QARSHI MUHANDISLIK-IQTISODIYOT INSTITUTI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI PhD.03/30.09.2020.T.111.03 RAQAMLI ILMIY KENGASH

BUXORO DAVLAT UNIVERSITETI

NAZAROVA NARGIZA MUSTAQIMOVNA

MUQOBIL ENERGIYA MANBALARINI QO‘LLAB, RETSIRKULYATSIYALI MEVA QURITGICHINI ISHLAB CHIQISH VA TADQIQ QILISH

05.05.06 – Qayta tiklanadigan energiya turlari asosidagi energiya qurilmalari

TEXNIKA FANLARI BOʻYICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI

Qarshi – 2023

UDK 662.997.

Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам

Contents of dissertation abstract of the doctor of philosophy (PhD) on technical sciences

Nazarova Nargiza Mustaqimovna
Muqobil energiya manbalarini qo‘llab, retsirkulyatsiyali meva quritgichini ishlab chiqish va tadqiq qilish……..... 3

Назарова Наргиза Мустакимовна
Разработка и исследование рециркуляционной фруктосушилки с использованием альтернативных источников энергии..... 21

Nazarova Nargiza Mustakimovna
Development and research of a recirculating fruit dryer using alternative energy sources…….. 41

E’lon qilingan ishlar ro‘yxati
Список опубликованных работ
List of published works 45

QARSHI MUHANDISLIK-IQTISODIYOT INSTITUTI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI PhD.03/30.09.2020.T.111.03 RAQAMLI ILMIY KENGASH

BUXORO DAVLAT UNIVERSITETI

NAZAROVA NARGIZA MUSTAQIMOVNA

MUQOBIL ENERGIYA MANBALARINI QO‘LLAB, RETSIRKULYATSIYALI MEVA QURITGICHINI ISHLAB CHIQISH VA TADQIQ QILISH

05.05.06 – Qayta tiklanadigan energiya turlari asosidagi energiya qurilmalari

TEXNIKA FANLARI BO’YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD) DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI

Qarshi – 2023

Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O’zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2020.3.PhD/T1156 raqam bilan ro‘yxatga olingan.

Doktorlik dissertatsiyasi Buxoro davlat universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o‘zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.qmii.uz) va «ZiyoNet» Axborot ta’lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:	**Jo‘rayev Turob Doniyorovich** texnika fanlari nomzodi, dotsent
Rasmiy opponentlar:	**Payzullaxonov Muxammade-Sultanxon Saydivalixonovich** texnika fanlari doktori, k.i.x. **Fayziyev To‘lqin Amirovich** texnika fanlari nomzodi, dotsent
Yetakchi tashkilot:	**Fizika-texnika instituti**

Dissertatsiya himoyasi Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti huzuridagi PhD.03/30.09.2020.T.111.03 raqamli ilmiy kengashning 2023-yil «__»_____ soat ____dagi majlisida bo‘lib o‘tadi. (Manzil: 180100, Qarshi shahri, Mustaqillik ko‘chasi, 225-uy. Qarshi muhandislik-iqtisodiyoti instituti konferensiyalar zali. Tel.: (99875) 224-02-89; faks: (99875) 224-13-95, e-mail: kiei_info@edu.uz).

Dissertatsiya bilan Qarshi muhandislik-iqtisodiyot institutining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (№____- raqami bilan ro‘yxatga olingan). (Manzil: 180100, Qarshi shahri, Mustaqillik ko‘chasi, 225-uy. Tel.: (99875) 224-02-89; faks: (99875) 224-13-95, e-mail: kiei_info@edu.uz).

Dissertatsiya avtoreferati 2023-yil «____» _____ kuni tarqatildi.
(2023-yil «____» _____ dagi №____ - raqamli reyestr bayonnomasi).

G‘.N. Uzoqov
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy
kengash raisi, t.f.d., professor

X.A. Davlonov
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash
ilmiy kotibi, texnika fanlari
bo‘yicha falsafa doktori (PhD)

B. Urishev
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash
qoshidagi ilmiy seminar raisi,
texnika fanlari doktori, professor

KIRISH (Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonning rivojlangan yetakchi davlatlarida ham muqobil energiya manbalaridan foydalanishni rivojlantirish tabiiy yoqilg‘ilar va energiya resurslari taqchilligi muammosini hal etishning eng samarali yo‘llaridan biri sifatida qaralmoqda. Qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini yetishtirish, saqlash va quritish jarayonlari energiya sarfi yuqori bo‘lgan texnologik jarayonlar hisoblanadi. “Dunyoda qishloq xo‘jaligi oziq-ovqat mahsulotlarini qayta ishlash, saqlash va quritish jarayonlari uchun sarf etilayotgan energiya miqdori ushbu soha uchun sarf qilinayotgan umumiy energiya miqdorining 30 foizini tashkil etadi”[1]. Shuning uchun qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini quritish texnologiyalarini takomillashtirish va muqobil energiya manbalari asosida ishlaydigan energiya va resurs tejamkor samarali texnologiyalarni ishlab chiqish muhim ahamiyatga ega hisoblanadi.

Jahonda qayta tiklanadigan energiya manbalari asosida ishlaydigan meva va sabzavot mahsulotlarini quritishga mo‘ljallangan energiya tejamkor quyosh quritgichlarini ishlab chiqish, samarali quritish usullari va texnologiyalarini yaratishga yo‘naltirilgan ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Ushbu yo‘nalishda, jumladan, energiya tejamkor quyosh quritgichlarini ishlab chiqish, quyosh energiyasidan samarali foydalanish asosida qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini quritish jarayonlarining energiya sarfini kamaytirish bo‘yicha tadqiqotlar ustuvor hisoblanadi. Shu sababli, quyosh quritgich qurilmarini takomillashtirish orqali uning ish unumdorligini oshirish, ixcham va resurs tejamkor konstruksiyaga ega bo‘lgan quritgichlarni ishlab chiqishga alohida e’tibor qaratilmoqda.

Respublikamizda aholining yil davomida quritilgan meva mahsulotlariga bo‘lgan talabini qondirish uchun zamonaviy quritish texnologiyalarini ishlab chiqish bo‘yicha ishlar amalga oshirilib, samarali gelioquritgichlarning yangi konstruksiyalarini yaratish va ularni ishlab chiqarishga joriy etish bo‘yicha muayyan natijalarga erishilmoqda. O’zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 4-oktabrdagi PQ-4477-son qarori bilan tasdiqlangan “2019 — 2030-yillar davrida O’zbekiston Respublikasining «yashil» iqtisodiyotga o‘tish Strategiyasi”da “...energiya resurslari iste’molini diversifikatsiyalash va qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanishni rivojlantirish...»[2] bo‘yicha muhim vazifalar belgilab berilgan. Shuning uchun muqobil energiya manbalari asosidagi ixcham, energiya tejamkor gelioquritgich qurilmalarini yaratish dolzarb ilmiy-texnik vazifa hisoblanadi.

O’zbekiston Respublikasi Prezidentining respublika iqtisodiyot tarmoqlarida energiya samaradorligini oshirish, yoqilg‘i-energetika resurslarini tejash hamda qayta tiklanuvchi energiya manbalari asosida energiya tejamkor texnologiyalar joriy etish bo‘yicha qabul qilingan 2020-yil 10-iyuldagi “Iqtisodiyotning energiya samaradorligini oshirish va mavjud resurslarni jalb etish orqali iqtisodiyot tarmoqlarining yoqilg‘i-energetika mahsulotlariga qaramligini kamaytirishga doir

[1] https://www.fao.org/3/cb7433en/cb7433en.pdf

[2] O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 4-oktabrdagi PQ-4477-son “2019-2030-yillar davrida O‘zbekiston Respublikasining “yashil” iqtisodiyotga o‘tish strategiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi Qarori, https://lex.uz/docs/-4539502

qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi PQ-4779-son, 2019-yil 22-avgustdagi “Iqtisodiyot tarmoqlari va ijtimoiy sohaning energiya samaradorligini oshirish, energiya tejovchi texnologiyalarni joriy etish va qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirishning tezkor chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi PQ-4422-son qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me’yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Dissertatsiya ishi bo‘yicha tadqiqotlar fan va texnologiyalar rivojlanishining IV. “Qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish usullarini rivojlantirish, nanotexnologiyalar, fotonika va boshqa zamonaviy ilg‘or texnologiyalar va qurilmalarni yaratish” ustuvor yo‘nalishi doirasida bajarilgan.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini quritish nazariyasi va texnikasi, shu jumladan, meva-sabzavot mahsulotlarini quritish uchun mo‘ljallangan quyosh quritgichlarini yaratish va ularning samaradorligini oshirish, amaliyotga tatbiq etish bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar dunyoning yetakchi ilmiy markazlari va oliy o‘quv yurtlarida amalga oshirilmoqda. Xorijlik olimlardan A.V.Likov, A.S. Ginzburg, M.V.Radkevich, S.G. Ilyasov, N.I.Angersbax, M.Titov, M.A.Hossain, D.R.Pangavhane, A.Fudholi, G.N.Tiwari, B.K.Bala va boshqalar muammolarni o‘rganishga muhim hissa qo‘shgan.

Respublikamizda meva va sabzavot mahsulotlarini quritish hamda ularni qayta ishlashning zamonaviy texnologiyalarini ishlab chiqish, quyosh quritgichlari konstruksiyalarini takomillashtirish va ularda quritish jarayonining optimal rejimlarini aniqlash bo‘yicha G.G.Umarov, B.E.Xayriddinov, R.R.Avezov, R.A.Zohidov, A.Ismoilova, Z.S.Iskandarov, V.D.Kim, Z.Toirov, A.Ahmadaliyev, A.I.Ismanjonov, M.R.Nazarovlar tomonidan ilmiy izlanishlar olib borilgan.

Erishilgan ijobiy ilmiy natijalarga qaramasdan, gelioquritgich qurilmalarida issiqlik yo‘qotilishini kamaytirish va energiya tejamkor quritish qurilmalarini ishlab chiqish hamda ularda sodir bo‘ladigan issiqlik jarayonlari, shuningdek, ishlatilgan issiqlikni qayta tiklash (gelioquritgichda chiqindi issiq havodan qayta foydalanish) usullari kabi muammolar kam o‘rganilgan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta’lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi.

Dissertatsiya tadqiqoti Buxoro davlat universiteti ilmiy-tadqiqot ishlari rejasiga muvofiq, 2016-2017-yillarga mo‘ljallangan A-13-3 raqamli “Qayta tiklanuvchi energiya manbalari qurilmalarini yanada takomillashtirish va ulardagi jarayonlarni modellashtirishni tadqiq qilish” ilmiy-tadqiqot yo‘nalishi doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi meva va sabzavotlarni quritish uchun yuqori samaradorlikka ega energiya tejovchi retsirkulyatsiyali gelioquritgichni ishlab chiqish va tadqiq qilishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

quyosh quritgich qurilmalari va quritish texnologiyalarining zamonaviy holatini tahlil qilish;

retsirkulyatsiyali quyosh quritgich qurilmasida mevalarning quritish kinetikasini o‘rganish hamda unda yuz beradigan issiqlik-massa almashish jarayonlarini modellashtirish va sonli hisoblash usullaridan foydalanib tadqiqotlar o‘tkazish;

energiya tejamkor gelioquritish qurilmasini ishlab chiqish va tajribaviy tadqiqot ishlarini olib borish;

retsirkulyatsiyali geliquritish qurilmasida va ochiq havoda turli mevalarni quritish kinetikasining empirik modellarini eksperimental tekshirish;

energiya tejamkor gelioquritish qurilmasining texnik va iqtisodiy ko‘rsatkichlarini baholash.

Tadqiqotning obyekti sifatida retsirkulyatsiyali gelioquritgich qurilmasi olingan.

Tadqiqotning predmeti retsirkulyatsiyali gelioquritgich qurilmasidagi mevalarning quritish kinetikasi hamda issiqlik va massa almashinuv jarayonlarining qonuniyatlarini o‘rganish hisoblanadi.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot jarayonida matematik modellashtirish, issiqlik va massa almashinuvi nazariyasi, eksperimentlarni rejalashtirish va tajriba natijalarini umumlashtirish usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

uyali polikabonat qoplamali quritish kamerasining shaffof sirtidan issiqlik yo’qotilishini kamaytirish va energiya samaradorligini oshirish imkonini beradigan, infraqizil nurlatgich reflektorli, shamollatish tizimi hamda harorat va namlik rejimlarini avtomatik boshqaruv tizimiga ega bo’lgan ixcham gelioquritgich qurilmasi ishlab chiqilgan;

quyosh meva quritgich qurilmasida ishlatilgan ikkilamchi issiqlikni mahsulotni quritish uchun utilizatsiya qilish imkonini beradigan, yuqori issiqlik samaradorlikka ega, rekuperativ issiqlik almashtirgich orqali takomillashtirilgan retsirkulyatsiya tizimli energiyatejamkor quyosh quritgich qurilmasi ishlab chiqilgan;

quritiladigan mahsulot va havoning namligi hamda haroratlarini o’zgarishini hisobga olgan holda quritish tezligini quritish agentining issiqlik va massa almashinuvi parametrlari bilan bog’laydigan, quritish kinetikasini hisoblash imkonini beradigan matematik model ishlab chiqilgan;

retsirkulyatsiyali quyosh meva quritgich qurilmasida o’tkazilgan tajriba natijalarini umumlashtirish asosida tajribalarni rejalashtirish usuli bilan mahsulotlarning qurish davomiyligini quritish agentining tezligi va haroratiga bog’liq o’zgarishini aniqlash imkonini beradigan regression tenglama olingan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

retsirkulyatsiyali rejimda ishlaydigan mevalarni quritish uchun ixcham, shamollatiladigan gelioquritgich qurilmasi ishlab chiqilgan;

retsirkulyatsiyali gelioquritgich qurilmasining samaradorligini oshirish maqsadida rekuperativ issiqlik almashtirgichli gelioquritgich qurilmasining yarim sanoat namunasi ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi zamonaviy usul va o‘lchash vositalaridan foydalangan holda o‘tkazilganligi, olingan natijalarga zamonaviy matematik ishlovlar berish, empirik, kuzatuv va taqqoslash usullarining bir xil sharoitda qo‘llanilishi, keltirilgan qurilma samaradorligi uning prototip va analoglari samaradorligiga mosligi, retsirkulyatsiyali quyosh quritgich (RQQ) qurilmasi sinovlarining ijobiy natijalari va amaliyotga joriy etilganligi bilan izohlanadi.

RQQ qurilmasida tabiiy sharoitda o‘tkazilgan sinov, tadqiqot-tajriba natijalarining hisoblash natijalariga mos kelishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati retsirkulyatsiyali ixcham quyosh quritgich qurilmasining samaradorligini oshirish uchun mevalarning quritish rejimlarini ishlab chiqish, bu jarayonlarning matematik modeli va uning dasturiy ta’minoti hamda gelioquritgichda chiqindi issiqlikdan qayta foydalanishga imkon beradigan rekuperativ issiqlik almashtirgichning qo‘llanilishi bilan izohlanadi.

