



UO'K: 631.365.9:662.997.6:519.242

Quyosh energiyasidan foydalanib paxta xomashyosini quritish qurilmasini tadqiq etish

Muxammadiev Davlat Mustafaevich

Texnika fanlari doktori, professor

O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi

M.T. Urazboyev nomidagi Mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi instituti,

Toshkent, O'zbekiston

e-mail: davlat_mm@mail.ru Tel: +998 97 422 70 56

Kenjayev Suhrobjon Begmamatovich

stajor tadqiqotchi

O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi

M.T. Urazboyev nomidagi Mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi instituti,

Toshkent, O'zbekiston

e-mail: sir.suxrob@gmail.com Tel: +998 99 103 92 15

Axmedov Xamidulla Abduxoshimovich

texnika fanlari doktori

O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi M.T. Urazboyev nomidagi Mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi instituti, Toshkent, O'zbekiston

e-mail: hamidulla009@inbox.ru Tel: +998 90 933 52 56

ANNOTATSIYA

Maqolada paxta xomashyosini dala sharoitida yig'ib olingandan so'ng tozalash-ajratish korxonalariga yetkazilgunga qadar me'yoriy namligini (7–9 %) tushirish maqsadida quyosh energiyasidan foydalanuvchi gelioqurilmaning asosiy konstruktiv-texnologik parametrlarini fanlararo issiqlik-massa almashinuvi, konvektiv issiqlik uzatish nazariyasi, quritish kinetikasi va eksergetik tahlil, uyg'unlashtirilgan yondashuv asosida analitik asoslash masalasi ko'rib chiqilgan. Kollektor havo yo'lidagi konvektiv issiqlik uzatish koeffitsiyenti Reynolds–Nusselt–Prandtl mezonlari orqali, kollektorning issiqlik FIK ni esa ikkinchi tartibli Hottel–Uillier–Blis xarakteristika tenglamasi orqali aniqlangan. Quritish jarayoni Page yarim empirik modeli va Arrenius tipidagi harorat-diffuziya bog'lanishi bilan, jarayonning termodinamik mukammalligi esa eksergetik FIK orqali baholangan. Kollektor yuzasi va havo sarfi bo'yicha ko'p omilli optimallashtirish javob sirti metodikasi (RSM) asosida ikkinchi tartibli regressiya modeli yordamida amalga oshirilgan. 1000 kg/soat unumdorlikka ega qurilma uchun namlikni 10 % dan 7 % gacha tushirish sharti bo'yicha kollektor yuzasi, havo sarfi, harorat va quritish davomiyligining raqamli qiymatlari aniqlangan hamda ularning quyosh radiatsiyasi o'zgarishiga sezgirligi grafik-analitik tarzda tahlil qilingan. O'zbekistonning yuqori quyosh salohiyati va paxta terimi mavsumining quyoshli oylarga to'g'ri kelishini hisobga olib, chiqish havosi haroratini barqarorlashtirish uchun adaptiv avtomatik boshqarish tizimini joriy etish tavsiya etilgan.

Kalit so'zlar:

paxta xomashyosi, quyosh kollektori, issiqlik-massa almashinuvi, Nusselt kriteriyasi, quritish kinetikasi, Page modeli, eksergetik tahlil, javob sirti metodikasi, avtomatik boshqarish.

Исследование устройства для сушки хлопка с использованием солнечной энергии



АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается вопрос аналитического обоснования основных конструктивных и технологических параметров солнечного устройства для снижения стандартной влажности (7–9%) хлопкового сырья после сбора урожая в поле перед поставкой на предприятия по очистке и сепарации на основе междисциплинарного тепломассопереноса, теории конвективного теплообмена, кинетики сушки и эксергетического анализа, а также единого подхода. Коэффициент конвективного теплообмена в воздушном тракте коллектора определялся с использованием критерия Рейнольдса–Нуссельта–Прандтля, а тепловой коэффициент теплового потока коллектора (КТП) — с использованием характеристического уравнения второго порядка Хоттеля–Вилле–Блисса. Процесс сушки оценивался с использованием полуэмпирической модели Пейджа и температурно-диффузионной зависимости типа Аррениуса, а термодинамическое совершенство процесса оценивалось с использованием эксергетического КТП. Многофакторная оптимизация площади поверхности коллектора и расхода воздуха проводилась с использованием регрессионной модели второго порядка на основе методологии поверхности отклика (МПО). Для устройства производительностью 1000 кг/ч были определены числовые значения площади поверхности коллектора, расхода воздуха, температуры и продолжительности сушки при условии снижения влажности с 10% до 7%, а также проведен графический и аналитический анализ их чувствительности к изменениям солнечной радиации. Учитывая высокий солнечный потенциал Узбекистана и тот факт, что сезон сбора хлопка приходится на солнечные месяцы, рекомендуется внедрить адаптивную систему автоматического управления для стабилизации температуры выходящего воздуха..

Ключевые слова:

хлопковое сырье, солнечный коллектор, тепло-массоперенос, критерий Нуссельта, кинетика сушки, модель Пейджа, эксергетический анализ, методология поверхности отклика, автоматическое управление.

