

**BUXORO MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/28.02.2022.T.101.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

BUXORO MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI

RASULOV SHUXRAT XO‘JAQULOVICH

**TOMAT MAHSULOTINI PAST HARORATDA QURITISH
JARAYONI VA APPARATINI TAKOMILLASHTIRISH**

**02.00.16 – Kimyo texnologiyasi va oziq-ovqat ishlab chiqarish jarayonlari va
apparatlari**

**texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

Content of the dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Rasulov Shuxrat Xo‘jaqulovich

Tomat mahsulotini past haroratda quritish jarayoni va apparatini takomillashtirish..... 3

Расулов Шухрат Хужакулович

Совершенствование процесса и аппарата сушки томатных продуктов при низких температурах..... 21

Rasulov Shukhrat Xujakulovich

Improving the process and apparatus for drying tomato products at low temperatures..... 40

E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati

Список опубликованных работ

List of published works..... 43

**BUXORO MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI
HUZURIDAGI ILMY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/28.02.2022.T.101.01 RAQAMLI ILMY KENGASH**

BUXORO MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI

RASULOV SHUXRAT XO‘JAQULOVICH

**TOMAT MAHSULOTINI PAST HARORATDA QURITISH
JARAYONI VA APPARATINI TAKOMILLASHTIRISH**

**02.00.16 – Kimyo texnologiyasi va oziq-ovqat ishlab chiqarish jarayonlari va
apparatlari**

**texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi
AVTOREFERATI**

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2022.3.PHD/T3040 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Doktorlik dissertatsiyasi Buxoro muhandislik-texnologiya institutida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb sahifasida (www.bmti.uz) va "Ziyonet" Axborot ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Djurayev Xayrullo Fayziyevich
texnika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Nurmuxamedov Xabibulla Sagdullayevich
texnika fanlari doktori, professor

Safarov Jasur Esirgapovich
texnika fanlari doktori, professor

Yetakchi tashkilot:

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti

Dissertatsiya himoyasi Buxoro muhandislik-texnologiya instituti huzuridagi DSc.03/28.02.2022.T.101.01 raqamli Ilmiy kengashning 2025 yil 23 may soat 09⁰⁰ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100118, Buxoro shahar, Qayum Murtazoyev ko'chasi, 15-uy. Tel.: (99865)223-78-84, faks: (99865)223-78-84; e-mail: bmti_info@edu.uz).

Dissertatsiya bilan Buxoro muhandislik-texnologiya institutining Axborot resurs markazida tanishish mumkin (350 raqami bilan ro'yhatga olingan). (Manzil: 100118, Buxoro shahar, Qayum Murtazoyev ko'chasi, 15-uy. Tel.: (99865)223-78-84).

Dissertatsiya avtoreferati 2025-yil 12-may kuni tarqatildi.

(2025-yil 24-martdagi № 1 raqamli reestr bayonnomasi).



S.F. Fozilov

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash raisi,
texnika fanlari doktori, professor

A.T. Oltiyev

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash
kotibi, texnika fanlari doktori, dotsent

I.B. Isabayev

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash
qoshidagi Ilmiy seminar raisi, texnika fanlari
doktori, professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyaning annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi. Dunyoda qishloq xo‘jaligida yetishtirilayotgan meva va sabzavotlardan yuqori sifatli quritilgan tayyor mahsulotlar olish va qayta ishlashga qaratilgan yangi texnika va texnologiyalarni yaratish, eksportbop tayyor mahsulotlar ishlab chiqarish jadal rivojlanib bormoqda. Bu borada turli xil navli tomat mevasini ochiq maydonlarda va issiqxonalarda yetishtirishni tizimli tashkil etish, ushbu tomat mevalarini sifatli quritishga mo‘ljallangan resurstejamkor texnika va texnologiyalarni yaratish muhim ahamiyatga ega.

Jahonda tomat mevasini qayta ishlash orqali tayyor mahsulotlar ishlab chiqarish, tomat mevasini quritishga mo‘ljallangan uskunalarni modernizatsiyalash, quritish qurilmalarini takomillashtirish orqali energiya samaradorligi yuqori bo‘lgan yangi texnika va texnologiyalarni yaratishga qaratilgan ilmiy-tadqiqotlar olib borilmoqda. Shunga ko‘ra ishlab chiqarishning ko‘pgina tarmoqlarida qo‘llanilayotgan texnologiyalarning energiya tejamkorligini oshirish, yangi turdagi mahsulotlar ishlab chiqarishni yo‘lga qo‘yish, qayta ishlashda zamonaviy usullarni qo‘llash orqali tayyor mahsulotlarning saqlanish muddati va biologik qiymatini oshirishga qaratilgan tadqiqot ishlariga alohida e‘tibor qaratilmoqda.

Respublikamizda meva va sabzavotlarning turli xil navlarini yetishtirishda issiqxonalarni barpo etish, sifatli eksportbop tayyor mahsulotlar ishlab chiqarishda innovatsion texnologiyalarni tadbiq etish bo‘yicha ilmiy izlanishlar olib borilmoqda. Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasida “...iqtisodiyotga innovatsiyalarni keng joriy qilish, sanoat korxonalarini va ilm-fan muassasalarining kooperatsiya aloqalarini rivojlantirish”¹ kabi muhim vazifalar belgilab berilgan. Shunga ko‘ra tomat mevasining dastlabki tabiiy rangi saqlangan, yuqori elastiklik xossaga ega bo‘lgan strukturani taminlashga yo‘naltirilgan, past haroratli nur energiyasining maqbul to‘lqin uzunliklari diapazonida ishlov berish va uzluksiz quritish jarayoni va qurilmasining energiya tejamkor mexanizmini joriy etish muhim ahamiyat kasb etadi.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF- 60-son “2022-2026-yillarga mo‘ljallangan yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”gi, 2020-yil 29-oktyabrdagi PF-6097-son “Ilm-fanni 2030-yilgacha rivojlantirish konsepsiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi Farmonlari va O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 6-iyuldagi PQ-307-son “2022-2026-yillarda O‘zbekiston Respublikasining innovatsion rivojlanish strategiyasini amalga oshirish bo‘yicha tashkiliy chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi, 2019-yil 29-iyuldagi PQ-4406-son “Qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini chuqur qayta ishlash va oziq-ovqat sanoatini yanada rivojlantirish bo‘yicha qo‘shimcha chora tadbirlar to‘g‘risida”gi, 2019-yil 11-dekabrda PQ-4549 – son “Meva-sabzavotchilik va urug‘chilik tarmog‘ini yanada rivojlantirish, sohada qo‘shilgan qiymat zanjirini yaratishga doir