Retsirkulyatsiyali ixcham gelioquritgich qurilmasidan markazlashgan elektr ta’minoti tizimidan uzoqda joylashgan bog‘dorchilik xo‘jaliklarida sifatli quritilgan meva mahsulotlarini olish uchun foydalanish mumkin.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Muqobil energiya manbalarini qo‘llab, retsirkulyatsiyali meva quritgichini ishlab chiqish va tadqiq qilish bo‘yicha olingan tadqiqot natijalari asosida:

qishloq xo‘jalik mahsulotlarini quritishga mo‘ljallangan ixcham gelioquritgich qurilmasi (№ FAP 01889., 29.03.22 y) va energiya tejamkor gelioquritgich qurilmasi (№ FAP 02102., 13.09.22 y) uchun O’zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligining foydali modeliga patentlar olingan. Natijada, yuqori samarali energiyatejamkor gelioquritish qurilmasini qo‘llash orqali sifatli quritilgan mahsulot olish imkoniyati yaratilgan;

energiyatejamkor retsirkulyatsiyali quyosh quritgich qurilmasi Buxoro viloyatining “Baqollik Usmon Vohidov” va “Zarafshon suv sohillari” fermer xo‘jaliklarida joriy qilingan. (Qishloq xo‘jalik vazirligining 2021-yil 22-dekabrdagi №04/21-06/157-son ma’lumotnomasi). Natijada, retsirkulyatsiyali gelioquritgich qurilmasini qo‘llash orqali har 100 kg quritilgan mahsulotni quritish uchun sarf qilinayotgan mablag‘ miqdorini 2,25 mln so‘m tejalishiga erishilgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Tadqiqot natijalari 11 ta ilmiy-amaliy anjuman, shu jumladan, 8 ta xalqaro va 3 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida muhokamadan o‘tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e’lon qilinishi. Dissertatsiya mavzusi bo‘yicha jami 25 ta ilmiy ishlar chop etilgan bo‘lib, shu jumladan, 2 ta monografiya, O’zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalarining asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya qilingan 2 ta xalqaro va 4 ta respublika jurnallarida ilmiy maqolalar nashr qilingan hamda EHM uchun 2 ta dasturiy mahsulotga mualliflik guvohnomasi va O’zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligining 2 ta foydali modelga patentlari olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya ishi kirish, to‘rtta bob, umumiy xulosalar, foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi 112 betni tashkil etgan.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

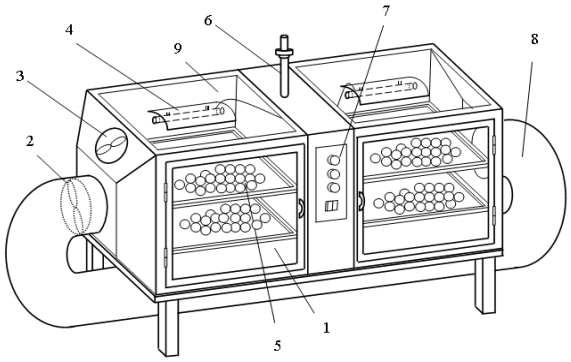
Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zaruriyati asoslangan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari shakllantirilgan, tadqiqot obyekti va predmeti tavsiflangan hamda respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi aniqlangan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarining amaliyotga joriy qilinishi, ishning aprobatsiyasi, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo‘yicha ma’lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Meva va sabzavot mahsulotlarini quyosh energiyasidan foydalanib quritishning zamonaviy holati va istiqbollari”** deb nomlangan birinchi bobida jahon amaliyoti va respublikamizda quyosh energiyasi yordamida meva va sabzavotlarning zamonaviy quritish usullari va texnologiyasiga doir ma’lumotlar keltirilgan. Qishloq xo‘jalik mahsulotlarini quritishga mo‘ljallangan gelioquritgich qurilmalarining tuzilishi, ishlash tamoyilarining tavsifi, ularda quritiladigan meva mahsulotlarining qurish kinetikasi hamda quritish jarayonida sodir bo‘ladigan issiqlik massa-almashinish jarayonlari bo‘yicha ilmiy tadqiqot ishlari tahlil qilingan. Tahlil natijalari shuni ko‘rsatadiki, erishilgan muhim natijalarga qaramasdan, gelioquritgich qurilmalarida issiqlik yo‘qotilishini kamaytirish va energiya tejamkor quritish qurilmalarini ishlab chiqish va ularda sodir bo‘ladigan issiqlik jarayonlari shuningdek, ishlatilgan issiqlikni qayta tiklash usullari kabi muammolar yetarlicha tadqiqot qilinmagan. O’tkazilgan ilmiy tahlil asosida quritish qurilmalarining samaradorligini oshirish va ularning potensial imkoniyatlarini aniqlash shuningdek, energiya tejovchi quyosh quritish qurilmalarini loyihalash sohasida tadqiqotlar ko‘lamini kengaytirish tendensiyasini hisobga olgan holda dissertatsiya ishining maqsad va vazifalari shakllantirildi.

Dissertatsiyaning **“Radiatsion-konvektiv quyosh quritgich qurilmalarining samaradorligini oshirish va ularda quritish jarayonlarini tadqiq etish”** deb nomlangan ikkinchi bobida radiatsion-konvektiv gelioquritgichining laboratoriya modelida meva va sabzavotlarni quritish jarayoni kinetikasi va eksperimental hisoblash tadqiqot natijalari keltirilgan.

Ushbu bobda mevalarni quritish uchun radiatsion konvektiv gelioquritgich qurilmasini tuzilishi va ishlash tamoyili batafsil bayon etilgan.

Quyosh-issiqlik quritgichi 2,3 ventilatsiya tizimi va avtomatik boshqaruv tizimi bilan jihozlangan quritish kamerasini o‘z ichiga oladi. U majburiy sirkulatsiya va retsirkulyatsiya rejimlarida ishlashi mumkin. Qo‘shimcha issiqlik manbai sifatida 4 (2 dona) reflektorli KGT-1000 tipidagi IK-lampa ishlatilgan. U asosan kamerada quritish mahsulotlarini harorat va namlik rejimini avtomatik rostlash, shuningdek, quritgichning uzluksiz ishlashini ta’minlash uchun ishlatiladi.



1-quritish kamerasi, 2.3-ventilyatorlar, 4-reflektorli IK nurlatgich, 5–mahsulot javoni, 6-kontaktli termometr, 7-boshqaruv paneli, 8-havo kanali, 9-shaffof izolatsiya.

1-rasm. Radiatsion konvektiv gelioquritgich qurilmasining sxemasi.

Quritish kamerasida ishlatilgan issiqlik tashuvchini tashqariga chiqarib tashlash majburiy shamollatish (ventilatsiya) tizimi tomonidan amalga oshiriladi. Majburiy havo sirkulatsiyasini amalga oshirish uchun kameraning kirish qismiga 2 ventilator o‘rnatiladi. 3 ventilator esa kameraning yuqori qismiga o‘rnatilgan va u quritish kamerasidan nam havoni chiqarish uchun ishlatiladi.

Retsirkulyatsiya rejimida quritgich qurilmasida mevalarni quritish jarayoni kinetikasi tadqiqot qilindi va uning matematik modeli ishlab chiqildi.

Radiatsion-konvektiv quyosh quritgichida mevalarni quritishi jarayonida ularning quritish tezligini quritish agentining issiqlik va massa-almashinish parametrlari (quritish omillari) bilan bog‘laydigan quyidagi tenglama olindi:

$$\frac{dM}{d\tau} = \frac{C_p T.D.\rho_m(\tau)}{r} S(1-\varphi) \qquad (1)$$

bu yerda S - mevalarning umumiy yuzasi; ρ_m (τ) - to‘yingan bug‘ning zichligi; φ- havoning nisbiy namligi; D–mevaning diffuziya koeffitsiyenti.

Quyosh quritish qurilmalarida mevalarni quritish kinetikasini o‘rganishda, shu bilan birga ularni quritish rejimlarini tanlashda tajribani rejalashtirish usuli (o‘lchash natijalarini qayta ishlash) issiqlik jarayonlarini o‘rganishning asosiy vositalaridan biri hisoblanadi. Ma’lumki, mahsulotlarni quritish jarayoni ko‘p faktorli (omilli), bo‘lgani uchun faktorlar orasidagi o‘zaro bog‘lanish qonuniyatlarini aniqlash qiyin. Shuning uchun ushbu usul yordamida meva va sabzavotlarni quritish jarayonining asosiy qonuniyatlarini aniqlash mumkin.

Mevalarni quritish jarayonida issiqlik-massa almashinish jarayonlari sodir bo‘ladi. Mevalarni quritish tezligi asosan quritish omillariga bog‘liq. Agar tajribani rejalashtirishning yuqoridagi usuli issiqlik jarayonlariga qo‘llanilsa, u holda tajribalarni o‘tkazish va o‘lchash natijalarini olish vaqti ancha qisqaradi.

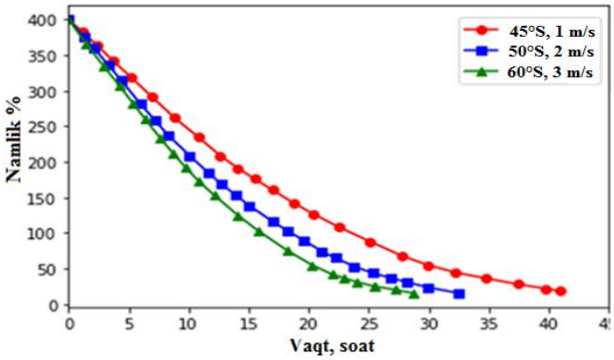
Mevalarning quritish vaqti va ularning sifat ko‘rsatkichlarining asosiy quritish omillariga bog‘liqligini aniqlash uchun faol shamollatiladigan radiatsion konvektiv gelioquritgich qurilmasi ishlab chiqildi.

Quritgich qurilmasida mevalarni quritishda haroratni, havo namligini va quritish kamerasidagi quritish agenti (havo) tezligini nazorat qilish mumkin. Quritgich kamerasidagi harorat-namlik rejimlarini nazorat qilish uchun namlik datchigi, psixrometr va harorat datchigi ishlatilgan shuningdek, mevalarni quritish jarayonida mis-konstantan termojufti va elektron tarozidan foydalanildi.

Issiqlik jarayonlarini o‘rganishda chiziqli va to‘liq bo‘lmagan kvadratik bog‘lanishlar ko‘pincha yuzaga keladi, ularni topish uchun to‘liq faktorial tajriba (TFT) ni o‘tkazish bilan bog‘liq. TFT ni o‘tkazishda rejalashtirish ikki sathda amalga oshiriladi: - yuqori (+1) va pastki (-1).

Tajribalar soni N faktorlar soni (k) ga bog‘liq va u 2k ga teng. Bizning masalamizda ikkita faktor uchun tajribalar soni $N=2^2=4$ ga teng bo‘ladi. Tajribani rejalashtirish matritsasiga ko‘ra, tajribalar natijalari ishchi jadvalda qayd etildi.

Meva namligi quritish vaqtida meva massasining o‘zgarishini tortib o‘lchash yo‘li bilan aniqlandi. Tajribalar uchun quyosh-issiqlik quritgichida quritish obyekti sifatida o‘rik mevalari tanlangan. Bir xil massadagi (har biri 100 g) o‘rik namunalari quritgichda turli xil rejimlarda quritilgan.



2-rasm.Turli quritish rejimlarida o‘rik mevasi namunalarini quritish kinetikasi.

Quritgichda turli rejimlarda quritish jarayonida namunalar har soatda ularning massalari elektron tarozi bilan o‘lchandi. Har bir tajribadan so‘ng quritilgan mevalarning oxirgi namligi bo‘yicha (quritish vaqti) va sifat ko‘rsatkichlari aniqlandi.

Olingan o‘lchash natijalari asosida mevaning quritish egriligi grafiklari qurildi. 2-rasmda turli quritish rejimlarida quritilgan o‘rikni quritish egriliklari ko‘rsatilgan. Quritish egriligi grafigidan o‘rikni quritish vaqtlarini aniqlash mumkin. Masalan, 2- rasmda 1,2,3 egri chiziqlar uchun oxirgi uch nuqta 28, 36, 42 soatlar quritish vaqti qiymatlariga teng. Shuning uchun quritishning tugashini t=42 soat deb hisoblash mumkin.

Olingan tajriba natijalari asosida tajribalarni rejalashtirish usuli bilan o‘rik mevasining quritish vaqtini havo harorati va quritish agenti tezligiga bog‘liqligini aks ettiradigan quyidagi regressiya tenglamasi olindi:

$$Y_1 = 36 - 5x_1 - 2x_2 - x_1x_2 \qquad (2)$$

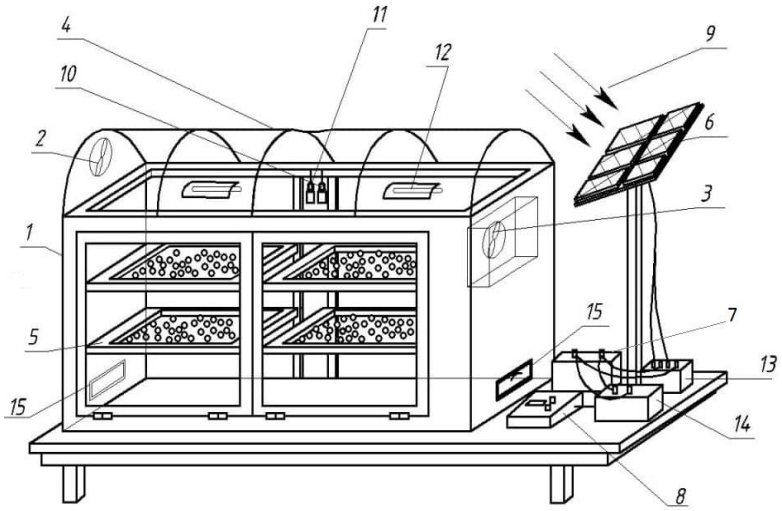
bu yerda x_1,x_2 - mos ravishda quritish agentining harorati va tezligi.

Olingan (2) tenglama quritilgan o‘rikni quritish davomiyligining asosiy quritish omillariga bog‘liqligini aks ettiruvchi matematik modeli hisoblanadi.

Olingan tenglamadan ko‘rish mumkinki, mevaning quritish muddati quritish agenti harorati va uning tezligi oshishi bilan qisqarishini ko‘rsatadi. Bundan tashqari, haroratning ta’siri quritish agenti tezligiga nisbatan kuchli ta’sir etadi. Ushbu usul yordamida meva va sabzavotlarni quyosh quritgichlarida quritish rejimlarini aniqlash mumkin.

Dissertatsiyaning **“Gelioquritgich qurilmalarda meva va sabzavotlarni quritishda issiqlik va massa almashinish jarayonlarini tadqiq etish”** deb

nomlangan uchinchi bobida taklif etilayotgan retsirkulyatsiyali gelioquritgichining tajriba namunasining tuzilishi, ishlash prinsipi va undagi sodir bo‘ladigan issiqlik-massa-almashinish jarayonlarining tadqiqoti bo‘yicha o‘tkazilgan tajriba natijalari aks ettirilgan.



1 – quritish kamerasi; 2 – ventilyator (nam havoni chiqarish uchun); 3 –ventilyator (faol shamollatish uchun); 4 – shaffof izolatsiya; 5 – quritiladigan mahsulotlar uchun polkalar; 6 – QB (quyosh batareyasi); 7 – akkumulator batareyasi; 8 – BP (boshqaruv paneli); 9 – quyosh nurlari; 10 – harorat datchigi; 11 – havo namligi datchigi; 12 – IK lampalar; 13 – nazoratchi; 14 – invertor; 15-tirqish.

3-rasm. Retsirkulyatsiyali ixcham shamollatiladigan gelioquritgichning prinsipial sxemasi.

Olingan patent va ilmiy-tadqiqot ishlarining tahlilidan kelib chiqqan holda, ixcham gelioquritgich qurilma ishlab chiqildi (3-rasm). Ishlab chiqilgan qurilmaning texnik yangiliklariga O’zbekiston Respublikasi Intelektual mulk agentligining foydali modelga FAP 01889 raqamli patenti olingan.

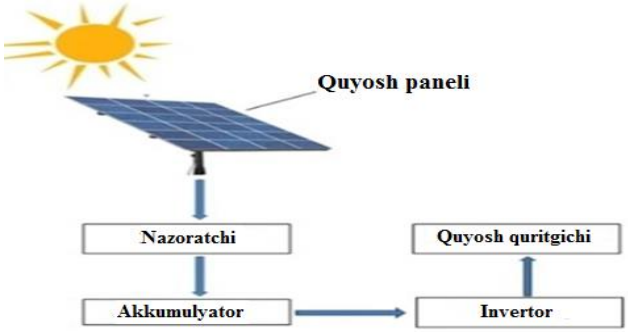
Ushbu quritish qurilmasi shamollatish tizimi, avtonom elektr manbai (quyosh paneli) va avtomatik boshqaruv tizimi bilan jihozlangan quritish kamerasidan iborat.