Research on a device for drying raw cotton using solar energy

ABSTRACT

The article addresses the analytical substantiation of the key design and technological parameters of a solar-powered drying unit intended to reduce the moisture content of raw cotton (from field harvest levels to the standard 7–9%) prior to its delivery to processing facilities. This substantiation is based on an integrated approach incorporating interdisciplinary heat and mass transfer, convective heat transfer theory, drying kinetics, and exergetic analysis. The convective heat transfer coefficient within the collector's airflow channel was determined using Reynolds, Nusselt, and Prandtl criteria, while the collector's thermal efficiency was calculated via the second-order Hottel–Whillier–Bliss characteristic equation. The drying process was modeled using the Page semi-empirical model and an Arrhenius-type temperature-diffusion relationship, with the process's thermodynamic efficiency evaluated through exergetic efficiency. Multi-factor optimization regarding collector surface area and airflow rate was performed using a second-order regression model based on the Response Surface Methodology (RSM). For a unit with a capacity of 1000 kg/h, numerical values for collector surface

Keywords:

raw cotton, solar collector, heat and mass transfer, Nusselt number, drying kinetics, Page model, exergy analysis, response surface methodology, automatic control.



area, airflow rate, temperature, and drying duration were determined to meet the requirement of reducing moisture content from 10% to 7%, and their sensitivity to fluctuations in solar radiation was analyzed through a combined graphical and analytical approach. Given Uzbekistan's high solar potential and the fact that the cotton harvesting season coincides with sunny months, it is recommended to implement an adaptive automatic control system to stabilize the exhaust air temperature..

1. KIRISH

Paxtachilik O'zbekiston qishloq xo'jaligi va yengil sanoatining strategik tarmog'i bo'lib, yig'ib olingan paxta xomashyosini tozalash-ajratish (jinlash) korxonalariga yetkazish va qayta ishlashdan avval uning namligini texnologik me'yorga (odatda 7–9 %) tushirish muhim texnologik bosqich hisoblanadi. Namligi yuqori xomashyo uzoq saqlanganda o'z-o'zidan qizib ketishi, mog'orlanishi va tola sifatining pasayishiga olib keladi, shuningdek arra jinlari, chigit ajratish va lint mashinalarining ishchi organlariga ortiqcha yuklama tushiradi.

Hozirgi vaqtda paxta xomashyosini quritish, asosan, tabiiy gaz yoki suyuq yoqilg'ida ishlaydigan baraban (drum) tipidagi quritgichlarda amalga oshiriladi, bu esa korxona xarajatlarini oshiradi va atmosferaga zararli chiqindilar miqdorini ko'paytiradi. Yoqilg'i narxining o'sishi, uglerod izini kamaytirish bo'yicha xalqaro majburiyatlar va ekologik talablarning kuchayishi muqobil, qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan, xususan quyosh energiyasidan foydalanish zaruratini keltirib chiqarmoqda.

O'zbekiston yiliga o'rtacha 300 taga yaqin quyoshli kunga va 2800–3000 soat quyosh radiatsiyasi davomiyligiga ega bo'lgan mamlakatlar qatoriga kiradi [18]. Bundan tashqari, paxta terimi va uni birlamchi qayta ishlash mavsumi (sentabr–noyabr) hududda quyosh radiatsiyasi hali yetarlicha yuqori bo'lgan davrga to'g'ri keladi, bu esa qishloq xo'jaligida suv va energiya resurslaridan samarali foydalanish bo'yicha davlat siyosati doirasida [19] quyosh energiyasidan foydalanuvchi quritish qurilmalarini paxta tozalash korxonalarida qo'llash uchun qulay tabiiy-iqlim va institutsional sharoit yaratadi.

Qishloq xo'jaligi va oziq-ovqat mahsulotlarini quyosh energiyasi yordamida quritish bo'yicha xorijda keng tadqiqotlar olib borilgan: uzum, o'rik, achchiq qalampir, banan, qahva, ginger va boshqa mahsulotlar uchun to'g'ridan-to'g'ri, bilvosita, gibrid va issiqlik akkumulyatorli quritgichlar ishlab chiqilgan, ularning issiqlik-energetik samaradorligi va quritish kinetikasi turli yarim empirik modellar (Page, Henderson–Pabis, Midilli–Kuchuk) yordamida tahlil qilingan [3–7]. So'nggi o'n yillikda quritish tizimlarini faqat birinchi termodinamika qonuni (energiya balansi) emas, balki ikkinchi qonun asosidagi ekserginetik tahlil bilan ham baholash tendensiyasi kuchaymoqda: turli tipdagi quyosh quritgichlari uchun ekserginetik FIK 5 % dan 70 % gacha oralig'ida qayd etilgan, bu esa tizim komponentlarini takomillashtirish imkoniyatlarini aniqlashga xizmat qiladi [11–15]. Parallel ravishda, quritgich konstruktiv parametrlarini (kollektor yuzasi, kanal balandligi, havo sarfi) ko'p omilli statistik usullar, javob sirti metodikasi (RSM) va markaziy kompozitsion reja (CCD) yordamida optimallashtirish keng qo'llanilmoqda [16, 17, 20].