¹O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son “2022-2026-yillarga mo‘ljallangan yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida”gi Farmoni

qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida” gi, Farmonlari, Qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa meyoriy – huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlarga bog‘liqligi. Mazkur tadqiqot ishi respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining V- ”Qishloq xo‘jaligi, biotexnologiya, ekologiya va atrof-muhitni muhofazasi” ustuvor yo‘nalishlariga muvofiq bajarilgan.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Respublikamiz va xorijiy davlatlar tadqiqotchilari tomonidan qishloq xo‘jalik mahsulotlarini o‘ta yuqori chastotali maydon ta’sirida, infraqizil nur maydonida, chuqur vakuum ostida sublimatsiyali quritish qurilmalari hamda texnologik jarayonlarning nazariy va amaliy asoslarini ishlab chiqish bo‘yicha xorij olimlaridan: Shyam S.Sablani, Angel Calin-Sanchez, Marina Cano-Lamadrid, Adam-Figiel, S.G.Ilyasov, Ye.I.Timoshkin, A.V.Titkova, A.S.Ginzburg, A.V.Likov, M.A.Grishin, Yu.G.Semenov, B.I.Leonchik, V.V.Kafarov, I.A.Rogov, V.A.Panfilov, G.K.Filolenko, B.S.Sajin, P.G.Romankov va boshqalar. Respublikamiz olimlaridan N.R.Yusupbekov, Z.S.Salimov, Dj.N.Muhitdinov, A.A.Artikov, X.S.Nurmuxamedov, O.F.Safarov, A.X.Mamatkulov, K.O.Dodayev, R.A.Hayitov, J.E.Safarov, X.F.Djurayev va boshqa olimlar izlanishlar olib borishgan.

Ushbu olimlar tomonidan meva va sabzavotlarni quritish jarayonining energiya va resurstejamkor usullari taklif etilgan. Shuningdek, quritish jarayonining kinetik qonuniyalarini o‘rganish bo‘yicha eksperimental va nazariy tadqiqotlar amalga oshirilib, samarali quritish texnologiyalarini yaratish bo‘yicha tavsiyalar ishlab chiqilgan.

Ammo, meva va sabzavotlarni quritish uchun noananaviy energiya manbalarining maqbul to‘lqin uzunliklari diapazonida past haroratli quritish jarayonini tashkil etish, fazalar aro moddaalmashinuv jarayonlarini modellashtirish va optimallashtirish masalalari bo‘yicha yetarlicha tadqiqotlar olib borilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta’lim muassasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Buxoro muhandislik-texnologiya instituti ilmiy-tadqiqot rejasining ITD - 9 “Qayta tiklanuvchi energiya manbalardan foydalanib, meva, sabzavotlar va dorivor o‘simliklarni quritishni chiqindisiz, ekologik toza va yuqori samarali texnologiyalarni ishlab chiqish” mavzusidagi amaliy loyiha (2017 – 2019 yy.) doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi past haroratli quritish usulini qo‘llash asosida tomat mevasini energiya tejamkor quritish jarayoni va qurilmasini takomillashtirishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

qishloq xo‘jalik mahsulotlarini quritishda qo‘llaniladigan ananaviy quritish jarayonlari va qurilmalarini tahlil qilish, quritish kinetikasini o‘rganish;

IQ-nur maydonining tomat mevasini quritish kinetikasiga ta’sir chegaralarini o‘rganish va tadqiq qilish;

tomat mevasini energiya tejamkor kombinatsion quritish usuliga asoslangan, avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimi bilan ta'minlangan eksperimental qurilmani ishlab chiqish;

tomat mevasini quritish jarayonining texnologik parametrlarini eksperimental tadqiq qilish algoritmlari va usullarini ishlab chiqish;

quritish jarayonini matematik modellashtirish va optimallashtirish;

fazalararo issiqlik va moddaalmashinuvni jadallashtirish orqali tomat mevasini past haroratda quritish jarayoni va apparatini takomillashtirish.

Tadqiqotning ob'yekti sifatida ochiq maydonda, issiqxonalarda yetishtirilgan tomat mevasini quritish jarayoni va qurilmasi olingan.

Tadqiqotning predmeti tomat mevasini past haroratli quritish tizimiga asoslangan quritish qurilmasi va impulsli ishlov berishning texnologik parametrlari hisoblanadi.

Tadqiqotning usullari. Dissertatsiya tadqiqotini amalga oshirishda vizual kuzatish usullari, matematik statistika, instrumental o'lchash usullari, modellashtirish, eksperimental natijalarni qayta ishlash va umumlashtirish, gidromexanika va texnik termodinamikaning asosiy qonunlari va formulalaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

quritish jarayonidagi texnologik parametrlarni nazorat qilish va avtomatik boshqarish tizimiga asoslangan eksperimental sinov qurilmasi ishlab chiqilgan;

tomat mevasining ichki qatlamidagi suyuqlik tomchilarining molekulyar harakatini tezlashtirishda IQ - nurning $\lambda = 0,75 \div 1,1$ mkm to'lqin uzunligi diapazonida (+50-25+45-180+50-25+45) dastlabki impulsli ishlov berish rejimi, mahsulot yuzasidagi namlikning chiqishini jadallashtirishda $\lambda = 2,4 \div 2,8$ mkm to'lqin uzunligi diapazonida uzluksiz quritish rejimlari asoslangan;

teksturasi yumshoq eguluvchan strukturaga ega bo'lgan, tomat mevasini 10 % limon kislotasi eritmasida 20 daqiqa davomida ishlov berish, 10 daqiqa tindirish va past haroratli ($58 \div 62$ °C) issiqlik rejimi asosida quritish jarayoni eksperimental asoslangan;

dastlabki ishlov berish va quritish jarayonida mahsulot qatlamlari bo'yicha temperatura va namlik o'zgarishini ifodalovchi matematik model ishlab chiqilib, matematik modellashtirish hamda quritish jarayonining optimal rejimlari asosida energiyatejamkor quritish jarayoni va qurilmasi takomillashtirilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

tomat mevasining ichki qatlamidagi suyuqlik tomchilarining molekulyar harakatini tezlashtirish hamda namlikning yuza tomon siljishini jadallashtirishga asoslangan IQ-nurning $\lambda = 0,75 \div 1,1$ mkm. to'lqin uzunligi diapazonida impulsli ishlov berish rejimida hamda $\lambda = 2,4 \div 2,8$ mkm. to'lqin uzunligi diapazonida uzluksiz rejimda ishlovchi quritish qurilmasi ishlab chiqilgan;

yumshoq, egiluvchan strukturaga ega bo'lgan quruq mahsulot olish uchun maqbul konsentratsiyali limon kislotasi muhitida tomat mevasiga dastlabki ishlov berish rejimi asoslangan;

quritish kamerasidagi mahsulotga berilayotgan issiq havo oqimi harakatini tagliklar aro teng taqsimlanishini ta'minlovchi mexanizmni qo'llash orqali

energiya xarajatlarini kamaytirishga erishilgan va mahsulot tarkibidan 1 kg namlikni chiqarib yuborish uchun - 0,56 kVt/soat, 1 kg tayyor quruq mahsulot uchun esa - 0,49 kVt/soat energiya sarflanishi asoslangan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi tomat mevasini quritish jarayonining kinetik qonuniyatlarini asoslashda, texnologik jarayonga ta'sir etuvchi omillarning maqbul chegaraviy diapazonida avtomatik nazorat qilish va boshqarishni amalga oshirishda operatsion tizimlardan foydalanilganligi, quritish tizimining maqbul rejimlarini asoslashda, statistik va matematik hisoblash metodlaridan, tajriba, yarim sanoat qurilmalarida olingan natijalarning nazariy natijalarga mosligi, sanoat tadqiqotlarida foydalanilganligi, amalga oshirilgan tadqiqot ishining ishlab chiqarishga joriy etilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.

Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati yumshoq, egiluvchan strukturaga ega bo'lgan quruq mahsulot olish uchun tomat mevasini limon kislotasi eritmasida daslabki ishlov berish, mahsulot ichki qatlamidagi suyuqlik tomchilarining molekulyar harakatini hamda yuzadagi namlikning chiqishini jadallashtirishga asoslangan quritish usuli va qurilmasini ishlab chiqish bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati tomat mevasini quritishda dastlabki импульсли IQ-термик ishlov berish rejimini qo'llash hamda uzluksiz quritish rejimida IQ-nurning 2,4 ÷ 2,8 mkm. to'lqin uzunligi diapazonida hosil qilingan energiyadan samarali foydalanish natijasida quritish jarayonini 1,3 ÷ 1,5 marta jadallashtirishga, quritish qurilmasining energetik samaradorligini oshirishga, strukturasi yumshoq, egiluvchan quritilgan tomat mevasi tarkibidagi faol moddalarni saqlab qolishga xizmat qiladi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Tomat mahsulotini past haroratda quritish jarayoni va apparatini takomillashtirish bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

past haroratda tomat mahsulotini quritishga mo'ljallangan yarim sanoat qurilma O'zbekiston-Qozog'iston "Gala River" qo'shma korxonasi joriy qilingan (O'zbekiston oziq-ovqat sanoati uyushmasining 2024-yil 02-fevraldagi № 02-13/02-24-sonli ma'lumotnomasi). Natijada, takomillashtirilgan quritish qurilmasini qo'llash orqali uzoq muddatli saqlanish imkoniyatiga ega bo'lgan quritilgan tomat mahsulotini olishga erishilgan.

nurlanish spektrining maqbul to'lqin uzunliklari diapazonida tomat mahsulotini past haroratda quritishga mo'ljallangan qurilma "LIVADIYA-BUKHARA" MChJ da joriy etilgan (O'zbekiston oziq-ovqat sanoati uyushmasining 2024-yil 02-fevraldagi № 02-13/02-24-sonli ma'lumotnomasi). Natijada, mahsulot massasining birlik yuzadagi miqdori 9,5 ÷ 10,2 kg tashkil etganda sarflanayotgan energiya miqdori mahsulot tarkibidan 1 kg namlikni chiqarib yuborish uchun - 0,56 kVt/soatni, 1 kg tayyor quruq mahsulot uchun esa - 0,49 kVt/soatni tashkil etib natijada energiya samaradorligini 1,2 ÷ 1,5 marta oshirish imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Tadqiqot natijalari 4 ta xalqaro va 2 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida ma'ruza qilingan hamda aprobatsiyadan o'tgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 14 ta ilmiy ishlar chop etilgan, shulardan O'zbekiston Respublikasi Oliy Attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalari (PhD) asosiy ilmiy natijalarini chop ettirish uchun tavsiya etgan ilmiy nashrlarda 4 ta maqola, 2 tasi xorijiy va 2 tasi respublika jurnallarda nashr etilgan. O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligidan "Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dastur"ga 3 ta guvohnoma olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya tarkibi kirish, to'rtta bob, umumiy xulosalar, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 120 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati, tadqiqotning maqsad va vazifalari, tadqiqot ob'ekti va predmeti asoslangan, respublika fan va texnika taraqqiyotining ustuvor yo'nalishlariga mosligi, dissertatsiya mavzusi bo'yicha xorijiy va respublika miqyosidagi tadqiqotlar sharhi va muammoning o'rganilganlik darajasi ko'rsatilgan. Tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy etish, tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi, nashr etilgan ishlar va dissertatsiyaning tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar yoritilgan.

Dissertatsiyaning "**Tomat mahsulotlarini qayta ishlash jarayonlarining nazariyasi va amaliyotini rivojlantirish tendensiyalari**" deb nomlangan birinchi bobida qishloq xo'jaligi mevalarini quritish jarayoni va qurilmalarining xususiyatlari tanqidiy tahlil qilingan, yetishtirilayotgan tomat navlari bo'yicha tahlillar amalga oshirilib, tomat mevasining tuzilishi, tarkibi va termofizikaviy xossalari o'rganilgan.

Quritish jarayonida issiqlik - moddaalmashinish qonuniyatlari va matematik modellashtirishning nazariy asoslari, tomat mahsulotlarini quritish jarayonining texnologiyalari, quritish qurilmalarining konstruksiyalari va usullari tahlil qilingan. Mavjud quritish usullari va qurilmalari bo'yicha amalga oshirilgan tadqiqotlar shuningdek patent ma'lumotlari o'rganilib, mavjud quritish qurilmalari va usullarining kamchiligi va avfzalliklari ilmiy asoslangan.

Dissertatsiyaning "**Tomat mevasini quritish jarayonini eksperimental tadqiq qilish**" deb nomlangan ikkinchi bobida quritish jarayonining tahlili asosida ekperiment rejasi ishlab chiqilgan, natijalarga ishlov berish usullari, tajriba qurilmasining tuzilishi, ishlash prinsipi keltirilgan. Har xil navdagi tomat mevasining namlik darajasini aniqlashga qaratilgan tadqiqot ishlari amalga oshirilib, quritish jarayonining kinetik qonuniyatlari, tomat mevasining gigroskopik xossalari tajribalar asosida o'rganilgan.

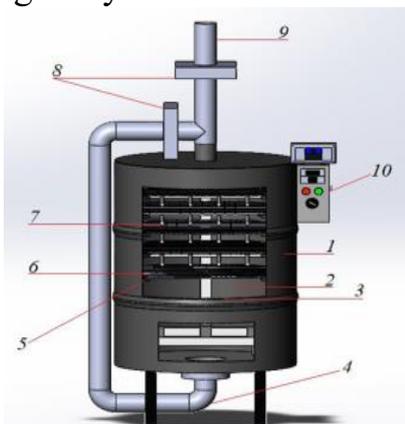
Ishlab chiqilgan quritish uskunasi (1-rasm) korpus 1 dan iborat bo'lib, korpusning ichki yuzasi nur qaytargich 2 bilan qoplangan. Isituvchi agentning issiqligidan samarali foydalanish maqsadida quritish qurilmasi korpusining oralig'i izolyatsion material 3 bilan qoplangan quruq havo kirish potrubkasi 4 dan iborat.