O’tkazilgan tajribalardan ma’lum bo‘ldiki, mazkur quyosh quritgich tarkibidagi 2,3 ventilyatorlar va IK-lampalarni elektr energiyasi bilan ta’minlash uchun avtonom quyosh batareyasi hamda avtomatik boshqaruv tizimidan foydalanilgan. Bu tizim hisobiga gelioquritgichning samaradorligi va unumdorligi ancha yuqori ekanligi tajribalarda o‘z tasdig‘ini topdi.

Quritish kamerasi 2,0×0,8×1,3 m^3 o‘lchamdagi to‘rtburchak shaklda bo‘lib, quritilishi kerak bo‘lgan mahsulot uchun kamera va uning ustki qismi yarim silindrik shaffof issiqlik izolatsiya materiali (leksan) bilan qoplangan. Quritgich kamerasi va havoqizdirgich bir kameraga birlashtirilgan. Quritgich kamerasida umumiy yuzasi 1,8 m^2 bo‘lgan to‘rtta to‘rli polkalar mavjud. Quyosh quritgichining yuqori va yon qismlari 6 mm li shaffof uyali polikarbonat (leksan) materiali bilan germetik qilib qoplangan, chunki bu material shisha va plyonkaga nisbatan issiqlik yo‘qotilishini 2-3 barobar kamaytiradi hamda mexanik kuchlanish va tashqi ta’sirlarga bardoshli hisoblanadi.

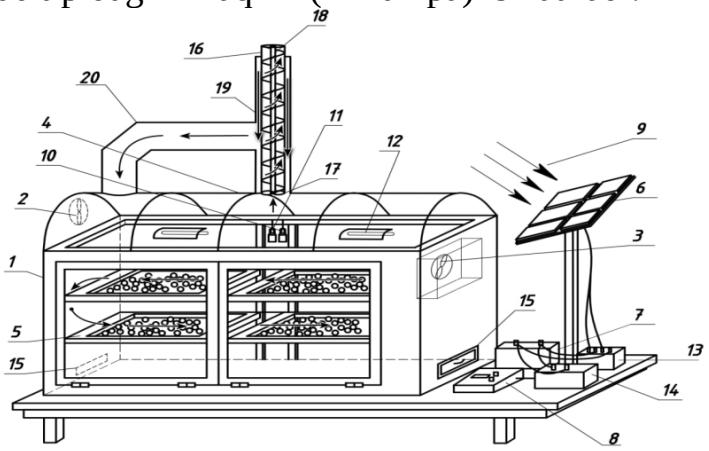
Avtonom elektr manbaiga ega bo‘lgan avtomatik boshqaruv bloki quyosh moduli 6, akkumulyator 7 va quyosh paneli 8 dan iborat. Quyosh batareyasi

quritish kamerasi yaqinidagi maxsus tayanchli moslamaga o‘rnatiladi. Quyosh batareyasining chiqishidan olingan kuchlanish nazoratchi (kontroller)ga beriladi va undan elektr energiyasi to‘plash uchun akkumulyatorga uzatiladi.



4-rasm. Quritgichning avtonom elektr ta’minotining blok-sxemasi.

Avtonom elektr ta’minoti bloki quyidagicha ishlaydi: quyosh radiatsiyasi 9 ta’sirida fotoelektrik panel quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantiradi, bu energiya kontroller orqali akkumulatorda to‘planadi (4-rasm). Quritish kamerasida qo‘shimcha issiqlik manbai sifatida quyosh batareyasi bilan quvvatlanadigan 12 (2 ta) reflektorli KGT-500 tipidagi infraqizil (IK lampa) ishlatiladi.



1 – quritish kamerasi; 2 – ventilyator (nam havoni chiqarish uchun); 3 – ventilyator (faol shamollatish uchun); 4 – shaffof izolatsiya; 5 – quritiladigan mahsulotlar uchun poddonlar; 6– quyosh batareyasi (QB); 7– akkumulyator batareyasi; 8 – BP (boshqaruv paneli); 9 – quyosh nurlari; 10 – harorat datchigi; 11 – havo namligi datchigi; 12 – IK lampalar; 13 – nazoratchi; 14 – inverter; 15 – kirish darchasi; 16 – tortim truba; 17 – tortim ventilyator; 18 – shnekli qurilma; 19 – rekuperativ issiqlik almashtirgich; 20 – G simon truba.

5-rasm. Retsirkulyatsiyali rekuperativ issiqlik almashtirgichli quyosh quritgich (RRIAQQ) qurilmasining prinsipial sxemasi.

Quritish jarayonini jadallashtirish va samaradorligini oshirish maqsadida meva va sabzavot mahsulotlarini quritish uchun energiya tejamkor quyosh quritgichi ishlab chiqildi (5-rasm). Ishlab chiqilgan qurilmaning ilmiy yangiligiga O’zbekiston Respublikasi Intelektual mulk agentligining foydali modelga FAP 02102 raqamli patenti olingan.

Ushbu gelioquritgichda ishlatilgan quritish agentini tashqariga chiqarish uchun uning yuqori qismiga tortim trubasi (16) o‘rnatilgan. Tortim trubasi shunday yasalganki, u tashlandiq issiq nam havoni chiqarib tashlash bilan birga rekuperativ issiqlik almashtirgich (19) (RIA) sifatida ham ishlatiladi. RIA ichki va tashqi truba (quvur)dan (truba ichida truba) va tortim ventilatoridan iborat. Ichki trubaning

balandligi 2 m, uning ichiga shnekli qurilma (18) o‘rnatilgan. (RIAning ichki va tashqi quvurlari diametrlari mos ravishda 20 sm va 16 sm ni tashkil etadi. Rekuperativ issiqlik almashtirgichning tashqi trubkasi qora rangga bo‘yalgan va kun davomida quyosh nurlari ta’sirida qiziydi (5-rasm.).

RRIAQQ ning ishlash prinsipi quyidagicha. Tortim ventilyatori (17) yordamida mevalarni quritish jarayonida ishlatilgan nam havo tortim truba (shnekli kanal) orqali atmosferaga chiqariladi. Ishlatilgan quritish agenti (tashlandiq issiq havo) o‘z harakati davomida shnekli truba orqali o‘z issiqligining bir qismini issiqlik almashtirgichga, ya’ni tashqaridan kiradigan atmosfera havosiga beradi. Rekuperativ issiqlik almashtirgichning tashqi trubkasi quyosh nurlanishini yutish orqali qizdiriladi va uning issiqligining bir qismi quritgichga kiradigan havo oqimiga o‘tkazadi.

Taklif etilayotgan quyosh quritgich qurilmasi majburiy va tabiiy sirkulatsiya rejimlarida hamda retsirkulyatsiya rejimida ishlashi mumkin. Retsirkulyatsiya rejimida ushbu quyosh quritgichi quyidagicha ishlaydi: kameraga mahsulotlarni yuklagandan so‘ng, quritgich pastki qismidagi havo kirish darchalari yopiladi va ventilyator (2) ishlatilmaydi. 55-60 °S haroratgacha qizdirilgan havo ventilyator (3) orqali quritiladigan mevalar bo‘ylab haydaladi va retsirkulyatsiya jarayoni kamerada havo nisbiy namligi ma’lum qiymatga (masalan, 40 %) yetguncha davom etadi. Mevalar qurishining birinchi davrida kameradagi havoning namligi asta-sekin ortib boradi. Kamera ichidagi havo nisbiy namlikning belgilangan qiymatiga erishgandan so‘ng, namlik datchigi (DHT-21 turi) (11) avtomatik ravishda tortim ventilyator (17) ni ishga tushiradi. So‘ngra, kameradagi havo namligi o‘rnatilgan qiymatgacha kamayishi bilan tortim ventilyator (17) namlik datchigi signali bilan o‘chiriladi va jarayon yana takrorlanadi.Tavsiya etilayotgan gelioquritgich qurilmasida quritish mavsumida mevalarni quritish jarayonini o‘rganishga oid ilmiy tadqiqot ishlari amalga oshirildi.

Shuningdek, ushbu bobda retsirkulyatsiyali quyosh quritgich (RQQ) ida mevalarni qurish jarayonida harorat va namlik rejimining matematik modellashtirish va nazariy tadqiqot natijalari, jumladan issiqlik balansining energetik tahlili va sonli tadqiqot natijalari keltirilgan.

Quritgich kamerasi ichidagi mahsulot uchun issiqlik balansi tenglamalari quyidagi ko‘rinishda yoziladi:

$$C_{\text{м}}M_{\text{м}}\frac{dT_{\text{м}}}{dt} = \alpha_{\text{к}1}(T_{\text{а}} - T_{\text{м}})S_{\text{м}} - \left(\alpha_{\text{к}2} + \alpha_{bug'}\right)(T_{\text{м}} - T_{n.h})S_{\text{м}} + \alpha_{\text{м}}S_{\text{м}}q_{tush}^{\Sigma} \quad (3)$$

Quritish kamerasidagi nam havo uchun issiqlik balansi tenglamasi:

$$C_{n.h}M_{n.h}\frac{dT_{n.h}}{dt} = \left(\alpha_{\text{к}2} + \alpha_{bug'}\right)(T_{\text{м}} - T_{n.h})S_{\text{м}} - \alpha_{\text{к}3}(T_{n.h} - T_d)S_d - c_{q.r}S_{ch}\sqrt{2g\Delta H}\Delta P\,, (4)$$

Bosim farqi ΔH (m) va parsial bosim farqi ΔP (N/m^2) quyidagi ifodalardan aniqlanadi:

$$\Delta H = \frac{\Delta P}{\rho_{n.h}g} \quad (5)$$

$$\Delta P = P(T_{n.h}) - \gamma P(T_{\text{o}}) \quad (6)$$

$$P(T) = exp\left(25.317 - \frac{5144}{T + 273.15}\right) \quad (7)$$

Quritish kamerasining devori uchun issiqlik balans tenglamasi:

$$C_d M_d \frac{dT_d}{dt} = \alpha_{к3}(T_{n.h} - T_м)S_d - \alpha_d(T_d - T_о)S_d, \quad (8)$$

Quritish tizimining ishlashini bashorat qilish uchun quritgichning oniy issiqlik samaradorligini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\eta = \frac{\alpha_{bug'}(T_м - T_{n.h})}{q_{tush}^{\Sigma}} 100, \quad (9)$$

Issiq havo va quritiladigan mahsulot orasidagi konvektiv issiqlik uzatish koeffitsiyenti quyidagicha ifodalanadi:

$$\alpha_{к1} = \alpha_{к2} = Nu \frac{\lambda_n}{D} \quad (10)$$

Turbulent oqim uchun: $Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4}$ (11)

$$0.7 \leq Pr \leq 120 \text{ , } 10^4 \leq Re \leq 1.2 \cdot 10^5 \quad (12)$$

Reynolds soni quyidagicha ifodalanadi:

$$Re = \frac{U_a l}{\vartheta} \quad (13)$$

Turbulent oqim uchun: $Nu = 0.036 Re^{0.8} Pr^{0.33}$ (14)

$Pr \geq 0.5$, $Re > 5 \cdot 10^5$ bu yerda Nu – Nusselt soni; Pr- Prandtl soni; Re- Reynolds soni; λ_n- nam havoning issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti (Vt/m°S); D- mahsulot qatlamining xarakterli diametri (m); U_a - havo tezligi (m/s); l- xarakterli o‘lcham (m); ϑ - nam havoning kinematik yopishqoqligi (m^2/s).

Izolatsiya qatlami uchun issiqlik berish koeffitsiyenti quyidagi formula bo‘yicha hisoblanadi:

$$\alpha_d = \frac{\lambda_i}{d_i} \quad (15)$$

Bu yerda λ_i, d_i- mos ravishda ko‘rib chiqilayotgan izolatsiya qatlamining issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti (Vt /m °S) va qalinligi (m).

Bug‘lanish orqali issiqlik berish koeffitsiyenti quyidagiga teng:

$$\alpha_{bug'} = 0.016 \alpha_{к1} \frac{[P(T_м) - \gamma P(T_{n.h})]}{T_м - T_{n.h}} \quad (16)$$

(3) - (8) differensial tenglamalarni 5-rasmda ko‘rsatilgan chegara shartlari bilan yechish uchun Laplas o‘zgartirish usuli (operatsion usul) qo‘llanildi.

Quritish kinetikasini quritish va quritish tezligiga ta’sir qiluvchi omillarga bog‘liqlik sifatida aniqlash mumkin. Quritish paytida namlik o‘tkazuvchanligini birinchi tartibli kinetik model yordamida quyidagicha tasvirlash mumkin:

$$-\frac{dM}{dt} = k(M - M_n) \quad (17)$$

bu yerda: M-quritish paytida quruq vaznga nisbatan mahsulotdagi namlik miqdori (kg suv/kg quruq modda); M_n–quritilgan mahsulotdagi muvozanatli namlik (kg suv/kg quruq moddalar); k–quritish tezligi (s^{-1}); t–quritish vaqti (s). Quritish tezligi nam havo haroratiga bog‘liq bo‘lib, quyidagi munosabatdan aniqlanadi:

$$k = -9.75 \cdot 10^{-4} + 3.29 \cdot 10^{-6} T_{n.h} \quad (18)$$

va shunga mos ravishda, muvozanatli namlik miqdori quyidagicha aniqlanadi:

$$M_e = \frac{W_m C K a_w}{(1-Ka_w)[1+(C-1)Ka_w]} \quad (19)$$

Bu yerda W_m, C va K - havo harorati bilan bog‘liq parametrlar bo‘lib ular quyidagi ifodalar bilan aniqlanadi:

$$W_m = 0.0014254 exp\left(\frac{1193.2}{T_к}\right) \quad (20)$$

$$C = 0.5923841 exp\left(\frac{1072.5}{T_к}\right) \quad (21)$$

$$K = 1.00779919 exp\left(-\frac{43.146}{T_к}\right) \quad (22)$$

Har qanday materialning quritish tezligi (pasayish tezligi bilan) quritish egri chizig‘ining qiyaligi sifatida aniqlanadi. t=0 bo‘lsa, materialning namligi dastlabki namlik miqdoriga teng bo‘ladi (ya’ni M = M_0). Yuqorida keltirilgan tenglama "t" va M_t vaqtidagi namlik miqdori uchun quyidagi ifodani olish uchun integrallangan:

$$M_t = M_n - (M_n - M_0)\exp(-kt) \quad (23)$$

Bu tenglama quyidagicha yoziladi: $MR = \frac{M_t - M_n}{M_0 - M_n} \approx \frac{M_t}{M_0} = \exp(-kt).$ (24)

Taklif etilayotgan modelning aniqligi har bir verifikatsiya va validatsiya darajasida determinatsiya koeffitsiyenti (R^2) ning qiymati, o‘rtacha siljish xatoligi (MBE) va o‘rtacha kvadratik og‘ish (RMSE) usullari yordamida baholandi. Tavsiya etilgan matematik modelda hisoblangan quritish agenti haroratining statistik tahlili 2020-yil 5-6-sentabr kunlari o‘tkazilgan tajriba natijalarini solishtirish yo‘li bilan amalga oshirildi.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(R_{m_i} - R_{e_i}\right)^2}{\sum_{i=1}^{N}\left(R_{m_i} - \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} R_{m_i}\right)^2} \quad (25)$$

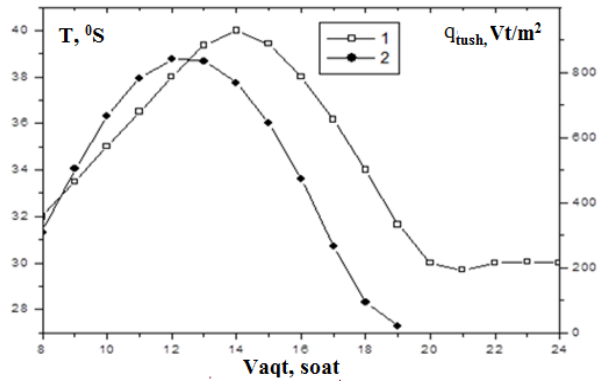
$$MBE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(R_{m_i} - R_{e_i}\right)^2 \quad (26)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(R_{m_i} - R_{e_i}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad (27)$$

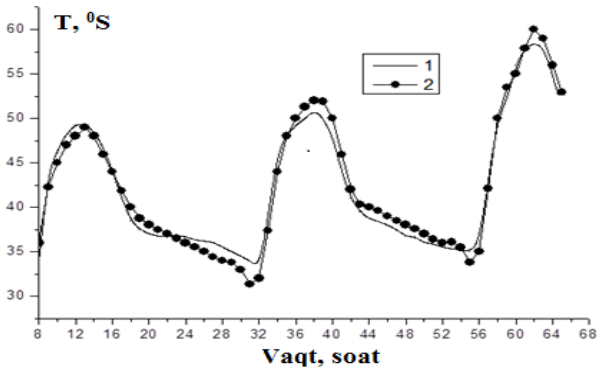
bu yerda, N - ma’lumotlar nuqtalari soni, R - ma’lumotlar to‘plami, e va m indekslar mos ravishda eksperimental va hisoblash ma’lumotlarni bildiradi.