Shu bilan birga, mavjud adabiyotlarning aksariyati mevasabzavot va oziq-ovqat mahsulotlarining nisbatan yupqa qatlamda quritilishiga bag'ishlangan bo'lib, paxta xomashyosiga xos xususiyatlari, uning yuqori tolali-g'ovakli tuzilishi, katta hajmda (bunker yoki oqim tarzida) qayta ishlanishi, sanoat unumdorligi darajasidagi (yuzlab–minglab kg/soat) energiya talabi va yong'in xavfsizligi cheklovlarini hisobga olgan holda, konvektiv issiqlik uzatish, quritish kinetikasi, ekserginetik tahlil va ko'p omilli optimallashtirishni yagona metodik yondashuvda birlashtirib qurilma parametrlarini asoslashga bag'ishlangan ishlar yetarli emas.

Ushbu maqolaning ilmiy yangiligi va maqsadi paxta xomashyosini quritish uchun mo'ljallangan quyosh energiyasidan foydalanuvchi qurilmaning asosiy parametrlarini (kollektor yuzasi, isitilgan havo sarfi va harorati, quritish davomiyligi) issiqlik-massa balansi, konvektiv issiqlik uzatish nazariyasi (Reynolds–Nusselt–Prandtl mezonlari), Page quritish kinetikasi modeli



va eksergetik tahlil tenglamalarini o'zaro bog'lagan yagona analitik-hisoblash metodikasi asosida aniqlash, parametrlarni RSM usulida optimallashtirish va quyosh radiatsiyasining o'zgaruvchanligi sharoitida havo haroratini barqarorlashtirish uchun avtomatik boshqarish tizimiga qo'yiladigan talablarni belgilashdan iborat.

2. MATERIALLAR VA TADQIQOT METODOLOGIYASI

2.1. Tadqiqot ob'ekti va texnologik sxema

Tadqiqot ob'ekti sifatida boshlang'ich namligi W_1 bo'lgan paxta xomashyosi qabul qilingan bo'lib, uni namligini texnologik talab darajasi W_2 gacha tushirish talab etiladi. Qurilmaning texnologik sxemasi quyidagi asosiy tugunlardan iborat: tekis plastinali havo isitgich-quyosh kollektorlari batareyasi; havo haydovchi ventilyator; kollektordan quritish kamerasiga (bunker yoki tasmali quritgich) isitilgan havoni uzatuvchi havo yo'li; bulutli kunlar va oqshom soatlarida ishlatiladigan zaxira (elektr yoki gaz) isitgich; issiqlikni to'plash uchun issiqlik akkumulyatori (masalan, tosh qatlamli); havo haroratini belgilangan diapazonda ushlab turuvchi avtomatik boshqarish bloki.

2.2. Massa va issiqlik balansi tenglamalari

Xomashyodan bug'lanishi lozim bo'lgan namlik miqdori massa balansi tenglamasidan aniqlanadi:

$$\Delta W = G_1 \cdot \frac{(W_1 - W_2)}{(100 - W_2)} \quad (1)$$

bu yerda

G_1 — xomashyoning boshlang'ich (nam) sarfi, kg/soat; W_1, W_2 mos ravishda boshlang'ich va yakuniy namlik, %.

Namlikni bug'lantirish va materialni qizdirish uchun zarur bo'lgan issiqlik quvvati:

$$Q = k_3 \cdot \Delta W \cdot r \quad (2)$$

bu yerda

r - suvning bug'lanish issiqligi ($r \approx 2260$ kJ/kg); k_3 — materialni qizdirish va issiqlik yo'qotishlarini hisobga oluvchi zaxira koeffitsiyenti ($k_3 = 1,10 \dots 1,20$).

2.3. Kollektor havo yo'lidagi konvektiv issiqlik uzatishni aniqlash

Kollektor kanalidagi havo oqimi rejimini va konvektiv issiqlik uzatish koeffitsiyentini aniqlash uchun o'xshashlik nazariyasining Reynolds, Prandtl va Nusselt mezonlaridan foydalaniladi. Havo oqimining Reynolds soni:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d_h}{\mu} \quad (3)$$

bu yerda ρ, μ havoning zichligi va dinamik yopishqoqligi; v - kanaldagi havo tezligi; d_h - kanalning gidravlik diametri. Turbulent rejim ($Re > 2300$) uchun Nusselt soni Dittus–Bolter tenglamasi bilan aniqlanadi:

$$Nu_f = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad (4)$$

Bu yerdan havo tomonidan kollektor plitasiga (yoki plitadan havoga) konvektiv issiqlik uzatish koeffitsiyenti topiladi:

$$h = \frac{Nu_f \cdot \lambda}{d_h} \quad (5)$$

bu yerda λ - havoning issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti. Aniqlangan h qiymati kollektorning umumiy issiqlik yo'qotish koeffitsiyenti U_L ni va, demak, foydali issiqlik quvvatini hisoblashda ishtirok etadi, bu esa quyidagi bandda ko'rsatilgan kollektor FIK modelining fizik asosini tashkil etadi.