Korpusning ichki qarama qarshi tomon yuzalarining balandligi bo'yicha bir biriga nisbatan oraliq masofasi 250 mm masofada o'rnatilgan paddon

harakatlanadigan moslamalar 5 payvandlangan. Ikki tomonlama o'rnatilgan har bir juft yo'naltirgichlar ustiga setkali paddonlar 6 joylashtirilgan. Tajriba qurilmasidagi paddonlar soni 6 ta. Mahsulotning kesilgan massasi bo'yicha har bir setkali paddonning sig'imi $7 \div 10$ kg tashkil etadi. O'rta o'lchamga ega, diametri $65 \div 75$ mm, massasi $94 \div 105$ gr bo'lgan tomat mevasining kesilgan shakli doira, qalinligi 4 mm bo'lgan namuna bo'yicha setkali paddonda tashkil etgan massasi 7 kg ni, yarim oy shaklida kesilgan, radiusi $33 \div 37$ mm, tashqi yuza qalinligi 8 mm ni tashkil etgan namuna bo'yicha setkali paddondagi massasi $9 \div 10$ kg ni tashkil etadi. Quritish qurilmasi ikki xil to'lqin uzunligi diapazonida ishlovchi nurlatgichlar bloki 7 bilan ta'minlangan. Quritish jarayoni davomida ajralib chiqayotgan havo oqimini sirkulyatsiyalanishini ta'minlash uchun shiber 8 va nam havoni chiqarib yuborish trubkasi 9 xizmat qiladi. Quritish qurilmasida texnologik jarayonni jumladan, mahsulot hamda havo oqimining kirish va chiqishdagi temperaturalarini, havoning nisbiy namligini avtomatik nazorat qilish uchun avtomatik boshqarish pulti 10 o'rnatilgan.

Ob'ekt sifatida olingan tomat mevalari tarkibidagi boshlang'ich namlik miqdori Sartorius MA35 tipidagi zamonaviy elektron nam o'lchagich orqali aniqlandi (2-rasm).

Tajribalarni o'tkazishda ochiq maydonda yetishtirilgan tomatning Volgograd va Toshkent navlari tanlanib, qurilma yordamida har bir navning boshlang'ich namligi bo'yicha ma'lumotlar olingan.



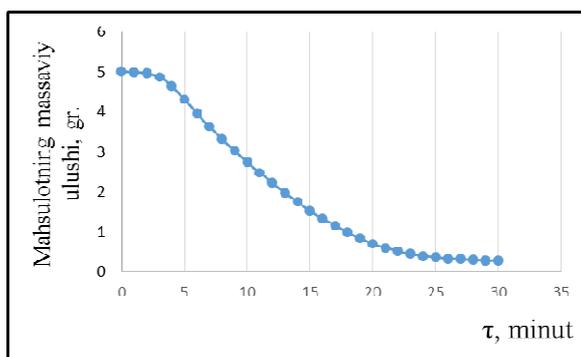
1-rasm. Tomat mevasini quritish jarayonining tajriba qurilmasi

1-korpus; 2-nur qaytargich; 3-izolyatsion qoplama; 4-havo kirish trubasi; 5-paddon harakatlanadigan moslama; 6- tomat mevasi joylashtirilgan setkali paddon; 7-nurlatgichlar bloki; 8-shiber; 9-nam havoni chiqarib yuborish trubasi; 10-boshqarish pulti.



2-rasm. Mahsulot namligini avtomatik ravishda o'lchovchi Sartorius MA 35 mar kali zamonaviy elektron qurilma

Tajriba sinov natijalari 130°C da 30 minut davomida amalga oshirilib, mahsulot namligining vaqt birligida o'zgarishining ulushlarda olingan natijalari 3-rasmda keltirilgan. Grafikdan ko'rinib turibdiki, boshlang'ich massasi 5,0 gr. bo'lgan tomat mevasining namligi, tajriba jarayonining 27, 28, 29 hamda 30 daqiqalari oralig'ida bir xil o'zgarmas massaga ega bo'lib, 0,285 gramni tashkil etayapti. Mahsulot boshlang'ich namligi 94,3 %.



3 - rasm. Tomat mevasi massa sining vaqt birligida o'zgarish grafigi.

Quritish jarayoniga ta'sir etuvchi parametrlarni maqbul chegaraviy qiymatlarini aniqlash maqsadida ko'p faktorli $N=2^3$ eksperiment rejasi ishlab chiqildi. Eksperiment rejasiga muvofiq, ta'sir etuvchi har bir faktorning

maksimal, minimal, o'rta hamda o'zgarish oralig'i aniqlanib, z_i ning minimal sathini z_i^- deb, maksimal sathini z_i^+ , o'rta sathini z_i^0 deb belgilab olindi (1-jadval). Kodlashtirilgan o'zgaruvchi x_i ni z_i orqali ifodalaydigan bo'lsak tenglama quyidagi ko'rinishga ega:

$$x_i = \frac{z_i - z_i^0}{\lambda_i} \quad (1)$$

bu yerda: λ_i - koeffitsientlarning o'zgarish intervali.

1-jadval

Faktorlarni kodlashtirish

Faktorlar	Maksimal sath, z_i^+	Minimal sath z_i^-	O'rta sath z_i^0	O'zlashtirish oralig'i λ_i	Kodlangan o'zgaruvchining natural qiymatga bog'liqligi
z_1	1,2	0,8	1,0	0,2	$x_1 = \frac{z_1 - 1,0}{0,2}$
z_2	8	4	6	2	$x_2 = \frac{z_2 - 6}{2}$
z_3	9	3	6	3	$x_3 = \frac{z_3 - 6}{3}$

2-jadval

Ta'sir etuvchi faktorlarning chegaraviy qiymatlari

No	Ko'rsatkichlar	$q, \frac{kVt}{m^3}$	X_1	δ, mm	X_2	$\sigma, kg/m^2$	X_3
1	Maksimal	1,2	+1	8	+1	9	+1
2	Minimal	0,8	-1	4	-1	3	-1
3	O'rta	1,0	0	6	0	6	0

Issiqlik oqimi zichligi - $q, \frac{kVt}{m^3}$ birlik yuzadagi mahsulot massasi - $\sigma, kg/m^2$;

mahsulot qalinligi - δ, mm .

