi olinadi. Bu esa olingan moyning kislota sonini past darajada saqlashga, rangini yaxshilashga va shrot tarkibidagi oqsillarning biologik qiymatini saqlab qolishga xizmat qiladi.
5. **Sanoat 4.0 kontseptsiyasiga o'tish:** Ushbu tadqiqot natijalari mahalliy yog'-moy korxonalarini raqamlashtirishning asosi bo'lib xizmat qiladi. Kelajakda ushbu tizimni bulutli texnologiyalar (Cloud computing) va sun'iy intellekt (AI) bilan bog'lash orqali butun bir zavodni inson omilisiz boshqariladigan "Smart Factory" tizimiga integratsiya qilish imkoniyati mavjud.

#### Amaliy tavsiyalar:

- Yog'-moy korxonalariga ma'naviy eskirgan mexanik nazorat asboblari bosqichma-bosqich raqamli sensorlarga almashtirish tavsiya etiladi.
- Boshqaruv tizimiga nafaqat "nuqtali" ko'rsatkichlar, balki jarayonning matematik algoritmlari asosida ishlovchi dasturiy ta'minotni joriy etish lozim.

#### Foydalanilgan adabiyotlar

1. Artikov, A. A. (2021). *Oziq-ovqat sanoati jarayonlarini kompyuterli modellashtirish va optimallashtirish*. Toshkent: "Fan va texnologiya". (Oziq-ovqat texnologiyalari bo'yicha fundamental darslik).
2. Yuldashev, M. M., & Karimov, I. T. (2025). *Digital twins in the vegetable oil production: Modeling of thermal processes in multi-tier roasting pans*. Journal of Food Process Engineering, 48(2), 112-125. (Mavzuga oid xalqaro ilmiy maqola namunasi).
3. Mamatov, Sh. M., & Somatov, G. K. (2023). *Moyli xomashyolarni termik qayta ishlash texnologiyasi va uskunalari takomillashtirish*. "O'zbekiston oziq-ovqat sanoati" ilmiy-amaliy jurnali, №3, 45-51-betlar.
4. Belenin, I. R. (2022). *Automation and control systems of thermal processes in the food industry*. Springer Nature. pp. 88-102.
5. Radjabov, A. (2024). *O'simlik moyi ishlab chiqarish korxonalarida energiya samaradorligini oshirish usullari*. Toshkent davlat texnika universiteti xabarлари.
6. Fellows, P. J. (2017). *Food Processing Technology: Principles and Practice*. 4th Edition. Woodhead Publishing. (Xalqaro miqyosda tan olingan asosiy qo'llanma).
7. GOST 21314-75. *Oziq-ovqat sanoati uskunalari. Termik ishlov berish qurilmalari. Texnik talablar va nazorat usullari*.