Taklif etilayotgan matematik modelning ishonchliligini tekshirish uchun statistik tahlil o‘tkazildi, unda hisoblangan natijalar 2020-yil 5–6-sentabrda o‘tkazilgan eksperimental natijalar bilan solishtirildi. Atrof-muhit haroratining sutkalik o‘zgarishi va yig‘indi quyosh radiatsiyasi oqimining zichligi 6-rasmda ko‘rsatilgan. O’lchash natijalari ko‘rsatganidek, maksimal atrof-muhit harorati soat 14:00 da kuzatiladi, tushayotgan yig‘indi quyosh radiatsiyasi oqim zichligining eng yuqori qiymati, esa soat 12:30 da kuzatiladi.

Quyosh quritgich ichidagi haroratning kunlik o‘zgarishlarining statistik tahlili natijalari shuni ko‘rsatadiki: RMSE - o‘rtacha kvadratik xatolik 2,3°S ga teng foizda o‘rtacha kvadratik xatosi 5,7% ga teng va korrelatsiya koeffitsiyenti kvadrati 0,86 ga teng. Eksperimental va hisoblash ma’lumotlarning natijalari o‘rtasidagi asosiy siljish eng yuqori haroratlarda kuzatiladi.



6-rasm. (1) atrof-muhit haroratining kunlik o‘zgarishi va (2) tushayotgan yig‘indi quyosh radiatsiyasi oqim zichligining kunlik o‘zgarishlari



7-rasm. Gelioquritgich ichidagi haroratning sutkalik o‘zgarishi: 1-hisoblangan natijalar; 2-eksperimental natijalar

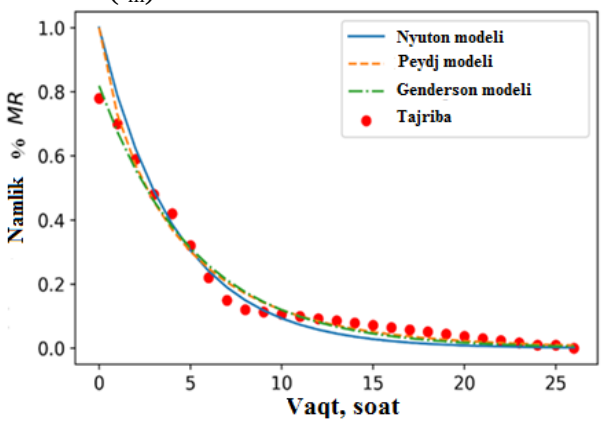
Retsirkulyatsiyali quyosh quritgich qurilmasida meva va sabzavotlarni quritish kinetikasini o‘rganish bo‘yicha tajribalar o‘tkazildi. Quritish obyekti sifatida olma mevasi tanlangan. 1-jadvalda ochiq havoda (quyoshda) va gelioquritgich kamerasida mevalarni quritish jarayonida olingan tajriba o‘lchash ma’lumotlari keltirilgan.

1-jadval

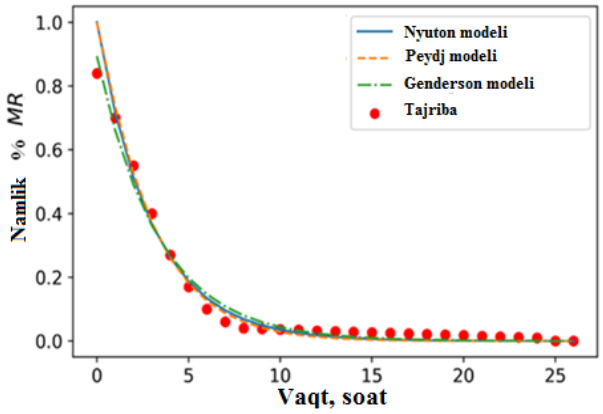
RIAQQning tajriba tadqiqotlari natijalari

Vaqti (soat)	m_1, г	m_2, г	t_o	φ_1	t_1	t_2	φ_2	$t_м$
10:00	100	100	32,4	13	46	46	50	34
11:00	92	86	34,1	10	44	44	50	36,1
12:00	81	71	34,8	12	48	47	46	40,2
13:00	70	56	36	12	52,3	51,3	38	43,9
14:00	64	43	36,8	10	54,3	52,7	32	47
15:00	54	33	37,6	10	54	53,2	25	47,6
16:00	44	26	36,7	10	52,3	51,1	19	48,9
17:00	37	22	36,6	10	42,8	43,1	21	42,6
10:00	34	20	35,7	10	38,2	38,2	21	38,4
11:00	23	17	31,4	18	48,4	53,1	21	49,2
12:00	23	16	34,9	14	57,2	58,6	16	57,3
13:00	22	16	36,3	12	64,7	64,7	16	57,3

Belgilashlar: ochiq maydondagi meva massasi (m_1), quritgichdagi meva massasi (m_2), tashqi havo harorati (t_o); tashqi havo namligi (φ_1); quritgich ichidagi havo harorati mos ravishda kamera pasti (t_1) va kamera yuqorisi (t_2); quritgich ichidagi nisbiy havo namligi (φ_2); meva harorati (t_m).



8-rasm. Olmani ochiq havo paytida quritish kinetikasi.



9-rasm. Olmani quyosh quritgich kamerasida quritish kinetikasi.

Olmani quritgich kamerasida va quyosh nuri bilan quritish jarayonida mahsulotni quritish kinetikasining hisoblash va empirik grafiklari nazariy, yarim nazariy, empirik va eksperimental natijalar orasida eng yaxshi moslik borligini ko‘rsatadi (9-rasmda). Ammo faqat Genderson va Pabis modeli eng yaxshi natijani ko‘rsatdi. Bu yerda determinatsiya koeffitsiyenti (R^2), siljishning o‘rtacha xatosi (MBE) va o‘rtacha kvadratik xatolik (RMSE) mos ravishda 0,985, 0,027 va 0,0007 ni tashkil qiladi. Olingan natijalarning batafsil statistik tahlili 2-jadvalda keltirilgan (2-rejim mahsulot namunasi quritish kamerasida quritilgan rejimga mos keladi).

2-jadval

Ochiq havoda va quyosh quritgichida quritilgan olmaning quritish kinetikasi matematik modelining aniqligi

Model	Qurish rejimi	k, s^{-1}	k_e, s^{-1} tengla-ma (20)	N	a	R^2	RMSE	MBE
$MR=\exp(-kt)$	Rejim1	0,2372	0,143 0,320	-	-	0,939	0,053	0,0028
	Rejim 2	0,3343		-	-	0,973	0,036	0,0013
$MR=\exp(-kt^n)$	Rejim 1	1,284		0,828	-	0,950	0,048	0,0023
	Rejim 2	0,1838		1,063	-	0,974	0,036	0,0013
$MR=a\exp(-kt)$	Rejim 1	0,192		-	0,818	0,984	0,027	0,0007
	Rejim 2	0,301		-	0,894	0,985	0,027	0,0007

Dissertatsiyaning **“Retsirkulyatsiyali quyosh quritgichini ishlab chiqarish sinov natijalari va uning texnik-iqtisodiy ko‘rsatkichlarini baholash”** deb nomlangan to‘rtinchi bobida retsirkulyatsiyali gelioquritgichining samaradorligini oshirish, quritish kinetikasining nazariy hisoblash va tajriba natijalarining o‘zaro mosligini tekshirish va tavsiya etilayotgan gelioquritgichning texnik iqtisodiy ko‘rsatgichlari bo‘yicha tadqiqot natijalari keltirilgan.

10-rasm. Retsirkulyatsiyali quyosh quritgich qurilmasining tashqi ko‘rinishi.

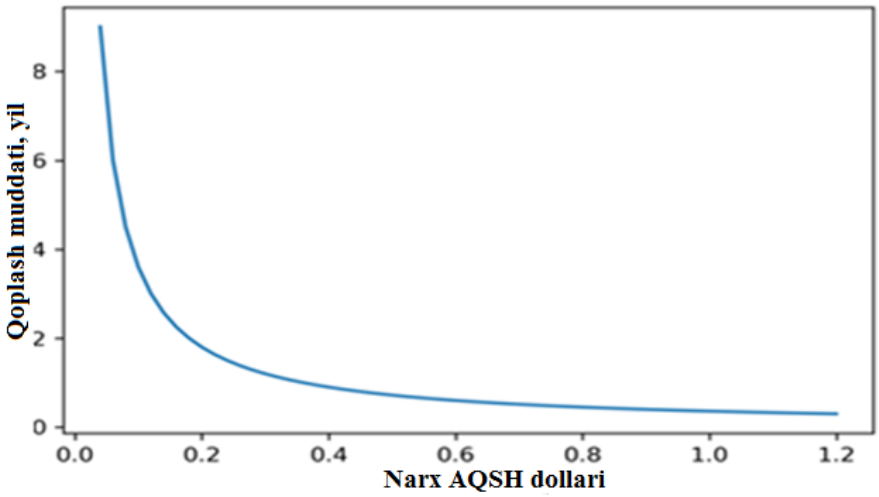
Ko‘pincha, gelioquritgichlarni texnik-iqtisodiy samaradorligini tahlil qilishda yillik xarajat usuli qo‘llaniladi. Quritgichning umumiy yillik tannarxi bir yilda quritilgan mahsulot miqdoriga bo‘linib, quritilgan mahsulotning birlik massasiga to‘g‘ri keladigan quritish xarajatlarini topish mumkin.

Quyosh quritgichining iqtisodiy samaradorligini aniqlash uchun quritilgan mahsulotlarni, masalan, o‘rik, uzum, olma va boshqalarni quritilgandan keyin olingan mahsulot miqdori hamda boshqa ma’lumotlarini ham bilish kerak.

3-jadval

Retsirkulyatsiyali gelioquritgich qurilmalarida qora kishmishni quritish bo‘yicha o‘tkazilgan qiyosiy tajriba natijalari

№.	Gelioquritgichning issiqlik-texnikaviy va texnologik ko‘rsatgichlari	Retsirkulya-siyali gelioquritgich	Retsirkulya-siyali RIAQQ
1	Gelioquritgich shaffof yuzasining maydoni, m^2.	6.2	6.2
2	Gelioquritgich sirtiga tushadigan o‘rtacha kunlik quyosh radiatsiyasi, Vt/m^2.	600	600
3	Mahsulotning dastlabki namligi (qora kishmish), %	80	80
4	Mahsulotning quritilgandan keyingi namligi (qora kishmish), %	24	22
5	Mahsulotni solishtirma yuklash yuzasi maydoni, kg/m^2	8	8
6	Quritish vaqti, kun	7	5
7	Quritish unumdorligi, $kg.q.m. / m^2$. kun	0.55	0.95
8	Quritgich ichidagi kunlik o‘rtacha temperatura, 0 S	44	52
9	Quritgich ichidagi kunlik o‘rtacha havoning nisbiy namligi, %	30,5	18,5
10	Samaradorlik, %	32	40



11-rasm. Quritigich qurilmasining o‘zini qoplash muddatining mahsulot narxiga bog‘liqligi.

Yuqoridagi ma’lumotlarga ko‘ra, ushbu qurilmaning iqtisodiy va ekologik yutuqlarini aniqlash bo‘yicha hisoblashlar amalga oshirildi. Quyosh quritgichlaridan olingan hisoblash ma’lumotlarga asoslanib, unda quritilgan mahsulot narxiga qarab, qurilmani o‘zini qoplash muddatini aniqlash mumkin.

Hisoblashlar shuni ko‘rsatadiki, quyosh quritgich qurilmasining o‘zini qoplash muddati quritilgan mahsulot tannarxiga bog‘liq bo‘lib (0.04 dan 1.2 AQSH dollarigacha) 4 oydan 6 yilgacha o‘zgaradi.

XULOSA

Dissertatsiya ishida qo‘yilgan maqsad va vazifalarni yechish bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlarga asoslanib quyidagi xulosalar qilindi.

1. Quyosh quritgichlari bo‘yicha adabiyotlar sharhi va eksperimental ma’lumotlarning tahliliga asoslanib, quyosh quritgichlarining konstruksiyalarini loyihalashda shaffof izolatsiya qoplamasi sifatida shisha va plyonkaga nisbatan mexanik kuchlanishlarga bardosh bera olishi va issiqlik izolatsion xususiyatlarining yuqori ekanligini inobatga olgan holda uyali polikarbonatdan foydalanish samarali ekanligi aniqlandi.

2. Quyosh quritgichining laboratoriya modelidan foydalanib, meva va sabzavotlarni quritish kinetikasining asosiy parametrlari aniqlandi. O’tkazilgan tajribalarni rejalashtirish usuli asosida gelioquritgichda o‘rikni turli rejimlarda quritish jarayonida uning quritish davomiyligining asosiy quritish omillariga bog‘liqligini aks ettiruvchi regressiya tenglamasi olindi.

3. Gelioquritgich qurilmasida mevalarni quritish kinetikasi modellashtirildi va ularni quritish tezligini quritish agentining issiqlik va massa-almashinish parametrlari bilan bog‘laydigan hamda mahsulot nisbiy namligining har qanday qiymatlarida quritgichlarda mahsulotlarning quritish tezligini bashorat qilish imkonini beradi tenglama olindi.

4. Gelioquritgich qurilmasi shaffof sirtidan issiqlik yo‘qotilishini kamaytirish va mevalarning quritish intensivligini oshirish imkonini beradigan retsirkulyatsiyali quyosh quritgich qurilmasi ishlab chiqildi (FAP 01889).

5. Quyosh quritgich qurilmasida ishlatilgan issiqligini utilizatsiya qilishga mo‘ljallangan, takomillashtirilgan rekuperativ issiqlik almashtirgichli energiya tejamkor quyosh quritgich qurilmasi ishlab chiqildi (FAP 02102). Qurilmada ishlatilgan issiq havoni utilizatsiya qilish jarayonida quritgichning FIK faol shamollatiladigan gelioquritgich qurilmasiga nisbatan 8-10 % yuqori ekanligi aniqlandi.

6. Taklif etilgan takomillashgan RRIAQQ qurilmasi Buxoro viloyati iqlim sharoitida qo‘llanilganda, bir mavsum davomida qurilmaning har bir m^2 yuzasidan 225 kg quritilgan meva olishga hamda har 100 kg quritilgan mahsulotni quritish uchun sarf qilinayotgan mablag‘ miqdorini 2,25 mln so‘m tejalishiga erishilgan.

НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ PhD.03/30.09.2020.Т.111.03 ПРИ КАРШИНСКОМ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОНОМИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ

БУХАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

НАЗАРОВА НАРГИЗА МУСТАКИМОВНА

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ФРУКТОСУШИЛКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

05.05.06 – Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ

Карши – 2023

Тема диссертации доктора философии (PhD) по педагогическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Мı Республики Узбекистан за № B2020.3.PhD/T1156.

Диссертация выполнена в Бухарском государственном университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекском, русском, английском (резюме) размещен на веб-странице Научного совета (www. qmii.uz.uz) и информационно-образовательном портале "ZiyoNet" (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель: **Жураев Туроб Дониёрович**
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Пайзуллахонов Мухаммаде-Султанхон Сайдивалихонович**
доктор технических наук, с.н.с.

Файзиев Тулкин Амирович
кандидат технических наук, доцент

Ведущая организация: **Физико-технический институт**

Защита диссертации состоится «___» _____ 2023 года в ____ часов на заседании Научного совета PhD.03/30.09.2020.T.111.03 при Каршинском инженерно-экономическом институте. (Адрес: 180100, г. Карши, ул. Мустакиллик, 225. Тел: (99875) 224-02-89, факс: (99875) 224-13-95, e-mail: kiei_info@edu.uz.)

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Каршинского инженерно-экономического института (зарегистрировано № ___). (Адрес: 180100, г. Карши, ул. Мустакиллик, 225. Тел: (99875) 224-02-89, факс: (99875) 224-13-95, e-mail: kiei_info@edu.uz.)

Автореферат диссертации разослан «_____»_____2023 года.

(протокол реестра за №_____ 2023 года).

Г.Н. Узаков
Председатель Научного совета по присуждению учёных степеней, д.т.н, профессор

Х.А.Давлонов
Ученый секретарь научного совета по присуждению ученых степеней, д.ф.т.н., доцент

Б. Уришев
Председатель научного семинара при научном совете по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. Даже в самых прогрессивных странах мира развитие использования альтернативных источников энергии рассматривается как один из наиболее эффективных путей решения проблемы нехватки природных топливно-энергетических ресурсов. Процессы выращивания, хранения и сушки сельскохозяйственной продукции являются технологическими процессами, которые сопровождаются большими энергозатратами. «В мире количество энергии, расходуемой на обработку, хранение и сушку сельскохозяйственных продуктов питания, составляет 30% от общего количества энергии, используемой для этого сектора»[1]. По этой причине важно совершенствовать технологии сушки сельскохозяйственной продукции и разрабатывать энерго- и ресурсосберегающие технологии на основе альтернативных источников энергии.

В мире проводятся научные исследования, направленные на разработку энергосберегающих солнечных сушилок для сушки плодоовощной продукции на основе возобновляемых источников энергии, создание эффективных методов и технологий сушки. В этом направлении, в частности, приоритетными считаются исследования по разработке энергосберегающих солнечных сушилок, снижению энергоёмкости процессов сушки сельскохозяйственной продукции на основе эффективного использования солнечной энергии. По этой причине особое внимание уделяется повышению производительности солнечных сушильных устройств, а также разработке сушилок с компактной и ресурсосберегающей конструкцией.

В нашей республике в целях круглогодичного удовлетворения потребности населения в сухофруктах ведутся работы по разработке современных технологий сушки, достигнуты определённые результаты по созданию новых конструкций эффективных гелиосушилок и внедрению их в производство. В «Стратегии по переходу Республики Узбекистан на «зелёную» экономику на период 2019 — 2030 годов», утверждённой Постановлением Президента Республики Узбекистан № ПП-4477 от 4 октября 2019 года, в направлении «...диверсификации потребления энергоресурсов и развития использования возобновляемых источников энергии...»[2] обозначены важные задачи, поэтому создание компактных энергосберегающих гелиосушильных установок на основе альтернативных источников энергии является актуальной научно-технической задачей.

Данное диссертационное исследование в определённой степени служит реализации задач, обозначенных в направленных на повышение энергоэффективности в отраслях экономики республики, экономию топливно-энергетических ресурсов, внедрение энергосберегающих

[1] https://www.fao.org/3/cb7433en/cb7433en.pdf

[2] Постановление Президента Республики Узбекистан № ПП-4477 от 4 октября 2019 года «Об утверждении стратегии по переходу Республики Узбекистан на «зелёную» экономику на период 2019 — 2030 годов», https://lex.uz/docs/-4539502

технологий на основе возобновляемых источников энергии в Постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП-4779 от 10 июля 2020 года «О дополнительных мерах по сокращению зависимости отраслей экономики от топливно-энергетической продукции путём повышения энергоэффективности экономики и задействования имеющихся ресурсов», № ПП-4422 от 22 августа 2019 года «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии», а также других нормативно-правовых документах, связанных с данной деятельностью.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий в Республике Узбекистан: IV. «Развитие методов использования возобновляемых источников энергии, создание технологии и устройств на основе нанотехнологии, фотоники и других передовых технологий».

Степень изученности проблемы. Научные исследования по теории и технике сушки сельскохозяйственной продукции, в том числе созданию солнечных сушилок, предназначенных для сушки фруктов и овощей, и повышению их эффективности, проводятся в ведущих мировых научных центрах и высших учебных заведениях. Учёные зарубежных стран А.В.Ликов, А.С. Гинзбург, М.В.Радкевич, С.Г. Ильясов, Н.И.Ангерсбах, М.Титов, M.A.Hossain, D.R.Pangavhane, A.Fudholi, G.N.Tiwari, B.K.Bala и другие внесли весомый вклад в изучение данных проблем.

В нашей республике разработку современных технологий сушки и переработки плодоовощной продукции, в частности, научно-исследовательские работы по совершенствованию конструкций солнечных сушилок и определению оптимальных режимов процесса сушки в них проводили Г.Г.Умаров, Б.Э.Хайриддинов, Р.Р.Авезов, Р.А.Зохидов, А.Исмоилова, З.С.Искандаров, В.Д.Ким, З.Тоиров, А.Ахмадалиев, А.И.Исманжонов, М.Р.Назаров.

Несмотря на достигнутые положительные научные результаты, исследователями в области гелиоэнергетики мало изучены такие проблемы, как снижение теплопотерь в гелиосушилках и разработка энергосберегающих сушильных установок и протекающих в них тепловых процессов, а также методы переработки используемого тепла (повторное использование отработанного горячего воздуха в гелиосушилках).

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего учебного заведения, где выполнена диссертация.

Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательских работ Бухарского государственного университета, в рамках научно-исследовательского направления № А-13-3 «Дальнейшее совершенствование установок возобновляемых источников энергии и

исследование моделирования их процессов», намеченного на 2016-2017 годы.

Цель исследования - разработка и исследование высокоэффективной энергосберегающей рециркуляционной гелиосушилки для сушки фруктов и овощей.

Задачи исследования:

анализ современного состояния солнечных сушильных устройств и технологий сушки;

изучение кинетики сушки плодов в рециркуляционной солнечной сушильной установке и проведение исследований с использованием методов моделирования и численного расчёта протекающих в ней тепло- и массообменных процессов;

разработка энергосберегающей гелиосушильной установки и проведение экспериментальных исследований;

экспериментальное исследование эмпирических моделей кинетики сушки различных фруктов в рециркуляционной гелиосушилке и на открытом воздухе;

оценка технико-экономических показателей энергосберегающей гелиосушильной установки.

Объектом исследования была выбрана рециркуляционная гелиосушильная установка.

Предметом исследования является изучение кинетики сушки плодов в рециркуляционной гелиосушильной установке, а также закономерностей тепло- и массообменных процессов.

Методы исследования. В процессе исследования использовались математическое моделирование, теория тепломассопереноса, планирование экспериментов и методы обобщения результатов эксперимента.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

разработана компактная установка солнечной сушилки с инфракрасным отражателем, системой вентиляции и системой автоматического управления температурно-влажностными режимами, позволяющая снизить теплопотери и повысить энергоэффективность от прозрачной поверхности сушильной камеры с покрытием из сотового поликарбоната;

разработана энергосберегающая установка солнечной сушилки с высокой тепловой эффективностью и усовершенствованной посредством рекуперативного теплообменника системой рециркуляции, позволяющая использовать для сушки продукта вторичное тепло, используемое в установке солнечной фруктосушилки;

разработана математическая модель, позволяющая рассчитать кинетику сушки и связывающая скорость сушки с параметрами тепло- и массообмена сушильного агента с учётом изменения влажности и температур высушиваемого продукта и воздуха;

на основании обобщения результатов эксперимента, проведённого в устройстве рециркуляционной солнечной фруктосушилки, методом планирования экспериментов получено уравнение регрессии, позволяющее определить изменение продолжительности сушки продукции в зависимости от скорости и температуры сушильного агента.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработана компактная вентилируемая гелиосушильная установка для сушки фруктов, работающая в рециркуляционном режиме;

в целях повышения эффективности рециркуляционной гелиосушильной установки разработан и изготовлен полупромышленный образец гелиосушильной гелиосушильной установки с рекуперативным теплообменником.

Достоверность результатов исследования подтверждается тем, что исследование проведено с использованием современных методов и измерительных средств, современной математической обработки полученных результатов, применением эмпирических, наблюдательных и сравнительных методов в одних и тех же условиях, а также тем, что эффективность приведённой установки соответствует эффективности её прототипа и аналогов, получением положительных результатов испытаний устройства рециркуляционной солнечной сушилки (РСС) и внедрением его в практику.

Эксперимент, проведённый в естественных условиях на установке РСС, характеризуется тем, что результаты исследований и экспериментов полностью совпадают с результатами расчётов.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Практическая значимость результатов исследования заключаются в разработке режимов сушки фруктов для повышения эффективности рециркуляционной компактной солнечной сушилки, математической модели этих процессов и её программного обеспечения, а также применении рекуперативного теплообменника, позволяющего повторно использовать отработанное тепло в солнечной сушилке.

Рециркуляционная компактная гелиосушильная установка может быть использована для производства качественных сухофруктов в садоводческих хозяйствах, расположенных вдали от централизованной системы электроснабжения.

Внедрение результатов исследования. На основании полученных результатов исследования по разработке и исследованию рециркуляционной сушилки фруктов с использованием альтернативных источников энергии:

получен патент на полезную модель от Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан на компактную гелиосушильную установку для сушки сельскохозяйственной продукции (№ FAP 01889., 29.03. 2022 г.) и энергосберегающую гелиосушильную установку (№ FAP 02102., 13.09.2022 г.). В результате создана возможность получения качественного сушёного продукта при использовании высокоэффективной энергосберегающей гелиосушильной установки;

в хозяйствах «Баколлик Усман Вахидов» и «Зарафшон сув сохиллари» Бухарской области внедрена энергосберегающая рециркуляционная солнечная сушилка (справка Министерства сельского хозяйства № 04/21-06/157 от 22 декабря 2021). В результате за счёт использования рециркуляционной гелиосушильной установки сэкономлено 2,25 млн. сумов денежных средств, затраченных на сушку каждых 100 кг сушёной продукции;

Апробация результатов исследования. Результаты исследования обсуждались на 11 научно-практических конференциях, в том числе на 8 международных и 3 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. Всего по теме диссертации опубликовано 25 научных работ, в том числе 2 монографии, 6 статей опубликованы в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций, в том числе 2 - в зарубежных журналах и 4 - в республиканских журналах, а также получены 2 авторских свидетельства на программный продукт ЭВМ и 2 патента на полезную модель Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Объём диссертации составляет 112 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обоснована актуальность и востребованность проведенного исследования, охарактеризованы цели, задачи, объект и предмет исследования, показано соответствие темы исследования основным направлениям развития науки и технологий республики, изложены научная новизна и практические результаты исследования, раскрыта достоверность полученных результатов, научная и практическая значимость, приведены сведения о внедрении результатов исследования, опубликованных работах и структуре диссертации.

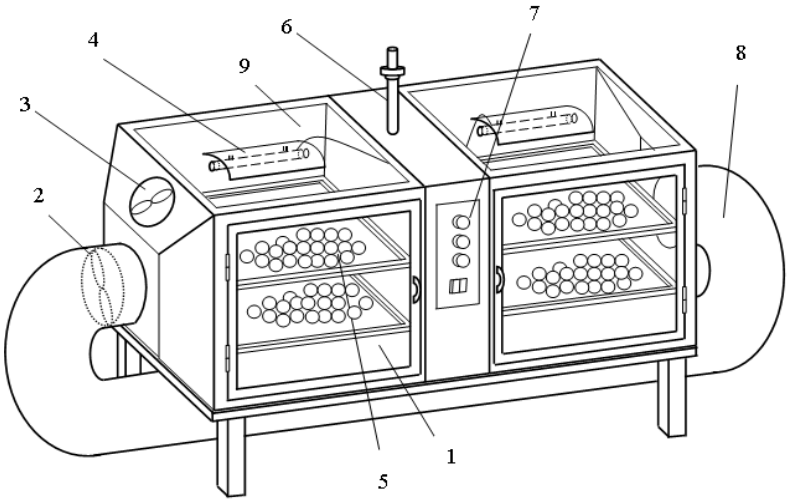
В первой главе диссертации, озаглавленной **«Современное состояние и перспективы сушки плодоовощной продукции с использованием солнечной энергии»**, содержатся сведения о мировой практике и современных способах и технологии сушки плодоовощной продукции с использованием солнечной энергии в нашей стране. Проанализированы научно-исследовательские работы по устройству гелиосушильных установок для сушки сельскохозяйственной продукции, описанию принципов работы, кинетике сушки высушиваемой в них плодовой продукции, процессов тепло- и массообмена в процессе сушки. Результаты анализа показывают, что, несмотря на достигнутые важные результаты, такие проблемы, как снижение теплопотерь в гелиосушильных установках и разработка энергосберегающих сушильных установок и протекающих в них тепловых процессов, а также используемые методы рекуперации тепла, недостаточно исследованы. На

основе проведённого научного анализа были сформированы цели и задачи диссертационной работы с учётом тенденции повышения эффективности сушильных установок и определения их потенциала, а также расширения масштаба исследований в области проектирования энергосберегающих солнечных сушильных установок.

Во второй главе диссертации, озаглавленной **«Повышение эффективности установок радиационно-конвективной солнечной сушилки и исследование в них процессов сушки»**, представлены кинетика процесса сушки овощей и фруктов в лабораторной модели радиационно-конвективной солнечной сушилки, а также результаты экспериментально-расчётных исследований.

В данной главе подробно описываются устройство и принцип работы радиационно-конвективной гелиосушильной установки для сушки фруктов.

Солнечно-тепловая сушилка включает в себя сушильную камеру, оснащённую системой вентиляции 2.3 и системой автоматического управления. Она может работать в режимах принудительной циркуляции и рециркуляции. В качестве дополнительного источника тепла использовалась рефлекторная ИК-лампа 4 (2 шт.) типа КГТ-1000. Она, в основном, используется для автоматической регулировки температурно-влажностного режима сушки продуктов в камере, а также для обеспечения непрерывной работы сушилки.



1-сушильная камера, 2.3-вентиляторы, 4-рефлекторный ИК-излучатель, 5- полка для продуктов, 6-контактный термометр, 7-панель управления, 8-воздушный канал, 9-прозрачная изоляция.

Рис. 1. Схема установки радиационно-конвективной гелиосушилки.

Удаление наружу использованного в сушильной камере теплоносителя осуществляется при помощи системы принудительного проветривания (вентиляции). Для принудительной циркуляции воздуха на входе в камеру установлен вентилятор 2. А вентилятор 3 установлен в верхней части камеры и используется для отвода влажного воздуха из сушильной камеры.

Исследована кинетика процесса сушки плодов в рециркуляционной сушилке, и разработана её математическая модель.