Shunga ko‘ra, eksperiment natijalarining o‘rtacha qiymati:

$$\bar{Y}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Y_{ji} \quad j = \bar{1}, \dots, n \quad (2)$$

Taqsimot jadvaliga muvofiq kritik nuqtaning qiymati va erkinlik darajasi $n(m-1)$ berilgan muhimlik darajasi α ning sathi hamda kritik nuqtaning ikki tomonlama xududiy chegaraviy qiymatlari oralig‘i bo‘yicha, koeffitsientlarning o‘rtacha kvadratik og‘ishi quyidagi tenglama orqali aniqlandi.

$$S_{koef} = \sqrt{\frac{S_y^2}{n \cdot m}} \quad (3)$$

Takrorlanuvchi eksperiment natijalarining dispersligi S_y^2 o‘tkazilgan barcha eksperimentning xatoligini xarakterlaydi. Eksperimentni o‘tkazish bosqichida bir biriga yaqin, parallel hamda takrorlanuvchi natijalarning dispersligi:

$$S_y^2 = \frac{1}{n(m-1)} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (y_{ji} - \bar{y}_j)^2 \quad S_i^2 = \frac{\sum_{u=1}^n (Y_{iu} - \bar{Y}_i)^2}{n-1} \quad (4)$$

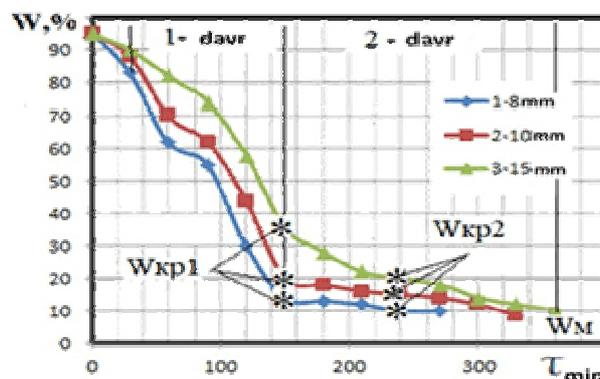
bu yerda: n -o‘tkazilgan eksperimentlar soni; m -har bir eksperimentni o‘tkazish uchun amalga oshirilgan sinov (kuzatuv)lar soni.

Ekstremalga yaqin maydonning eng aniq tavsifini ifodalovchi ikkinchi darajali markaziy ortogonal kompozitsion reja qo‘llanilib, tomat mevasini quritish jarayonini tavsiflovchi regression tenglama olindi:

$$\hat{y} = 9,37 - 0,05x_1 - 1,65x_2 - 0,05x_3 - 1,175x_1x_2 - 0,625x_2x_3 + 1,025x_1x_3 - 0,65x_1x_2x_3 = 6,195 \quad (5)$$

Muhimlik sathi $\alpha = 0,05$ ga mos erkinlik darajasi $K_1 = n - r = 8 - 6 = 2$ va $K_2 = n(m-1) = 8 \cdot 2 = 16$ bo‘yicha me‘zonning qiymati Fisher taqsimotining kritik nuqtalari jadvaliga muvofiq $F_{jadv} = 7,81$ tashkil etadi. U holda $F_{his} = 5,92 < F_{jadv} = 7,81$ shartga muvofiq (5) tenglama adekvat hisoblanadi.

Tomat mevasining “Alamingo”, “Sulton”, “Moderna” va “Toshkent” navlari bo‘yicha quritish jarayoni eksperimental tahlil qilindi. Quritish kinetikasini tadqiq qilishda boshlang‘ich namligi $94 \div 95$ %, quruq modda miqdori $5,0 \div 5,3$ % bo‘lgan har xil qalinlikdagi ($\delta = 8$ mm, $\delta = 10$ mm, $\delta = 15$ mm) namunalar olinib vaqt birligida mahsulot namligining o‘zgarish grafiklari olindi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, boshlang‘ich 7 minut davomida, ya‘ni mahsulotni isish davrida mahsulot tarkibidagi namlikning qisman o‘zgarishi kuzatildi. Qalinligi 8 mm bo‘lgan tomat mevasining namligi 94,3 foizdan 90,8 foizga, qalinligi 10



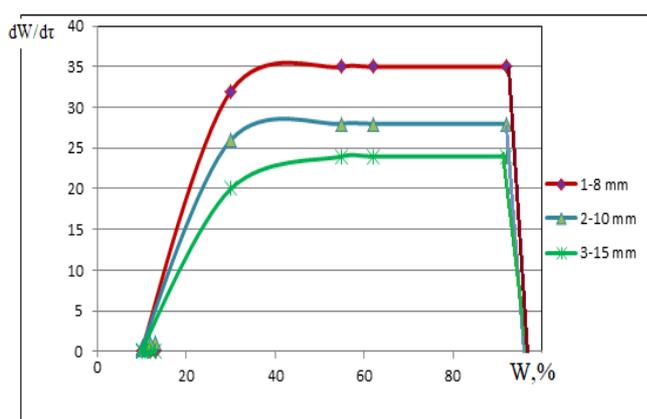
4 - rasm. Tomat mevalarini quritish egri chizig‘i.

mm bo'lgan namunaning namligi 91,3 foizga, qalinligi 15 mm bo'lgan namunaning namligi esa 91,8 foizga tushganligi aniqlandi (4-rasm).

Grafikdan ko'rinib turibdiki, doimiy quritish tezligi davrida (I-davr) namlik miqdorining to'g'ri chiziq qoniniga muvofiq kamayish darajasining jadallashuvi kuzatilib, namlikning ushbu qonuniyat bo'yicha kamayish davri quritish tezligining birinchi kritik ω_{kr1}^c namlik nuqtasiga qadar davom etadi.

Quritishning kamayib borish tezligi, ya'ni ikkinchi (II-davr) kritik tezlik ω_{kr2}^c davrida olingan egri chiziqlar ma'lum bir xarakterda ikki xil ko'rinishga ega bo'lib, davrning so'ngida mahsulot namligi assimtotik ravishda muvozonat namlik chegarasiga yaqinlashishi kuzatildi.