2.4. Quyosh kollektorining issiqlik xarakteristikasi

Quyosh kollektorining foydali issiqlik quvvati Hottel–Uillier–Blis tenglamasi asosida ifodalanadi:

$$Q_k = A \cdot (I \cdot (\tau \alpha) - U_L \cdot (T_p - T_a)) \quad (6)$$

Amaliy hisoblarda kollektorning oniy FIK si sinov natijalariga muvofiq ikkinchi tartibli (EN 12975 tipidagi) xarakteristika tenglamasi bilan ifodalanadi:



$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \cdot x - a_2 \cdot I \cdot x^2 \quad (7)$$

bu yerda
 $x = \frac{T_p - T_a}{I}$ keltirilgan harorat farqi, K·m²/Vt; η_0 — kollektorning optik FIK si; a_1, a_2 — issiqlik yo‘qotish koeffitsiyentlari. Talab etiladigan issiqlik quvvatini (2) ta‘minlash shartidan $Q = Q_k$ kelib chiqib, kollektorning zarur yuzasi aniqlanadi:

$$A = \frac{Q}{I \cdot \eta_k} \quad (8)$$

Isitilgan havoning zarur sarfi issiqlik balansi $Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta t$ tenglamasidan topiladi:

$$\dot{m} = \frac{Q}{c_p \cdot \Delta t}, \quad V = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (9)$$

bu yerda c_p — havoning solishtirma issiqlik sig‘imi ($c_p \approx 1,005$ kJ/(kg·K)); Δt - havoning kollektordagi qizish farqi, °C; V - havoning hajmiy sarfi, m³/soat.

2.5. Quritish kinetikasi va namlik diffuziyasi

Paxta tolasining yupqa qatlamda quyosh energiyasi bilan isitilgan havoda quritilish jarayoni yarim empirik Page modeli bilan tavsiflanadi:

$$MR = \frac{W - W_e}{W_0 - W_e} = \exp(-k \cdot \tau^n) \quad (10)$$

bu yerda MR — namlik nisbati (moisture ratio); W, W_0, W_e — joriy, boshlang‘ich va muvozanat namlik; k, n — havo harorati va tezligiga bog‘liq empirik koeffitsiyentlar; τ — quritish davomiyligi. Modeldan quritish davomiyligini aniqlash uchun:

$$\tau = (-\ln MR / k)^{1/n} \quad (11)$$

Koeffitsiyent k ning havo haroratiga bog‘liqligi Arrenius tipidagi tenglama bilan tavsiflanadi, bu esa harorat oshishi bilan effektiv namlik diffuziyasi D_{eff} ning ortishini ifodalaydi:

$$D_{eff} = D_0 \cdot \exp \frac{-E_a}{R \cdot (T + 273,15)} \quad (12)$$

bu yerda D_0 - old eksponensial ko‘paytuvchi; E_a - quritish faollashuv energiyasi, kJ/mol; R - universal gaz doimiysi. Bunker yoki tasmali qurilmada material qatlami qalinligi $h > 0$ bo‘lganda ichki issiqlik va namlik ko‘chish qarshiligini hisobga olish maqsadida (11) natijasi tajriba-analitik tuzatish koeffitsiyenti k_β bilan ko‘paytiriladi:

$$\tau_{amaliy} = k_\beta \cdot \tau \quad (k_\beta = 3 \dots 5).$$

2.6. Jarayonning ekserginetika tahlili

Quritish jarayonining termodinamik mukammalligini faqat energiya balansi emas, balki ikkinchi termodinamika qonuni asosida ham baholash maqsadga muvofiq. Kirish va chiqish havo oqimlarining eksergiyasi umumiy ko‘rinishda quyidagicha aniqlanadi:

$$Ex_i = \dot{m} \cdot c_p \cdot \left((T_i - T_a) - T_a \cdot \ln \frac{T_i}{T_a} \right) \quad (13)$$

bu yerda T_i — mos oqimning (kirish yoki chiqish havosi) mutlaq harorati, K; T_a — atrof-muhitning mutlaq harorati (o‘lchov muhiti), K. Tizimning ekserginetika FIK si kirish va chiqish eksergiyalari nisbati orqali topiladi:

$$\psi = 1 - \frac{Ex_{yo'qotish}}{Ex_{kirish}} \quad (14)$$

Adabiyotlarda turli konstruksiyadagi quyosh quritgichlari uchun $\psi = 0,05 \dots 0,72$ oralig‘ida qayd etilgan bo‘lib [11–15], quritish kamerasi konstruksiyasi, havo sarfi va radiatsiya darajasi ekserginetika FIK ning asosiy omillari hisoblanadi.

2.7. Parametrlarni RSM asosida ko‘p omilli optimallashtirish

Kollektor yuzasi A va havo sarfi V energiya samaradorligi mezoniga (Y) birgalikda ta‘sir ko‘rsatishi sababli, ularning o‘zaro bog‘liqligini baholash uchun javob sirti metodikasi (RSM) doirasida ikkinchi tartibli regressiya modeli qo‘llaniladi [16, 17, 20]:

$$Y = b_0 + b_1 A + b_2 V + b_{11} A^2 + b_{22} V^2 + b_{12} AV \quad (15)$$

bu yerda $b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{22}, b_{12}$ — markaziy kompozitsion reja (CCD) bo‘yicha o‘tkazilgan hisoblash tajribalari natijalaridan eng kichik kvadratlar usulida topiladigan regressiya koeffitsiyentlari. Model asosida qurilgan javob sirti $Y(A, V)$ maksimumini topish orqali kollektor



yuzasi va havo sarfining o'zaro kelishilgan (Pareto ma'nosida optimal) qiymatlari A, V aniqlanadi (3-band, 2-rasm). Diskret qidiruv fazosi katta bo'lgan hollarda RSM modeli genetik algoritim (GA) uchun fitnes-funksiya sifatida ishlatilishi, bu esa muallifning uzatish-tashish mexanizmlarini boshqarish bo'yicha oldingi tadqiqotlarida qo'llangan RSM-GA uslubiga mos keladi [20, 21].