В процессе сушки плодов в радиационно-конвективной солнечной сушилке получено следующее уравнение, связывающее скорость их сушки с параметрами тепло- и массообмена сушильного агента (факторами сушки) :

$$\frac{dM}{d\tau} = \frac{C_p T.D.\rho_m(\tau)}{r} S(1-\varphi) \qquad (1)$$

где S – общая поверхность плодов. ρm (τ) – плотность насыщенного пара; φ- относительная влажность воздуха; D – коэффициент диффузии плода.

При изучении кинетики сушки фруктов в солнечных сушильных установках, а также выборе режимов их сушки одним из основных средств изучения тепловых процессов является метод планирования эксперимента (обработка результатов измерений). Известно, что процесс сушки продуктов является многофакторным, поэтому установить закономерности взаимосвязи между факторами затруднительно. По этой причине с помощью данного метода можно определить основные закономерности процесса сушки фруктов и овощей.

При сушке плодов происходят процессы тепло- и массообмена. Скорость сушки плодов зависит в основном от факторов сушки. Если вышеуказанный способ планирования эксперимента применить к тепловым процессам, то время на проведение экспериментов и получение результатов измерений значительно сократится.

Разработана активно вентилируемая радиационно-конвективная гелиосушильная установка для определения зависимости времени сушки и показателей качества плодов от основных факторов сушки.

При сушке фруктов в сушилке можно регулировать температуру, влажность воздуха и скорость сушильного агента (воздуха) в сушильной камере. Для контроля температурно-влажностных режимов в сушильной камере использовали датчик влажности, психрометр и датчик температуры, а в процессе сушки плодов - медно-константовую термопару и электронные весы.

При изучении тепловых процессов часто встречаются линейные и неполные квадратичные зависимости, и для их нахождения необходимо провести полный факториальный эксперимент (ПФЭ). При проведении ПФЭ планирование осуществляется на двух уровнях: - верхнем (+1) и нижнем (-1).

Количество опытов N зависит от количества факторов (k) и равно 2k. В нашем случае количество опытов для двух факторов будет $N=2^2=4$. Согласно матрице планирования эксперимента результаты экспериментов заносятся в рабочую таблицу.

Влажность плодов определена по изменению массы плодов при сушке посредством взвешивания. В качестве объекта сушки в солнечно-тепловой сушилке для экспериментов были выбраны абрикосы. Образцы абрикосов одинаковой массы (по 100 г) сушили в сушилке в разных режимах.

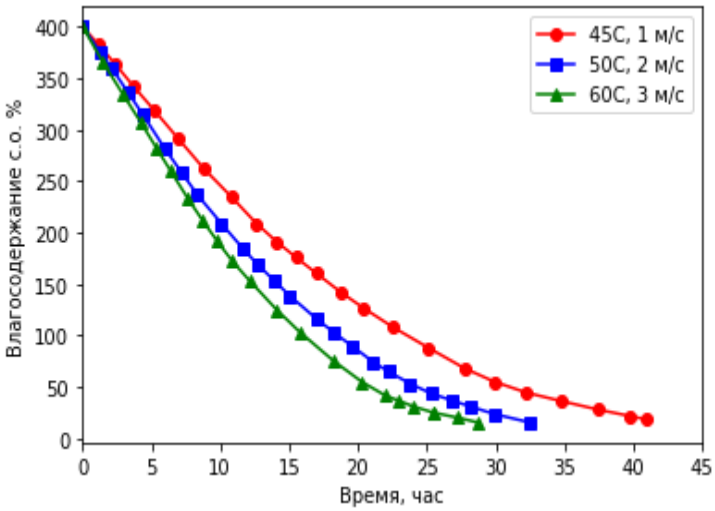


Рис. 2. Кинетика сушки образцов плодов абрикоса при различных режимах сушки.

В процессе сушки образцов в сушилке в разных режимах их массу измеряли каждый час на электронных весах. После каждого эксперимента определяли конечную влажность (время сушки) и показатели качества сухофруктов.

По полученным результатам измерений были построены графики кривых сушки плодов. На рисунке 2 представлены кривые сушки кураги при разных режимах сушки. Время сушки абрикосов можно определить по графику кривой сушки. Например, на рисунке 2 для кривых 1, 2, 3 последние три точки равны значениям времени сушки 28, 36, 42 часа, поэтому окончанием сушки можно считать t=42 часа.

На основании полученных экспериментальных результатов методом планирования экспериментов получено следующее уравнение регрессии, отражающее зависимость времени сушки плодов абрикоса от температуры воздуха и скорости сушильного агента:

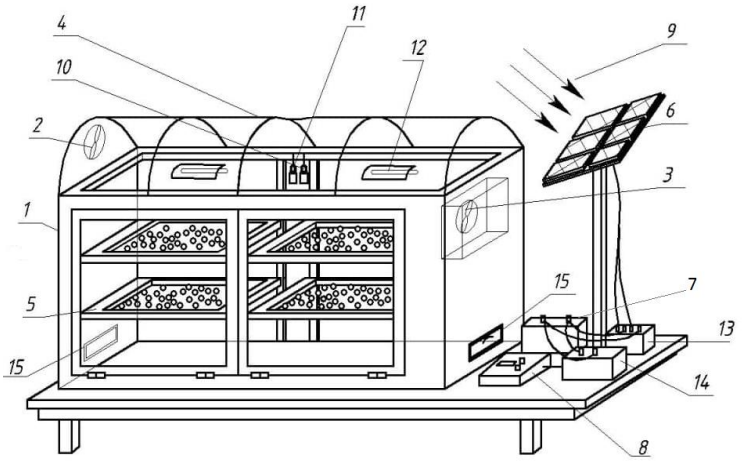
$$Y_1 = 36 - 5x_1 - 2x_2 - x_1x_2 \qquad (2)$$

где x_1,x_2 – температура и скорость сушильного агента соответственно.

Полученное уравнение (2) представляет собой математическую модель, отражающую зависимость продолжительности сушки абрикосов от основных факторов сушки.

Из полученного уравнения видно, что продолжительность сушки плодов уменьшается с увеличением температуры сушильного агента и его скорости. Кроме того, воздействие температуры оказывает сильное влияние на скорость сушильного агента. С помощью этого метода можно определить режимы сушки фруктов и овощей в солнечных сушилках.

В третьей главе диссертации, озаглавленной **«Исследование процессов тепло- и массообмена при сушке фруктов и овощей в гелиосушильных установках»**, отражены результаты эксперимента по опеределению конструкции опытного образца предлагаемой рециркуляционной гелиосушилки, принципу действия и исследованию происходящих в ней процессов тепломассообмена.



1 – сушильная камера; 2 – вентилятор (для отвода влажного воздуха); 3 – вентилятор (для активной вентиляции); 4 – прозрачная изоляция; 5 – стеллажи для сушки продуктов; 6 – СБ (солнечная батарея); 7 – аккумуляторная батарея; 8 –ПУ (панель управления); 9 – солнечные лучи; 10 – датчик температуры; 11 – датчик влажности воздуха; 12 – ИК-лампы; 13 – контроллер; 14 – инвертор; 15-вход.

Рис. 3. Принципиальная схема рециркуляционной компактной вентилируемой гелиосушилки.

На основе анализа патентов и научно-исследовательских работ разработана компактная гелиосушильная установка (рисунок 3). На технические новшества разработанной установки получен патент на полезную модель № FAP 01889 Агентства интеллектуальной собственности Республики Узбекистан.

Данная сушильная установка состоит из сушильной камеры, оборудованной системой вентиляции, автономным источником питания (солнечной панелью) и системой автоматического управления.

В результате проведённых экспериментов было установлено, что в данной солнечной сушилке для питания электроэнергией вентиляторов 2,3 и ИК-ламп использовалась автономная солнечная батарея и система автоматического управления. Благодаря этой системе эффективность и производительность гелиосушилки стала намного выше, что было подтверждено в ходе экспериментов.

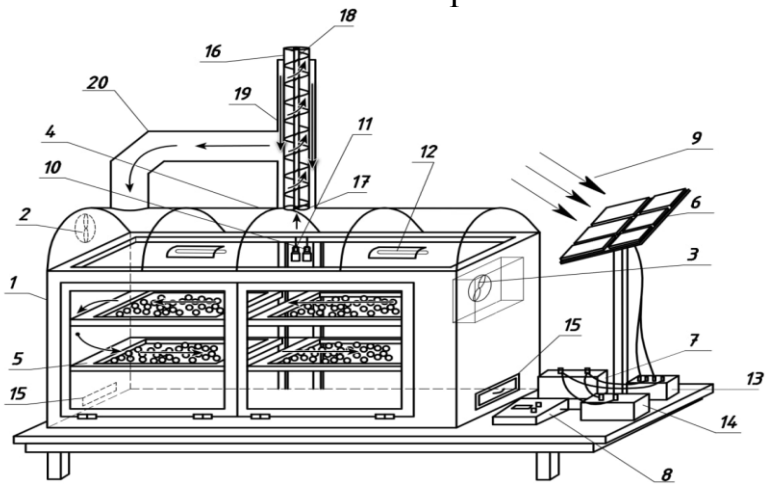
Сушильная камера имеет форму прямоугольника с размерами 2,0×0,8×1,3 м^3, а камера для сушки продукта и её верхняя часть покрыты полуцилиндрическим прозрачным теплоизоляционным материалом (лексаном). Сушильная камера и воздухонагреватель объединены в одну камеру. Сушильная камера имеет четыре сетчатые полки общей площадью 1,80 м^2. Верхняя часть и боковые стороны солнечной сушилки герметично закрыты прозрачным сотовым поликарбонатом (лексаном) толщиной 6 мм, так как этот материал снижает потери тепла в 2-3 раза по сравнению со стеклом и плёнкой и устойчив к механическим нагрузкам и внешним воздействиям.

Блок автоматического управления с автономным источником питания состоит из солнечного модуля 6, аккумулятора 7 и солнечной панели 8. Солнечная батарея устанавливается на специальное опорное устройство

рядом с сушильной камерой. Напряжение, полученное на выходе из солнечной батареи, поступает на контроллер (контроллер) и передается на аккумулятор для накопления электроэнергии.

Рис. 4. Блок-схема автономного питания сушилки.

Автономный блок питания работает следующим образом: под действием солнечного излучения 9 фотоэлектрическая панель преобразует солнечную энергию в электрическую, которая накапливается в аккумуляторе через контроллер (рис. 4). В качестве дополнительного источника тепла в сушильной камере используется инфракрасная (ИК лампа) типа КГТ-500 с рефлектором 12 с питанием от солнечной батареи.



1 – сушильная камера; 2 – вентилятор (для выброса влажного воздуха); 3 – вентилятор (для активной вентиляции); 4 – прозрачная изоляция; 5 – поддоны для сушки продуктов; 6 – солнечная батарея (СБ); 7 – аккумуляторная батарея; 8 –ПУ (панель управления); 9 – солнечные лучи; 10 – датчик температуры; 11 – датчик влажности воздуха; 12 – ИК-лампы; 13 – контроллер; 14 – инвертор; 15 – входная форточка; 16 – вытяжная труба; 17 – вытяжной вентилятор; 18 – шнековое устройство; 19 – рекуперативный теплообменник; 20 – Г-образная труба.

Рис. 5. Принципиальная схема установки солнечной сушилки с рециркуляционным рекуперативным теплообменником (ССРРТ).

Для ускорения процесса сушки и повышения ее эффективности была разработана энергосберегающая солнечная сушилка для сушки плодоовощной продукции (рисунок 5). На технические новшества разработанной установки получен патент на полезную модель № FAP 02102 Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан.

Эта гелиосушилка оснащена вытяжной трубой (16) в верхней части сушилки для отвода использованного осушителя. Вытяжная труба сконструирована таким образом, что одновременно с отводом горячего влажного воздуха используется и как рекуперативный теплообменник (19) (РТО). РТО состоит из внутренней и внешней труб (труба в трубе) и вытяжного вентилятора. Высота внутренней трубы 2 м, внутри установлено шнековое устройство (18). (Диаметры внутренней и внешней труб РТО 20 см и 16 см соответственно. Внешняя труба рекуперативного теплообменника окрашена в чёрный цвет и нагревается в течение дня под воздействием солнечных лучей (рисунок 5).

Принцип работы ССРРТ заключается в следующем. С помощью вытяжного вентилятора (17) влажный воздух, используемый в процессе сушки плодов, выбрасывается в атмосферу через вытяжную трубу (шнековый канал). Отработанный сушильный агент (отработанный горячий воздух) при движении отдаёт часть своего тепла через шнековую трубу теплообменнику, то есть окружающему воздуху, поступающему извне. Наружная труба рекуперативного теплообменника нагревается за счёт поглощения солнечного излучения и отдаёт часть своего тепла воздушному потоку, поступающему в сушилку.

Предлагаемая солнечная сушильная установка может работать в режимах принудительной и естественной циркуляции, а также в режиме рециркуляции. В режиме рециркуляции эта солнечная сушильная установка работает следующим образом: после загрузки продуктов в камеру воздухозаборные окна внизу сушилки закрываются, а вентилятор (2) не используется. Воздух, нагретый до температуры 55-60 °С, прогоняют сквозь подсушиваемые вентилятором (3) плоды, и процесс рециркуляции продолжается до тех пор, пока относительная влажность воздуха в камере не достигнет определённого значения (например, 40 %). В течение первого периода сушки плодов влажность воздуха в камере постепенно увеличивается. После достижения воздухом в камере заданного значения относительной влажности датчик влажности (типа DHT-21) (11) автоматически запускает вытяжной вентилятор (17). Затем при снижении влажности воздуха в камере до заданного значения вытяжной вентилятор (17) по сигналу датчика влажности отключается, и процесс повторяется снова. Проведены научные исследования по изучению процесса сушки плодов в период сушки в рекомендуемой гелиосушильной установке.

Наряду с этим, в данной главе представлены результаты математического моделирования и теоретических исследований температурно-влажностного режима при сушке плодов в рециркуляционной солнечной сушилке (РСС), включая энергетический анализ теплового баланса и результаты численных исследований.

Уравнения теплового баланса продукта внутри сушильной камеры записываются в следующем виде:

$$C_{\text{пр}} M_{\text{пр}} \frac{dT_{\text{пр}}}{dt} = \alpha_{\text{к1}} \left(T_{\text{а}} - T_{\text{пр}}\right) S_{\text{пр}} - \left(\alpha_{\text{к2}} + \alpha_{\text{исп}}\right) \left(T_{\text{пр}} - T_{\text{вв}}\right) S_{\text{пр}} + \alpha_{\text{пр}} S_{\text{пр}} q_{\text{пад}}^{\Sigma}, \quad (3)$$

Уравнение теплового баланса влажного воздуха в сушильной камере:

$$C_{\text{вв}}M_{\text{вв}}\frac{dT_{\text{вв}}}{dt} = (\alpha_{\text{к2}} + \alpha_{\text{исп}})(T_{\text{пр}} - T_{\text{вв}})S_{\text{пр}} - \alpha_{\text{к3}}(T_{\text{вв}} - T_{\text{ст}})S_{\text{ст}} - c_d S_e\sqrt{2g\Delta H}\Delta P\ , \quad (4)$$

Изменения напора ΔH (м) и парциального давления ΔP (Н/м^2) выражаются как:

$$\Delta H = \frac{\Delta P}{\rho_{\text{в}} g}, \quad (5)$$

$$\Delta P = P(T_{\text{вв}}) - \gamma P(T_{\text{о}}), \quad (6)$$

$$P(T) = exp\left(25.317 - \frac{5144}{T + 273.15}\right) \quad (7)$$

Уравнение теплового баланса для стены сушильной камеры:

$$C_{\text{ст}}M_{\text{ст}}\frac{dT_{\text{ст}}}{dt} = \alpha_{\text{к3}}(T_{\text{вв}} - T_{\text{пр}})S_{\text{ст}} - \alpha_d(T_{\text{ст}} - T_{\text{о}})S_{\text{ст}}, \quad (8)$$

Для прогнозирования производительности системы и мгновенный тепловой КПД сушилки можно выразить как:

$$\eta = \frac{\alpha_{\text{исп}}(T_{\text{пр}} - T_{\text{вв}})}{q_{\text{пад}}^{\Sigma}}100 \quad (9)$$

Коэффициент конвективной теплообменна между горячим воздухом и продуктом был выражен как:

$$\alpha_{\text{к1}} = \alpha_{\text{к2}} = Nu\frac{\lambda_{\text{в}}}{D} \quad (10)$$

Для турбулентного потока:

$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^{0.4} \quad (11)$$

$$0.7 \leq Pr \leq 120\ ,\ 10^4 \leq Re \leq 1.2 \cdot 10^5 (10)$$

Число Рейнольдса выражается как:

$$Re = \frac{U_a l}{\vartheta} \quad (12)$$

Для турбулентного потока:

$$Nu = 0.036Re^{0.8}Pr^{0.33} \quad (13)$$

$$Pr \geq 0.5\ ,\ Re > 5 \cdot 10^5 \quad (14)$$

где Nu - число Нуссельта; Pr- число Прандтля; Re- число Рейнольдса; $\lambda_{\text{в}}$- коэффициент теплопроводности влажного воздуха; D- характерный диаметр слоя продукта; U_a-скорость воздуха; l-характерный размер; ϑ- кинематическая вязкость влажного воздуха.