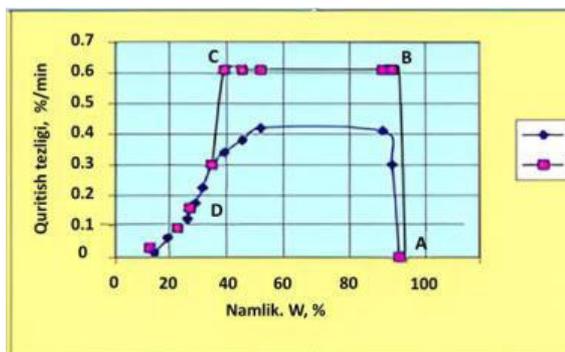
Yarim oy shaklida kesilgan, asosining qalinligi $\delta = 8$ mm bo'lgan tomat mevasining qurish vaqti 270 minutni, qalinligi $\delta = 10$ mm bo'lgan namunaning qurish vaqti 300 minutni, qalinligi $\delta = 15$ mm namunaning qurish vaqti 360 minutni tashkil etdi. Quritish jarayoni tezligining egri chizig'i bo'yicha o'tkazilgan tahlillar (5-rasm) shuni ko'rsatadiki, doimiy quritish tezligi (I) davrida ω_{kr1}^c , qalinligi 8 mm bo'lgan tomat mevasi tarkibidan minutiga 0,35 %, 10 mm bo'lgan tomat mevasi tarkibidan 0,28 %, qalinligi 15 mm bo'lgan tomat mevasi tarkibidan esa $0,25 \div 0,26$ %, namlik ajralib chiqayapti. Quritish tezligining kamayib borish (II) davrida qalinligi 8 mm bo'lgan tomat mevasining muvozonat namligi 9 %, qalinligi 10 mm bo'lgan namunaning muvozonat namligi 11 %, shuningdek 15 mm bo'lgan namunaning muvozonat namligi $9 \div 11$ % tashkil etayapti. Ushbu II-davrda mahsulot tarkibidan namlikning bug'lanishi o'ta sekinlashib, mahsulot temperaturasi qisman ko'tarilishi, mahsulotning namligi muvozonat holatiga ω_M yetgach namlikning bug'lanishi nolga tenglashishi kuzatildi.



5-rasm. Quritish jarayoni tezligining egri chizig'i namunaning kesilgan shakli - yarim oy; asosining qalinligi: 1-8 mm; 2-10 mm; 3-15 mm

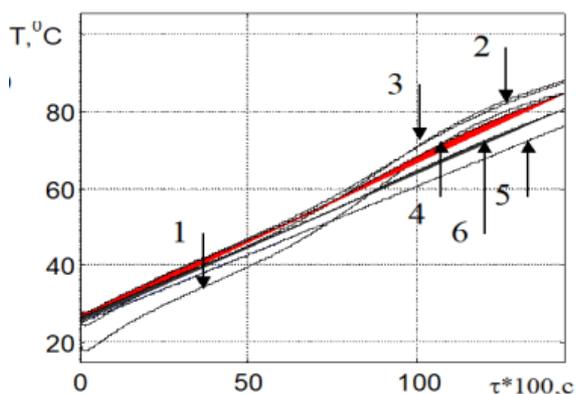
Shuningdek doira shaklda kesilgan, qalinligi $4 \div 6$ mm bo'lgan tomat mevasini quritish tezligining egri chizig'iga qaraydigan

bo'lsak (I) davrida qalinligi 4 mm bo'lgan namuna tarkibidan 0,61 %, 6 mm namuna tarkibidan 0,42 % namlik ajralib chiqib quritish vaqti mahsulot qatlamlari bo'yicha 230, 245 minutni (6-rasm), ammo mahsulot temperaturasi oshishi kuzatilib, qatlamlar bo'yicha mahsulotning o'rtacha temperaturasi $79 \div 84$ °C tashkil etayapti (7-rasm).



6-pacm. Quritish jarayoni tezligining egri chizig'i doira shaklda kesilgan tomat namunasi, qalinligi:

1-6 mm; 2-4mm

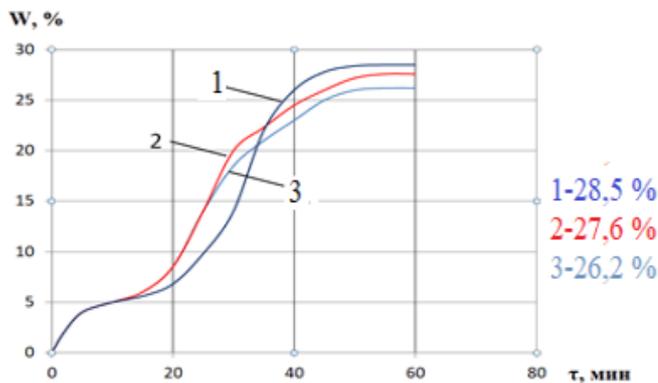


7-rasm. Mahsulot qatlami bo'yicha temperatura o'zgarishi

Olingan eksperiment natijalarini qayta ishlash matematik statistika usullari yordamida amalga oshirilib, havo nisbiy namligining turli chegaraviy qiymatlarida tomat mevasining gigroskopik xususiyati aniqlandi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, 8 xil namuna bo'yicha quritilgan tomat mevasi havo nisbiy namligining 50 ÷ 60 % chegarasida, 25 ÷ 28 °C uy temperaturasida bir oy muddatda saqlanganda boshlang'ich va oxirgi gigroskopik namlik darajasi deyarli o'zgarmadi (ma'lumotlar dissertatsiyada o'z aksini topgan).

Dissertatsiyaning "Tomat mevasini quritish jarayonini matematik modellashtirishning nazariy asoslari" deb nomlangan uchinchi bobida quritish jarayonida issiqlik – moddaalmashinishning asosiy qonuniyatlarini, ta'sir etuvchi parametrlarning maqbul chegaralarini aniqlashga qaratilgan nazariy tadqiqotlar o'z ifodasini topgan. Quritish jarayonida mahsulot namligi va temperaturasining o'zgarishini, mahsulot tarkibidan bug'lanayotgan namlikni, isituvchi agent orqali hosil qilinayotgan energiya miqdorlarini tavsiflovchi matematik ifodalar keltirilgan.

Tomat mevasi tarkibidagi namlik va temperaturaning o'zgarishi, isituvchi agent oqimining yo'nalish traektoriyasi hamda solishtirma energiya sarflarini aniqlash bo'yicha o'tkazilgan eksperimental va nazariy tadqiqotlar asosida bir qator natijalar olindi. Taklif etilgan quritish apparatining takomillashtirilgan modeli, isituvchi agentning zigzak shakldagi harakat yo'nalishini ta'minlovchi mexanizm bilan ta'minlangan. Tagliklarning asosga o'rnatilgan tomoniga yarim sferik shaklidagi o'yiqchalar hosil qilingan. Bu o'z navbatida isituvchi agent (havo) ning tagliklar aro bir me'yorda tarqalishini, quritilayotgan mahsulot tarkibidan namlikning bir me'yorda ajralib chiqishini ta'minlaydi. Jumladan, quritish kamerasining 1 va 3 setkali tagliklarida joylashtirilgan mahsulot namligining vaqt birligida o'zgarishi hamda tagliklar aro isituvchi (havo) ning oqim tezliklarini xarakterlovchi natijalar 8-rasmda keltirilgan. Grafikdan ko'rinib turibdiki, quritish jarayonining dastlabki 60 minut davomida ostki 1-taglikdagi mahsulotning namligi 28,5 % ga, 2 taglikdagi mahsulot namligi 27,6 % ga 3-taglikdagi mahsulotning namligi 26,2 % ga o'zgarishi kuzatildi. 90 minut davomida esa 1,2 va 3 tagliklardagi mahsulot namligining o'zgarishi deyarli bir xil bo'lib o'rtacha 27,3 foizni tashkil etdi.