2.8. Chiqish havosi haroratini avtomatik barqarorlashtirish

Quyosh radiatsiyasi kun davomida va ob-havoga qarab o'zgaruvchan bo'lganligi sababli, chiqish havosi harorati t_{chiq} ni berilgan diapazonda ($\pm 2 \dots 3$ °C) barqarorlashtirish uchun zaxira isitgich quvvatini boshqaruvchi regulyator zarur. Bunday sharoitda o'lchash shovqinlari va modellashtirish noaniqliklariga chidamli boshqarish algoritmlari kengaytirilgan Kalman filtri (EKF) asosida holatni baholash va sirpanuvchi rejimli boshqarish (SMC) - samarali hisoblanadi, bu esa muallifning adaptiv EKF-SMC-NN boshqarish tizimlari bo'yicha tadqiqotlari bilan uzviy bog'liqdir.

3. NATIJALAR

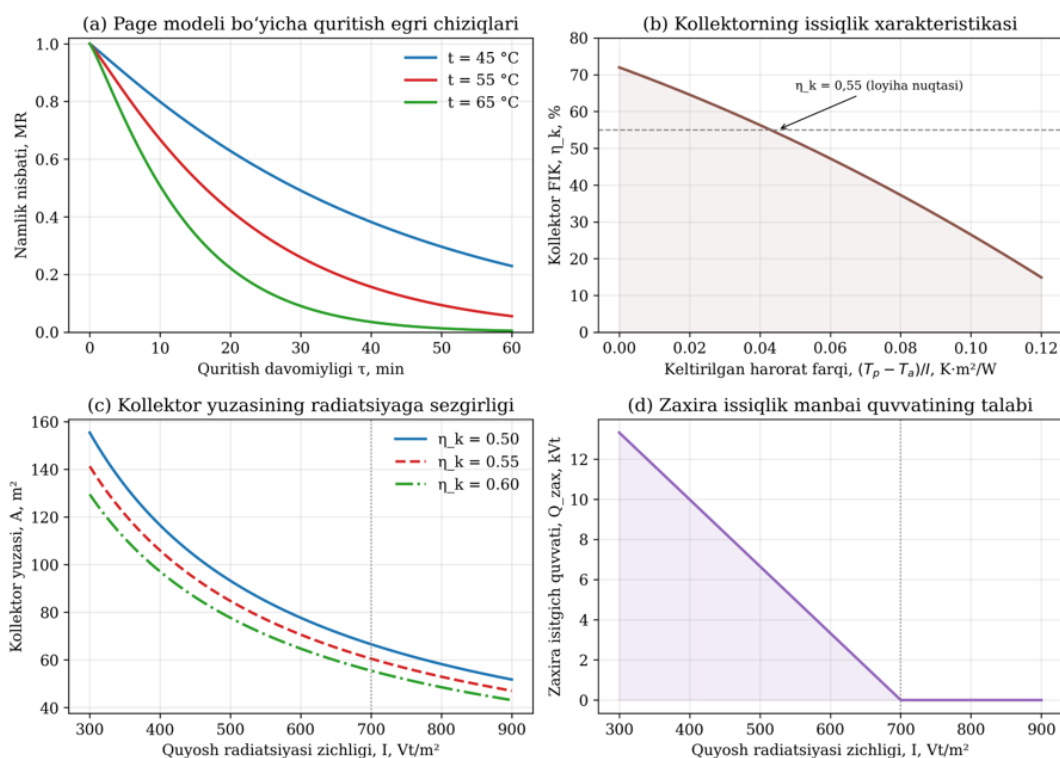
Ishlab chiqilgan metodika 1000 kg/soat unumdorlikka ega, paxta xomashyosi namligini 10 % dan 7 % gacha kamaytiruvchi quyosh energiyasidan foydalanuvchi qurilma uchun sinov hisoblarida qo'llanildi. Boshlang'ich ma'lumotlar va hisoblash natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Qurilmaning hisoblangan asosiy parametrlari