Коэффициент теплопередачи для теплоизоляционного слоя рассчитывается по следующей формуле:

$$\alpha_d = \frac{\lambda_i}{d_i} \quad (15)$$

где λ_i, d_i- коэффициент теплопроводности и толщина рассматриваемого слоя изоляции, соответственно.

Коэффициент теплоотдачи испарением равен:

$$\alpha_{\text{исп}} = 0.016\alpha_{\text{к1}}\frac{[P(T_{\text{пр}}) - \gamma P(T_{\text{вв}})]}{T_{\text{пр}} - T_{\text{вв}}} \quad (16)$$

Метод преобразования Лапласа (операционный метод) применялся для решения дифференциальных уравнений (3) - (8) с граничными условиями, представленными на рисунке 5.

Кинетику сушки можно определить как зависимость сушки и скорости сушки от факторов. Перенос влаги во время сушки можно описать с помощью кинетической модели первого порядка следующим образом:

$$-\frac{dM}{dt} = k(M - M_e) \tag{17}$$

где: M – влагосодержание в материале (на сухой основе) во время сушки (кг воды/кг сухих веществ); M_e – равновесное влагосодержание в высушенном материале (кг воды/кг сухих веществ); k –скорость сушки (c^{-1}); t – время сушки (с).

Скорость сушки связана с температурой влажного воздуха и определяется следующим соотношением:

$$k = -9.75 \cdot 10^{-4} + 3.29 \cdot 10^{-6} T_{\text{вв}} \tag{18}$$

И соответственно, равновесное влагосодержание определяется следующим образом:

$$M_e = \frac{W_m C K a_w}{(1 - K a_w)[1 + (C-1) K a_w]}\ , \tag{19}$$

где W_m, C и K - параметры, связанные с температурой воздуха, которые определяются следующими выражениями:

$$W_m = 0.0014254 exp\left(\frac{1193.2}{T_{\text{к}}}\right) \tag{20}$$

$$C = 0.5923841 exp\left(\frac{1072.5}{T_{\text{к}}}\right) \tag{21}$$

$$K = 1.00779919 exp\left(-\frac{43.146}{T_{\text{к}}}\right) \tag{22}$$

Скорость сушки любого материала определяется как наклон кривой сушки с понижающейся скоростью. При t = 0 влагосодержание материала будет равно начальному влагосодержанию (т. е. $M = M_0$). Приведённое выше уравнение интегрируется, чтобы получить следующее выражение для влагосодержания в момент времени ‘t’ и M_t:

$$M_t = M_e - (M_e - M_0)\exp(-kt) \tag{23}$$

Это уравнение записывается следующем образом:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \approx \frac{M_t}{M_0} = \exp(-kt). \tag{24}$$

Точность предложенной модели оценивалась с использованием значений коэффициента детерминации (R_2), средней ошибки смещения (MBE) и методов среднеквадратичного отклонения (RMSE) на каждом уровне верификации ва валидации. Статистический анализ температуры сушильного агента, рассчитанной в предложенной математической модели, проведён путём сравнения результатов эксперимента, проведённого 5-6 сентября 2020 года.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(R_{m_i} - R_{e_i}\right)^2}{\sum_{i=1}^{N}\left(R_{m_i} - \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} R_{m_i}\right)^2} \tag{25}$$

$$MBE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(R_{m_i} - R_{e_i}\right)^2 \quad (26)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(R_{m_i} - R_{e_i}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad (27)$$

здесь, N - количество точек данных, R - набор данных, индексы e и m обозначают экспериментальные и расчётные данные соответственно.

Для проверки достоверности предложенной математической модели был провёден статистический анализ, в котором результаты расчётов сравнивались с результатами экспериментов, проведённых 5-6 сентября 2020 года. Суточное изменение температуры окружающей среды и суммарной плотности потока солнечной радиации показаны на рисунке 6. Как показывают результаты измерений, максимальная температура окружающего воздуха наблюдается в 14:00, наибольшее значение плотности потока падающей суммарной солнечной радиации наблюдается в 12:30.

Результаты статистического анализа суточных изменений температуры в солнечной сушилке показывают, что: RMSE - среднеквадратическая ошибка составляет 2,3°C, среднеквадратическая ошибка в процентах составляет 5,7%, а квадрат коэффициента корреляции составляет 0,86. Основное расхождение между результатами экспериментальных и расчётных данных наблюдается при самых высоких температурах.

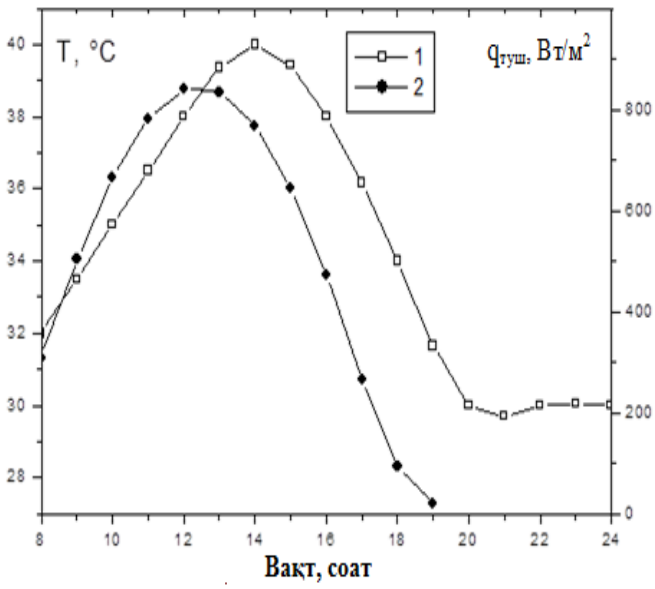


Рис. 6. (1) суточное изменение температуры окружающей среды и (2) суточное изменение плотности потока падающей суммарной солнечной радиации.

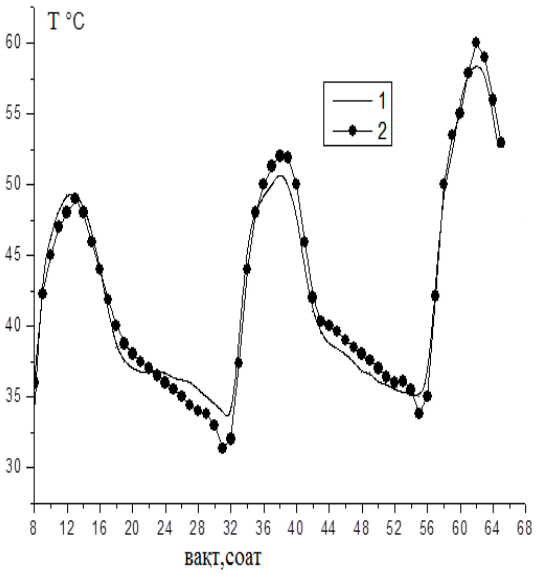


Рис. 7. Суточные изменения температуры внутри гелиосушилки: 1-результаты расчётов; 2-й экспериментальные результаты.

Были проведены эксперименты по изучению кинетики сушки фруктов и овощей в рециркуляционной солнечной сушилке. В качестве объекта сушки были выбраны яблоки. В таблице 1 приведены экспериментальные данные измерений, полученные при сушке плодов на открытом воздухе (на солнце) и в камере гелиосушилки.

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований РРССТ

Время (час)	m_1, г	m_2, г	t_o	φ_1	t_1	t_2	φ_2	$t_м$
10:00	100	100	32,4	13	46	46	50	34
11:00	92	86	34,1	10	44	44	50	36,1
12:00	81	71	34,8	12	48	47	46	40,2
13:00	70	56	36	12	52,3	51,3	38	43,9
14:00	64	43	36,8	10	54,3	52,7	32	47
15:00	54	33	37,6	10	54	53,2	25	47,6
16:00	44	26	36,7	10	52,3	51,1	19	48,9
17:00	37	22	36,6	10	42,8	43,1	21	42,6
10:00	34	20	35,7	10	38,2	38,2	21	38,4
11:00	23	17	31,4	18	48,4	53,1	21	49,2
12:00	23	16	34,9	14	57,2	58,6	16	57,3
13:00	22	16	36,3	12	64,7	64,7	16	57,3

Обозначения: масса плодов на открытой площадке ($м_1$), масса плодов в сушилке ($м_2$), температура наружного воздуха (t_o); влажность наружного воздуха (φ_1); температура воздуха внутри нижней части сушильной камеры (t_1) и верхней части камеры (t_2) соответственно; относительная влажность воздуха внутри сушильной камеры (φ_2); температура плодов (t_m).

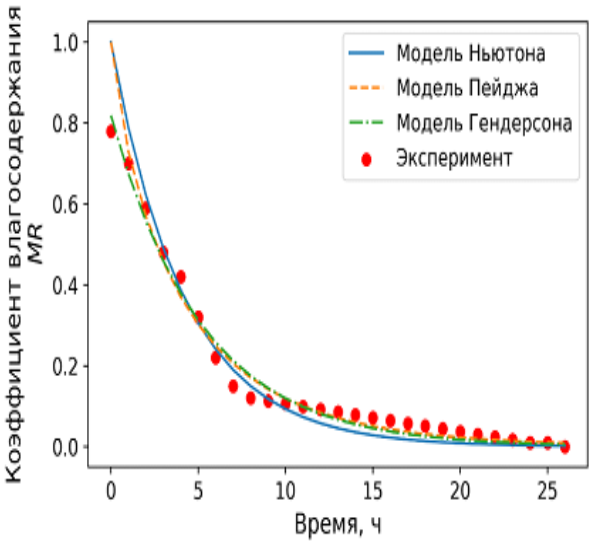


Рис. 8. Кинетика сушки яблок на открытом воздухе.

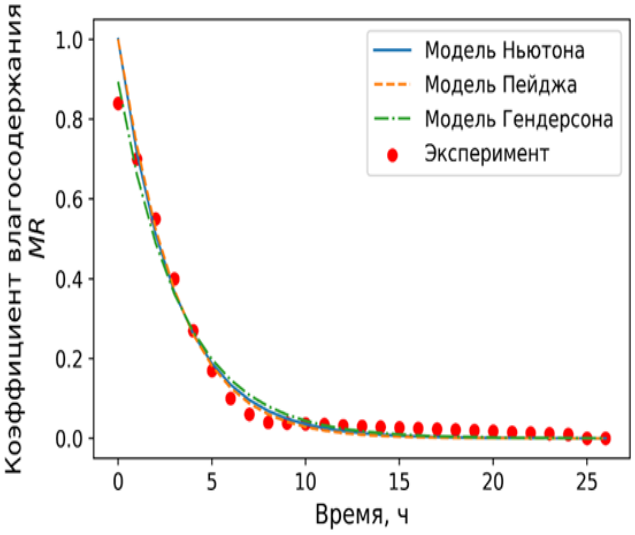


Рис.9. Кинетика сушки яблок в солнечной сушильной камере.

Расчётные и эмпирические графики кинетики сушки продукта при сушке яблок в камере и сушке солнечными лучами показали наилучшее соответствие между теоретическими, полутеоретическими, эмпирическими и экспериментальными результатами (смотрите рисунок 9). Но лучший результат показала только модель Гендерсона и Пабиса. Здесь коэффициент детерминации (R^2), средняя ошибка смещения (MBE) и среднеквадратическая ошибка (RMSE) составляют 0,985, 0,027 и 0,0007 соответственно.

Подробный статистический анализ полученных результатов представлен в таблице 2 (режим 2 соответствует режиму сушки образца продукта в сушильной камере).

Таблица 2

Точность математической модели построения кинетики сушки яблок, высушенных на открытом воздухе и в солнечной сушилке

Модель	Режим сушки	k, c^{-1}	уравнение k_e, c^{-1} (20)	N	a	R^2	RMSE	MBE
$MR=\exp(-kt)$	Режим 1	0,2372	0,143 0,320	-	-	0,939	0,053	0,0028
	Режим 2	0,3343		-	-	0,973	0,036	0,0013
$MR=\exp(-kt^n)$	Режим 1	1,284		0,828	-	0,950	0,048	0,0023
	Режим 2	0,1838		1,063	-	0,974	0,036	0,0013
$MR=a\exp(-kt)$	Режим 1	0,192		-	0,818	0,984	0,027	0,0007
	Режим 2	0,301		-	0,894	0,985	0,027	0,0007

В четвёртой главе диссертации, озаглавленной **«Результаты испытаний рециркуляционной солнечной сушилки и оценка её технико-экономических показателей»**, представлены результаты исследований по повышению эффективности рециркуляционной солнечной сушилки, проверка совместимости теоретического расчёта и экспериментальных результатов кинетики сушки, а также технико-экономические показатели предлагаемой гелиосушилки.

Рис. 10. Внешний вид рециркуляционной солнечной сушильной установки.

Часто при анализе технико-экономической эффективности гелиосушилок используется метод годовых затрат. Для того чтобы найти стоимость сушки на единицу массы высушенного продукта, общую годовую себестоимость сушилки нужно разделить на количество продукта, высушенного за год.

Для определения экономической эффективности солнечной сушилки необходимо знать количество высушенных продуктов, таких как абрикосы, виноград, яблоки и т. д. после сушки, а также другую информацию.

Таблица 3

Результаты сравнительного опыта по сушке чёрного изюма в рециркуляционных гелиосушильных установках

№.	Теплотехнические и технологические показатели гелиосушилки	Рециркуляционная гелиосушилка	Рециркуля-ционная РРССТ
1	Площадь прозрачной поверхности гелиосушилки, $м^2$	6.2	6.2
2	Среднесуточная солнечная радиация, попадающая на поверхность солнечной сушилки, $Вт/м^2$.	600	600
3	Начальная влажность продукта (чёрный изюм), %	80	80
4	Влажность продукта после сушки (чёрный изюм), %	24	22
5	Площадь поверхности загрузки изделия, $кг/м^2$	8	8
6	Время сушки, сутки	7	5
7	Производительность сушки, кг.кв.м. / $м^2$.сутки	0.55	0.95
8	Среднесуточная температура внутри сушилки, ^{0}С.	44	52
9	Среднесуточная относительная влажность воздуха внутри сушилки, %	30,5	18,5
10	Эффективность, %	32	40

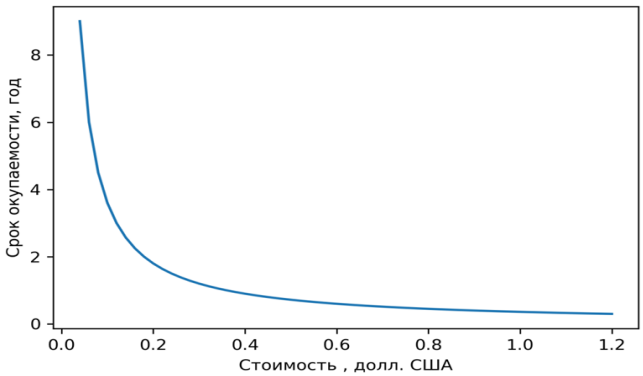


Рис. 11. Зависимость срока окупаемости сушильной установки от цены продукции.