8-rasm. Vaqt birligida tagliklardagi mahsulot tarkibidan ajralib chiqayotgan namlikning miqdori.

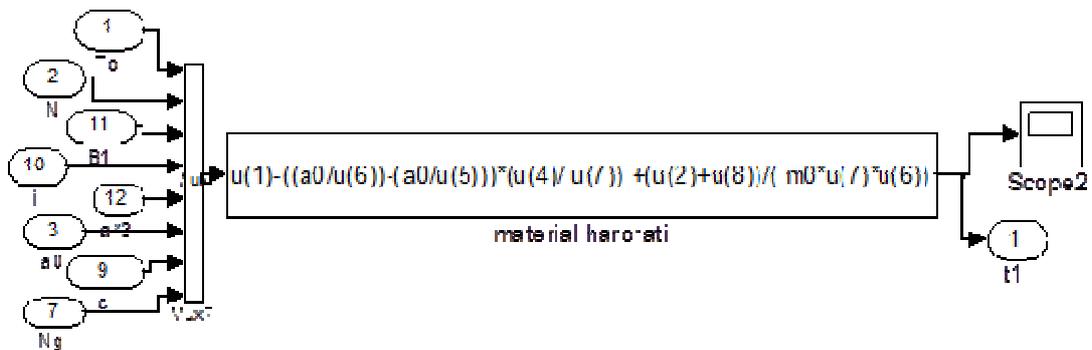
Shuningdek, quritish apparatidagi setkali tagliklarning asosga oʻrnatilgan tomonlarida yarim sferik

oʻyiqchalarning mavjudligi, tagliklar aro mahsulot tarkibidan ajralib chiqayotgan nam havoning soʻrilishini taʼminlab uning apparatdan chiqish oqimini jadallashtiradi. Yaʼni, isituvchi agent (havo) oqimining boshlangʻich va oxirgi nuqtalardagi tezliklar farqi deyarli nolga yaqinlashib, u $0,25 \div 0,3$ m/s tashkil etdi.

Quritish jarayoni davomida mahsulot temperaturasining oʻzgarishi:

$$t_m = G_{mb} \cdot C_{mb} \cdot t_{mb} + G_{xb} \cdot C_{xb} \cdot t_{xb} + q / (G_{mo} \cdot C_{mo} \cdot G_{xo} + W_{um}) \quad (6)$$

Ushbu tenglamaning MATLAB dasturiy paketidagi hisoblash bloki (9-rasm):

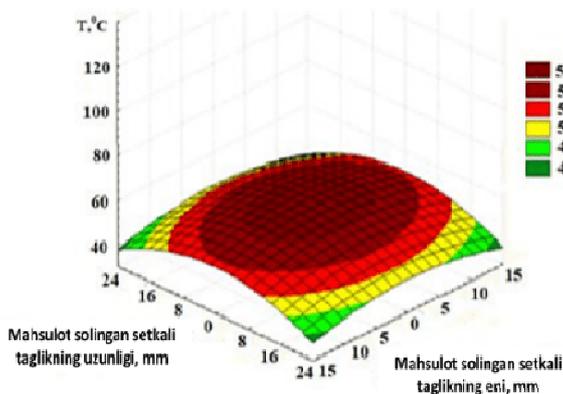


9-rasm. Mahsulot oʻrtacha temperaturasining hisoblash bloki.

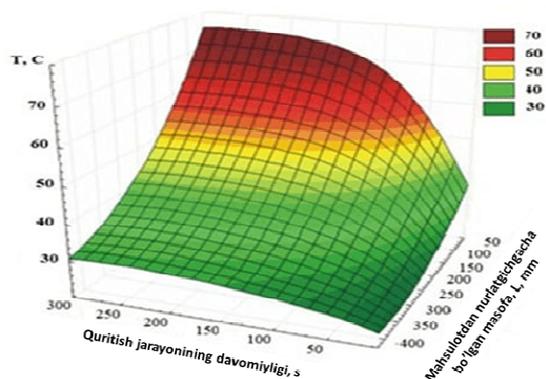
Tomat mevasining muvozonat namligi uning isish vaqt doimiysi, temperaturaga hamda quritish tezligi davrlari boʻyicha hosil qilingan issiqlik miqdoriga bogʻliq. Shunga koʻra matematik modellashtirish asosida quritish jarayoni tezligining davrlari boʻyicha quritilayotgan tomat mevasining isish vaqt doimiylari va mahsulotning butun hajmi boʻyicha temperatura oʻzgarishlari aniqlandi. Yarim oy shaklida kesilgan, asos qalinligi 8 mm boʻlgan namunaning dastlabki davrdagi isish jarayonining vaqt doimiysi $10 \div 14$ minutni, doimiy quritish tezligi davrdagi isish jarayonining vaqt doimiysi $114 \div 120$ minutni, quritish tezligining kamayib borish davrida esa 136 minutni tashkil etdi. Mahsulotning muvozonat namlik chegarasi uchun oʻrtacha isish vaqt doimiysi $260 \div 270$ minut. Quritish jarayoni davomida quritilgan 1 kg mahsulot uchun solishtirma energiya miqdori, mahsulot qatlamlari boʻyicha temperatura oʻzgarishlari yuzasidan natijalar olindi. Amalga oshirilgan tadqiqotlar hamda tegishli tenglamalar asosida hisoblangan natijalar shuni koʻrsatadiki, energiyaning sarfi quritish qurilmasiga mahsulotning yuklanganlik darajasiga, mahsulot temperaturasining oʻzgarishi esa isituvchi element (keramik nurlatgich) ning

mahsulotga nisbatan joylashuv balandligi va quritish kamerasiga berilayotgan havoning tezligiga bog‘liq.

Grafik (10-rasm) dan ko‘rinib turibdiki, mahsulotga nisbatan 180 ÷ 200 mm balanlikda va bir biriga nisbatan 100 ÷ 120 mm oraliq masofada joylashtirilgan, to‘lqin uzunligi 2,4 ÷ 2,8 mkm tashkil etgan keramik nurlatgichlar yordamida amalga oshirilgan quritish jarayonida mahsulot yuzasidagi temperaturaning o‘zgarishi qisman qabariq shaklga ega bo‘ladi. Mahsulot egallagan setkali taglikning markaziy zonalaridagi temperatura 57 ÷ 58,8 °C ni, simmetriya o‘qiga nisbatan chap va o‘ng tomon maydonlarda sezilarli darajada temperaturaning pasayishi kuzatildi. Nurlatgichlarning mahsulotga nisbatan o‘rnatilgan balanligi 50, 100, 150 mm bo‘lganda butun sikl davomida mahsulotning markaziy zonadagi temperaturasi 68 °C ÷ 78 °C oraliqda o‘zgarishi kuzatildi.