Parametr	Belgisi	Qiymati
Paxta xomashyosi sarfi	G_1	1000 kg/soat
Boshlang'ich namlik	W_1	10 %
Talab etilgan yakuniy namlik	W_2	7 %
Ajratiladigan namlik miqdori	ΔW	$\approx 32,3$ kg/soat
O'rtacha quyosh radiatsiyasi zichligi	I	700 Vt/m ²
Havo oqimi Reynolds soni	Re	$\approx 4,8 \cdot 10^3$
Konvektiv issiqlik uzatish koeffitsiyenti	h	$\approx 18,4$ Vt/(m ² ·K)
Kollektorning issiqlik FIK si	η_k	0,55
Talab etiladigan issiqlik quvvati	Q	$\approx 23,3$ kVt
Kollektor yuzasi (asosiy)	A	$\approx 60,5$ m ²
Havoning qizishi (harorat farqi)	Δt	32 °C (28→60 °C)
Isitilgan havo sarfi (massaviy)	$\dot{m}$	≈ 2607 kg/soat
Isitilgan havo sarfi (hajmiy)	V	≈ 2460 m ³ /soat
Quritish davomiyligi (yupqa qatlam, Page)	τ_1	≈ 26 min
Quritish davomiyligi (bunker, h=0,4 m)	τ_2	$\approx 100-110$ min
Eksergetik FIK (baholangan)	ψ	0,32–0,38
RSM bo'yicha optimal A, V	A^*, V^*	≈ 60 m ² ; 2450 m ³ /soat

Hisoblash ko'rsatishicha, berilgan sharoitda ($I = 700$ Vt/m²) talab etilgan quvvatni ta'minlash uchun kollektor yuzasi taxminan 60,5 m² bo'lishi kerak, bunda havo kanalidagi konvektiv issiqlik uzatish koeffitsiyenti $h \approx 18,4$ Vt/(m²·K) darajasida bo'lib, u kollektorning umumiy issiqlik yo'qotish koeffitsiyenti U_L ni asoslashda hisobga olinadi.

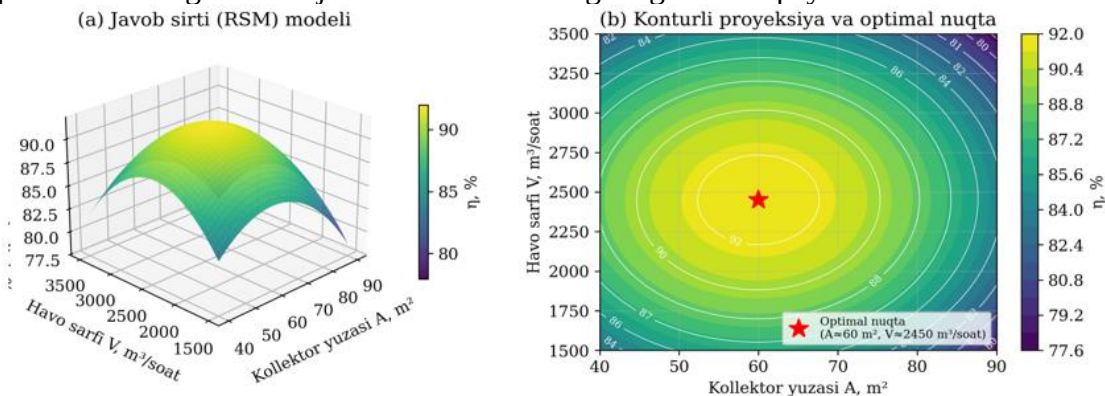


1-rasm. Quyosh qurilmasi parametrlarining hisoblash-tahliliy xarakteristikalari

1-rasmida ishlab chiqilgan metodika bo'yicha olingan asosiy hisoblash-tahliliy bog'lanishlar keltirilgan: (a) uch xil havo harorati (45, 55, 65 °C) uchun Page modeli bo'yicha quritish egri chiziqlari, harorat ortishi bilan quritish tezligining sezilarli oshishini ko'rsatadi; (b) kollektorning (7) tenglama bo'yicha issiqlik xarakteristikasi; (c) turli η_k qiymatlarida kollektor yuzasining quyosh radiatsiyasi zichligiga sezgirligi; (d) belgilangan $A = 60,5 \text{ m}^2$ kollektor yuzasi uchun zaxira issiqlik manbai quvvatining radiatsiya pasayishiga bog'liqligi.

Xususan, quyosh radiatsiyasi zichligi bulutli sharoitda $I = 500 \text{ Vt/m}^2$ gacha kamayganda, xuddi shu ($60,5 \text{ m}^2$) yuza faqat $Q_k = A \cdot I \cdot \eta_k = 60,5 \cdot 500 \cdot 0,55 \approx 16,6 \text{ kVt}$ issiqlik bera oladi, ya'ni talab etilgan $23,3 \text{ kVt}$ dan $\approx 6,7 \text{ kVt}$ kam (1-rasm, d). Bu tanqisni qoplash uchun issiqlik akkumulyatori yoki zaxira isitgichning quvvati kamida shu miqdorda bo'lishi asoslanadi.

(15) tenglama bo'yicha qurilgan RSM regressiya modelining javob sirti va uning konturli proyeksiyasi 2-rasmida keltirilgan. Model kollektor yuzasi $A \approx 60 \text{ m}^2$ va havo sarfi $V \approx 2450 \text{ m}^3/\text{soat}$ atrofida energiya samaradorligi mezonining maksimumga ($\approx 92 \%$) erishishini, undan chetlashganda esa samaradorlikning izchil pasayishini ko'rsatadi, bu esa 1-jadvalda keltirilgan asosiy parametrlarning statistik jihatdan ham asoslanganligini tasdiqlaydi.