На основании вышеизложенной информации были произведены расчёты для определения экономических и экологических преимуществ данной установки. На основании расчётных данных, полученных от солнечных сушилок, можно определить срок окупаемости установки в зависимости от цены высушенного продукта.

Расчёты показывают, что срок окупаемости солнечной сушилки колеблется от 4 месяцев до 6 лет в зависимости от стоимости высушенного продукта (от 0,04 до 1,2 долларов США).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании исследования, проведённого для решения целей и задач, поставленных в диссертационной работе, сделаны следующие выводы.

1. На основании обзора литературы по солнечным сушилкам и анализа экспериментальных данных определено, что использование сотового поликарбоната в качестве прозрачного изоляционного покрытия при проектировании конструкций солнечных сушилок эффективно, учитывая, что он выдерживает большие механические нагрузки по сравнению со стеклом и плёнкой, а также обладает более высокими теплоизоляционными свойствами.

2. С помощью лабораторной модели солнечной сушилки определены основные параметры кинетики сушки фруктов и овощей. На основе методики планирования проведённых экспериментов получено уравнение регрессии, отражающее зависимость продолжительности сушки от основных факторов сушки в процессе сушки абрикосов в гелиосушилке в разных режимах.

3. Смоделирована кинетика сушки плодов в гелиосушильнойустановке и получено уравнение, связывающее скорость их сушки с параметрами тепло- и массообмена сушильного агента и позволяющее прогнозировать скорость сушки продуктов в сушилках при любых значениях относительной влажности продукта.

4. Разработана рециркуляционная солнечная сушильнаяустановка (FAP 01889), позволяющая снизить потери тепла с прозрачной поверхности гелиосушильнойустановки и повысить интенсивность сушки.

5. Разработана энергосберегающая солнечная сушильнаяустановка с усовершенствованным рекуперативным теплообменником, предназначенная для утилизации тепла, используемого в солнечной сушильной установке (FAP 02102). В процессе утилизации горячего воздуха, используемого в установке, было установлено, что КПД сушилки на 8-10 % выше, чем у гелиосушилки с активной вентиляцией.

6. При использовании предлагаемой усовершенствованной установки РРССТ в климатических условиях Бухарской области достигнуто получение 225 кг сухофруктов с каждого м^2 поверхности установки в течение одного сезона и экономия 2,25 млн. сум денежных средств, затрачиваемых на сушку каждых 100 кг. сушёных продуктов.

SCIENTIFIC COUNCIL PhD.03/30.09.2020.T.111.03 ON AWARDING SCIENTIFIC DEGREES AT KARSHI ENGINEERING-ECONOMICS INSTITUTE

BUKHARA STATE UNIVERSITY

NAZAROVA NARGIZA MUSTAKIMOVNA

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A RECIRCULATING FRUIT DRYER USING ALTERNATIVE ENERGY SOURCES

05.05.06 – Power plants on the basis of renewable energy

ABSTRACT OF DOCTOR OF PHILOSOPHY DISSERTATION (PhD) ON TECHNICAL SCIENCES

KARSHI – 2023

The theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under № B2020.3.PhD/T1156.

The dissertation was completed at the Bukhara State University.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed on the website of the Scientific council (www.qmii.uz) and on Information-educational portal «ZiyoNet» at the adress (www. Ziyonet.uz).

Scientific supervisor:	**Juraev Turob Doniyorovich** candidat of technical sciences, docent
Official opponents:	**Payzullokhonov Mukhammade-Sultankhon Saydivalixanovich** doctor of technical sciences, scientist
	Fayziyev Tulkin Amirovich candidat of technical sciences, docent
Leading organization:	**Physical-technical institute**

The defense of dissertation will take place "___" _____ 2023 at _____ at a meeting of the Scientific Council number PhD.03/30.09.2020.T.111.03 at the Karshi engineering-economics institute. (Address: 180100, Karshi, Mustakillik street, 225. Phone: (99875) 224-02-89 / Fax: (99875) 224-13-95, e-mail: kiei_info@edu.uz.)

The doctoral dissertation can befound at the Information resource centrof the Karshi engineering-economics institute registered with №_____), Address: 180100, Karshi, Mustakillik street, 225. Karshi engineering-economics institute. Phone: (99875) 224-02-89 / Fax: (99875) 224-13-95, e-mail: kiei_info@edu.uz.)

Abstract of dissertation sent out on "___" _____ 2023.
(mailing report №___ on "____"_____2023)

G.N. Uzakov
Chairman of scientific council for awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, professor

X.A. Davlonov
Scientific secretary of the scientific council for awarding scientific degrees, doctor of philosophy of technical sciences, docent

B. Urishev
Chairman of Scientific Seminar under the scientific council for awarding of scientific degrees, doctor of technical sciences, professor.

INTRODUCTION (PhD thesis annotation)

The aim of the research work - development and research of highly efficient energy-saving recirculating solar dryer for drying fruits and vegetables.

The tasks of the research:

analysis of the current state of solar dryers and drying technologies;

studying the kinetics of drying fruits in a recirculating solar drying plant and conducting research using modeling methods and numerical calculation of heat and mass transfer processes occurring in it;

development of an energy-saving solar dryer and experimental research;

experimental study of empirical models of the kinetics of drying various fruits in a recirculating solar dryer and outdoors;

assessment of technical and economic indicators of an energy-saving solar dryer.

The object of the research work was chosen a recirculating solar dryer.

The scientific novelty of the research is as follows:

a compact installation of a solar dryer with an infrared reflector, a ventilation system and an automatic control system for temperature and humidity conditions has been developed, which makes it possible to reduce heat loss and increase energy efficiency from the transparent surface of the drying chamber coated with cellular polycarbonate;

an energy-saving solar dryer plant with high thermal efficiency and a recirculation system improved by means of a recuperative heat exchanger has been developed, allowing the use of secondary heat used in the solar fruit dryer plant for drying the product;

a mathematical model has been developed that connects the drying speed with the heat and mass exchange parameters of the drying agent, taking into account the humidity and temperature changes of the product to be dried and the drying kinetics;

based on summarizing the results of the experiments conducted on the recirculation solar fruit dryer device, a regression equation was obtained that allows determining the change in the duration of product development depending on the speed and temperature of the drying agent by the method of planning experiments.

Implementation of the research results. Based on the results of the study on the development and research of a recirculating fruit dryer using alternative energy sources:

a utility model patent was received from the Intellectual Property Agency of the Republic of Uzbekistan for a compact solar dryer for drying agricultural products (No. FAP 01889., 03.29.2022) and an energy-saving solar dryer (No. FAP 02102., 09.13.2022). As a result, it was able to obtain a high-quality dried product using a highly efficient energy-saving solar dryer;

an energy-saving recirculating solar dryer was introduced at the farms "Bakollik Usman Vakhidov" and "Zarafshon suv sohillari" of the Bukhara region (reference of the Ministry of Agriculture No. 04/21-06/157 dated December 22,

2021). As a result, 2.25 million soums of money spent on drying each 100 kg of dried products were saved by using the recirculation helio-dryer device.

Approbation of research results. Totally 25 scientific papers were published on the topic of the dissertation, including 2 monographs, 6 articles were published in scientific journals recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for the publication of the main scientific results of dissertations, including 2 in foreign journals and 4 in republican journals, and also received 2 copyright certificates for a computer software product and 2 patents for a utility model of the Agency for Intellectual Property of the Republic of Uzbekistan.

The structure and volume of the thesis. The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation 112 pages.

E’LON QILINGAN ILMIY ISHLAR RO’YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS
I bo‘lim (I част, part I)

1. Назаров М.Р., Назарова Н.М. Усовершенствование конструкции фруктосушилок с использованием альтернативных источников энергии // Монография. – Ташкент: “Фан ва технология” 2019. 108 с.

2. Назарова Н.М. Рахимов Ш.А., Назаров М.Р. Разработка и исследования эффективности солнечной радиационно-конвективной сушильной установки для плодов и овощей // Монография. – Бухоро: “Дурдона” 2020. 126 с.

3. Назаров М.Р., Назарова Н.М., Худойбердиев А Ixcham gelioquritgich. // Foydali modelga patent. №FAP 01889. 29.03.2022. №1.

4. Nazarov M.R., Daminov M.I., Nazarova N.M., Kuchkarov J.J. Energiya tejamkor gelioquritgich. // Foydali modelga patent. № FAP 02102. 13.09.2022. №2.

5. Nazarov M.R., Nazarova N.M., Ubaidullaeva D.R. The study of changes in the thermodynamic parameters of moist air in solar-drying installations // International Journal Of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol.7, Issue-2, February 2020 pp. 13041 - 13046. (05.00.00; №8).

6. Назаров М.Р., Назарова Н.М., Нуриддинов Х. Моделирование системы автоматического управления температурно-влажностных режимов в солнечных сушильных установках // Фан ва технологиялар тараққиёти.- Бухоро, 2020.-№3. С. 166-170.(05.00.00; №24).

7. Назаров М.Р., Назарова Н.М. Проектирование солнечно-тепловой сушильной установки для плодов и ягод // Гелиотехника.-Т.: Фан. 2020.- Том 56, № 5-6. С. 469-472. (05.00.00; №1).

8. Назаров М.Р., Назарова Н.М. Валидация математической модели рециркуляционной гелиосушилки // Фан ва технологиялар тараққиёти.- Бухоро, 2021.-№6. С. 183-190.(05.00.00; №24).

9. Назаров М.Р., Назарова Н.М., Даминов М.И. Анализ энергетической эффективности гелиосушильной установки с рекуперативым теплообменником // Фан ва технологиялар тараққиёти.-Бухоро, 2022.-№1. С. 84-88.(05.00.00; №24).

10. Назарова Н.М., Назаров М.Р., Жураев Т.Д. Experimental Validation of the Mathematical Model for a Recirculating Solar Dryer // Applied Solar Energy.-USA. 2022.-Vol.58,№ 2.- pp.264-272. Allerton Press, Inc.(05.00.00; №4.).Scopus.

II bo‘lim (II част, part II)

11. Назарова Н.М. Рецеркуляцион қуёш қуритгичининг иссиқлик параметрларини ҳисоблаш дастури // O’zbekiston Respublikasi adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi. Guvohnoma № DGU 12981. 09.11. 2021 й.

12. Назарова Н.М., Назаров М.Р., Ҳалимов А.С. Рециркуляцион қуёш қуритгичининг техник-иқтисодий кўрсатгичларии ҳисоблаш дастури // O'zbekiston Respublikasi adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi. Guvohnoma № DGU 13909. 27.12.2021 й.

13. Nazarov M.R., Nazarova N.M., Rajabov B.Kh., Umedov Sh.K. Intensification of the Process of Drying Fruits and Vegetables in a Recirculating Solar Dryer // Ra journal of applied research DOI:10.47191 /rajar/v8i5.02 Vol. 08, Issue 05, May 2022 pp. 346-350.

14. Nazarov M.R., Daminov M.I., Nazarova N.M., Kuchkarov J. Convective Heat Pump Dryers and Evaluation of Their Efficiency// Ra journal of applied research DOI:10.47191/rajar/v7i12.09 Vol. 07, Issue-12, December-2021 pp. 2749-2753.

15. Назарова Н.М., Назаров М.Р., Даминов М.И. Рециркуляционная солнечная сушилка с рекуперативным теплообменником с утилизатором теплоты // Сборник статей по материалам LIV международной научно-практической конференции. «Технические науки: Проблемы и решения», №11 (49) ноябрь Изд. «Интернаука» г Москва 2021. - С. 74-79.

16. Назарова Н.М. Влияние предварительного инфракрасного (ИК) облучения на процессы солнечной сушки плодов // "Аграр соҳани истиқболли ривожлантиришда ресурс тежовчи инновацион технологиялардан самарали фойдаланиш" номли Халқаро миқёсидаги илмий-техник конференция материаллари.-Андижон: ТДАУ Анд филиал, 2019. Б. 3-6.

17. Назаров М.Р., Назарова Н.М. Расчет и проектирование солнечно-тепловой сушильной установки для плодов и ягод. International Conference "Solar energy: Priority research and development trends" Tashkent, Uzbekistan 2019. 24-25 December pp 55-56.

18. Назаров М.Р., Назарова Н.М., Худойбердиев А.А., Тўраев С.Д. Қуёш мева қуритгичларида қуритиш объектларининг иссиқлик ва масса-алмашиниш коэффицентларини аниқлаш усули // Эффективность применение инновационных технологий и техники в сельском и водном хозяйстве: Международная конференция, 24-25 сентября 2020.–г. Бухара: БФТИИМСХ,- С 195-197.

19. Назаров М.Р., Рахимов Ш.А., Назарова Н.М. Компактная солнечная сушилка с активным вентилированием. // Эффективность применение инновационных технологий и техники в сельском и водном хозяйстве: Международная конференция, 24-25 сентября 2020.–г. Бухара: БФТИИМСХ,- С 130-133.

20. Назарова Н.М., Жураев Т.Д., Назаров М.Р. Энергосберегающая рециркуляционная солнечная сушилка с рекуперативным теплообменником. Янги материаллар ва гелиотехнологиялар: //Халқаро илмий конференция тезис ва маърузалари тўплами.- Паркент ш., Ўзбекистон, 20-21 май 2021 йил. Б. 283-287.

21. Назарова Н.М. Анализ энергетической эффективности гелиосушильной установки с рекуперативым теплообменником // Энерго- и ресурсосбережение: новые исследования, технологии и инновационные

подходы.- Международная конференция, 24-25 сентября 2021. Қарши: ҚМИИ,.- С. 274-278

22. Назарова Н.М., Назаров М.Р., Умедов Ш.К. Рециркуляционная гелиосушилка с рекуперативным теплообменником // Энерго- и ресурсосбережение: новые исследования, технологии и инновационные подходы.- Международная конференция, 24-25 сентября 2021. Қарши: ҚМИИ,.- С. 270-274

23. Назарова Н.М. Қуёш қуритгичларида меваларни қуриш жараёнлари тажрибаларини режалаштириш усули билан тадқиқ этиш // XXI аср-интеллектуал авлод асри: Республика илмий-амалий конференция материаллари.- Бухоро: БухДУ, 2016. Б. 221-224.

24. Назаров М.Р., Назарова Н.М., Каримов И., Исследования влияния параметров влажного воздуха на скорость сушки плодов в солнечно-сушильных установках // Бухоро вилоятини инновацион ривожлантириш муаммо ва ечимлар: Республика илмий-амалий конференция материаллари.- Бухоро: БухДУ, 31 январь 2020. Б. 955-958.

25. Назарова Н.М., Назаров М.Р. Рециркуляцияли ихчам гелиоқуритгич // Energetika sohasini rivojlantirishda muqobil energiya manbalarining roli: Respublika ilmiy-amaliy konferentsiya materiallari.-Namangan: NamMQI, 28-29 aprel 2022. B. 395-400.

Avtoreferat «Innovatsion texnologiyalar» ilmiy jurnali tahririyatida tahrirdan o’tkazildi va uning o’zbek, rus, ingliz (tezis) tillaridagi matnlari mosligi tekshirildi 26.02.2023 yil

Bosishga ruxsat etildi: 04.03.2023 yil
Bichimi 60x841/8 , «Times New Roman»
garniturada raqamli bosma usulida bosildi.
Shartli bosma tabog’i 3 Adadi: 80.
Buyurtma: № 22
QarMII «INTELLEKT» nashriyoti MIUda chop etilgan.
Qarshi shahri, Mustaqillik ko’chasi, 225-uy.