2-rasm. Kollektor yuzasi va havo sarfi bo'yicha RSM asosidagi ko'p omilli optimallashtirish natijalari

Page modeli bo'yicha hisoblangan quritish davomiyligi yupqa (bir qatlamli) tola uchun $\tau_1 \approx 26$ minutni tashkil etadi (1-rasm, a; $t = 55 \text{ }^\circ\text{C}$ uchun), biroq amaliyotda qo'llaniladigan bunker



tipidagi qurilmalarda material qatlami qalinligi $h \approx 0,4$ m bo'lganda tuzatish koeffitsiyentini ($k_{\beta} \approx 4$) hisobga olgan holda amaliy quritish davomiyligi $\tau_2 \approx 100-110$ minutgacha ortadi. (13)–(14) tenglamalar bo'yicha baholangan eksergetik FIK $\psi \approx 0,32-0,38$ oralig'ida bo'lib, bu adabiyotlarda majburiy konveksiyali kollektor-quritgich tizimlari uchun keltirilgan qiymatlar bilan mos keladi [11, 13].

Shunday qilib, ko'rib chiqilgan hisoblash misolida asoslangan parametrlar to'plami

$A \approx 60-62 \text{ m}^2$, $V \approx 2450-2500 \text{ m}^3/\text{soat}$, $\Delta t \approx 30-35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ va zaxira issiqlik manbai quvvati $\approx 7 \text{ kVt}$ — 1000 kg/soat unumdorlikdagi paxta xomashyosini quyosh energiyasi hisobiga me'yoriy namlikkacha quritish imkonini beradi.

4. MUHOKAMA

Olingan natijalar quyosh energiyasidan foydalanuvchi quritish qurilmalarining an'anaviy yoqilg'ida ishlaydigan baraban quritgichlarga nisbatan bir qator afzalliklarini tasdiqlaydi: quyoshli soatlarda yoqilg'i sarfi butunlay yo'qoladi yoki keskin kamayadi, bu esa korxonaning energiya xarajatlarini va zararli chiqindilar miqdorini qisqartiradi. Adabiyotlarda keltirilgan ma'lumotlarga ko'ra, turli qishloq xo'jaligi mahsulotlarini quyosh qurilmalarida quritish ochiq quyoshda quritishga nisbatan quritish vaqtini sezilarli darajada qisqartirishi, issiqlik akkumulyatori bilan jihozlangan gibrid tizimlarda esa energiya sarfini yanada kamaytirish va qoplash muddatini bir necha yildan kamga tushirish mumkinligi ko'rsatilgan [6, 15].

Eksergetik tahlil energiya balansi tahliliga nisbatan qo'shimcha ilmiy qimmatga ega, chunki u tizimning qaysi qismida termodinamik geodezik yo'qotishlar (irreversibillik) eng katta ekanligini ko'rsatadi. Adabiyotlarda ko'rsatilishicha, majburiy konveksiyali kollektorlarda eksergetik yo'qotishlarning katta qismi aynan kollektorning o'zida chekli issiqlik almashinuv yuzasi va issiqlik sizib chiqishi natijasida yuzaga keladi [13, 15], bu esa (5)–(7) tenglamalar orqali h va U_L ni to'g'ri asoslashning amaliy ahamiyatini yana bir bor tasdiqlaydi.

Shu bilan birga, paxta xomashyosini quritishda bir qator o'ziga xos cheklovlarni hisobga olish zarur. Birinchidan, quyosh radiatsiyasining kunlik va mavsumiy notekisligi barqaror ishlab chiqarish jarayonini ta'minlash uchun zaxira issiqlik manbai yoki issiqlik akkumulyatorining mavjudligini talab qiladi. Ikkinchidan, quruq paxta tolasining yong'in xavfi yuqori bo'lganligi sababli, havo haroratini texnologik ravishda asoslangan yuqori chegaradan (odatda $60-70 \text{ }^{\circ}\text{C}$) oshirmaslik va harorat nazoratini uzluksiz avtomatik ravishda amalga oshirish talab etiladi. Uchinchidan, xomashyoning yuqori g'ovakligi va qatlam qalinligi issiqlik-massa almashinuvini sekinlashtiradi, shu sababli (11) tenglama bilan aniqlangan yupqa qatlam vaqtini amaliy sharoitlar uchun k_{β} tuzatish koeffitsiyenti orqali oshirish zarurligi natijalarda ko'rsatildi.

Kollektor yuzasi va quvvat zahirasini quyosh radiatsiyasining eng noqulay (past) qiymatlariga mo'ljallab tanlash iqtisodiy jihatdan noo'rin ortiqcha xarajatlarga olib kelishi mumkin, shu sababli taklif etilgan yondashuvda o'rtacha radiatsiya bo'yicha asosiy yuza RSM modeli (15) orqali tanlanib, radiatsiya pasayishi holatlari uchun nisbatan kichik quvvatdagi zaxira manba bilan qoplash iqtisodiy jihatdan oqilona hisoblanadi. Adaptiv boshqarish tizimini (2.8-band) joriy etish chiqish havosi haroratining barqarorligini, demak, tayyor mahsulot namligining bir xilligini ta'minlaydi.

5. XULOSA

Paxta xomashyosini quyosh energiyasi hisobiga quritish qurilmasining asosiy parametrlarini asoslash bo'yicha kompleks analitik metodika ishlab chiqildi, u massa-issiqlik balansi, konvektiv issiqlik uzatish (Reynolds–Nusselt–Prandtl), kollektorning Hottel–Uillier–Blis FIK modeli, Page quritish kinetikasi modeli va eksergetik tahlilni yagona hisoblash algoritmidan o'zaro bog'laydi, parametrlarni esa RSM asosida ko'p omilli optimallashtirish imkonini beradi.

1000 kg/soat unumdorlikda paxta xomashyosi namligini 10 % dan 7 % gacha kamaytirish sharti uchun kollektor yuzasi $A \approx 60-62 \text{ m}^2$, isitilgan havo sarfi $V \approx 2450-2500 \text{ m}^3/\text{soat}$, havoning qizish farqi $\Delta t \approx 30-35 \text{ }^{\circ}\text{C}$, quritish davomiyligi (bunker sharoitida) $\tau \approx 100-110$ minut va eksergetik FIK $\psi \approx 0,32-0,38$ darajasida asoslandi.



O'zbekistonning yuqori quyosh salohiyati (yiliga ≈ 300 quyoshli kun, 2800–3000 soat radiatsiya) va paxta terimi mavsumining quyoshli oylarga to'g'ri kelishi bunday qurilmalarni paxta tozalash korxonalarida joriy etishning texnik-iqlimiy asoslanganligini tasdiqlaydi.

Keyingi tadqiqotlar yo'nalishi sifatida Toshkent viloyati meteorologik ma'lumotlari asosida ishlab chiqilgan metodikani real sharoitlarda tajriba-sanoat sinovidan o'tkazish, texnik-iqtisodiy va ekologik samaradorlikni (CO_2 chiqindisini qisqartirish nuqtai nazaridan) baholash hamda adaptiv EKF-SMC boshqarish tizimini qurilmaning nazorat-boshqaruv blokiga integratsiya qilish ko'zda tutilgan.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Duffie J.A., Beckman W.A. Solar Engineering of Thermal Processes. 4th ed. — Hoboken: John Wiley & Sons, 2013.
2. Incropera F.P., DeWitt D.P., Bergman T.L., Lavine A.S. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 7th ed. — Hoboken: John Wiley & Sons, 2011.
3. Page G.E. Factors Influencing the Maximum Rates of Air Drying Shelled Corn in Thin Layers: PhD thesis. — Purdue University, 1949.
4. Henderson S.M., Pabis S. Grain drying theory I: Temperature effect on drying coefficient // Journal of Agricultural Engineering Research. — 1961.
5. Solar dryers: A review of mechanism, methods and critical analysis of transport models applicable in solar drying of product // ScienceDirect, 2025. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2949720525000050>
6. Assessment of Solar Dryer Performance for Drying Different Food Materials: A Comprehensive Review // IntechOpen, 2023. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/88420>
7. Assessing the carrying capacity of solar dryers applied for agricultural products: a systematic review // Discover Energy (Springer), 2024. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43937-024-00031-x>
8. Performance of various solar dryer types integrating latent heat storage for drying agricultural products: An up-to-date review // ScienceDirect, 2024. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352152X2403634X>
9. Characterizing agricultural product drying in solar systems using thin-layer drying models: comprehensive review // Discover Food (Springer), 2025. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s44187-025-00362-1>
10. Energy, exergy, and techno-economic performance analyses of solar dryers for agro products: A comprehensive review // ScienceDirect, 2021. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X21008161>
11. Performance evaluation of greenhouse solar dryer: Energy-exergy analysis, CFD simulation and eco-environmental assessment // ScienceDirect, 2024. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148124020147>
12. Exergy and sustainability analysis of solar dryer with sinusoidal absorber plate and thermal energy storage // ScienceDirect, 2026. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X26002756>
13. A comprehensive review of indirect solar drying techniques integrated with thermal storage materials and exergy-environmental analysis // Environment, Development and Sustainability (Springer), 2024. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-024-04755-7>
14. Exergy of Solar Dryer // IntechOpen, 2022. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/85422>
15. Energy and exergy analysis of a hybrid dryer with air/water solar collectors // ScienceDirect, 2025. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544225027185>
16. Optimization of convective drying by response surface methodology // ScienceDirect, 2018. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169918306288>
17. RSM approach for modeling and optimization of designing parameters for inclined fins of solar air heater // ScienceDirect, 2018. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148118315532>



18. O'zbekistonda quyosh elektr stansiyalari // Kapital.uz, 2025. URL: <https://kapital.uz/uz/ozbekistonda-quyosh-elektr-stansiyalari/>
19. Qishloq xo'jaligida suv va energiya resurslaridan samarali foydalanish muhim // UZA.uz, 2025. URL: https://uza.uz/en/posts/qishloq-xo'jaligida-suv-va-energiya-resurslaridan-samarali-foydalanish-muhim_682624
20. Optimization of drying parameters for hybrid indirect solar dryer for banana slices using response surface methodology // ScienceDirect, 2022. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582022010679>