10-rasm. Tomat mevasini quritish jarayonidagi temperatura maydoni



11-rasm. Quritish jarayoni sikli bo‘yicha mahsulot temperaturasi nurlatgich bloklarining joylashuv masofasiga bog‘liqlik grafiqi.

$$t = 54,3348 + 21,33 \cdot b - 15,72 \cdot b^2 - 0,69 \cdot a^2$$

Ammo mahsulotga nisbatan nurlatgich o‘rnatilgan masofa balandligi 180 ÷ 220 mm bo‘lganda mahsulotning ostki va yuzadagi temperaturalar farqi 7°C, o‘zgarish oralig‘i 55°C ÷ 62°C tashkil etayapti (11-rasm).

Tomat mevasini quritish jarayonining matematik modeli, harorat va namlikning tarqalish tezligi bo‘yicha:

- mahsulot yuzasida harorat va namlikning tarqalish tezligi:

$$\frac{dt_{yuza}}{d\tau} = \frac{\left[q + \alpha \cdot F_s \cdot (t_g - t_1) - \frac{\lambda \cdot F_s}{\Delta h} \cdot (t_1 - t_2) \right]}{m \cdot c}$$

$$\frac{dX_{yuza}}{d\tau} = \frac{\left(-\beta \cdot F_s \cdot (X_k - X_p) + KDt \cdot F_s / dh \cdot (X_1 - X_{oxirgi}) \right)}{m}; \quad (7)$$

- mahsulotning dastlabki (birinchi) qatlamida harorat va namlikning tarqalish tezligi:

$$\frac{dt_1}{d\tau} = \frac{\left[q_1 + \alpha \cdot F_s \cdot (t_g - t_1) - \frac{\lambda \cdot F_s}{\Delta h} \cdot (t_1 - t_2) \right]}{m \cdot c} - G \cdot it$$

$$\frac{dX_1}{d\tau} = \frac{(-\beta \cdot F_s \cdot (X_1 - X_p) + KDt \cdot (X_2 - X_1))}{m} \cdot (1 - X_1)^2; \quad (8)$$

- mahsulotning o'rtta $i+1$ qatlamlarida harorat va namlikning tarqalish tezligi:

$$\frac{dt_i}{d\tau} = \frac{\left[q_i - \frac{\lambda \cdot F_s}{dh} \cdot (t_{i-1} - 2t_i + t_{i+1}) \right]}{m \cdot c}$$

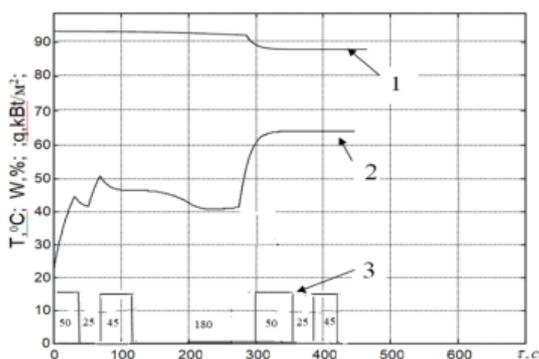
$$\frac{dX_i}{d\tau} = \frac{(KDt \cdot F_s / dh \cdot (X_{i-1} - 2X_i + X_{i+1}))}{m}; \quad (9)$$

- mahsulotning ostki qatlamida harorat va namlikning tarqalish tezligi:

$$\frac{dt_5}{d\tau} = \frac{\left[q_5 - \frac{\lambda \cdot F_s}{dh} \cdot (t_4 - t_5) - \alpha_n \cdot F_n (t_5 - t_n) \right]}{m \cdot c}$$

$$\frac{dX_5}{d\tau} = \frac{KDt \cdot (X_{i+1} - X_5)}{m} \cdot (1 - X_5)^2. \quad (10)$$

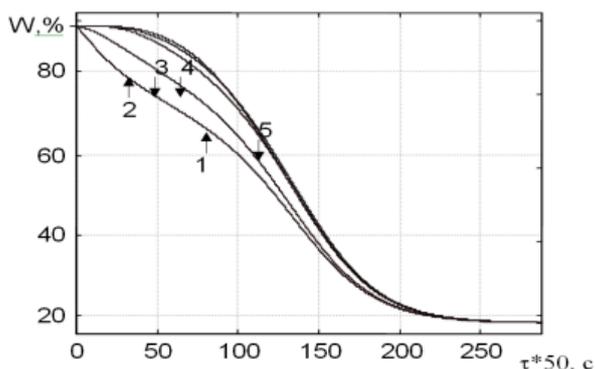
Quritish jarayonini matematik modellashtirish asosida olingan differensial tenglamalarni MATLAB dasturida qayta ishlash orqali tomat mevasi qatlamlari bo'yicha dastlabki ishlov berish (impulsi) rejimida va uzluksiz quritish tizimida namlik va temperatura o'zgarishlarini fodalovchi grafiklar olindi (12-rasm).



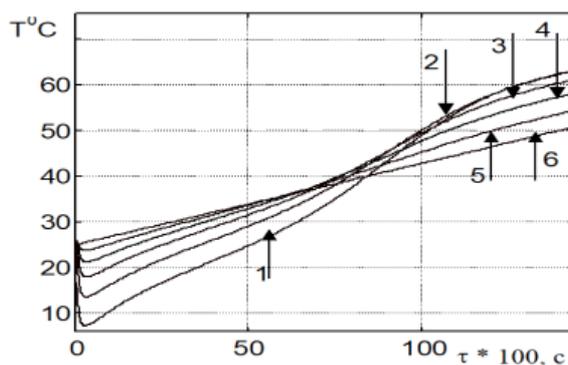
12-rasm. Tomat mevasiga impulsi ishlov berish bosqichida namlik (1), temperatura (2) va issiqlik oqimi zichligi (3) ning vaqt birligida o'zgarish grafigi

Grafik (12-rasm) dan ko'rinib turibdiki, mahsulot namligi, impulsi ishlov berish rejimining to'la sikli (420 sek.) davomida mahsulot tarkibidan $3 \div 3,5$ % atrofida namlik ajralib chiqayapti (1), mahsulot temperaturasi esa impulsi ishlov berish rejimining dastlabki nurlanish bosqichi (50sek.) da 43°C ni, ikkinchi nurlanish bosqichining (45 sek.) da 51°C ni, nurlanishning uchinchi (50 sek.) hamda to'rtinchi (45 sek) bosqichlarida $62 \div 63^{\circ}\text{C}$ tashkil etayapti. Bundan shunday xulosa qilish mumkinki, impulsi ishlov berish bosqichida past haroratli rejimni ta'minlash uchun nurlanishli va nurlanishsiz ishlov berishning davomiyligi asosiy omil hisoblanadi. Shuningdek, uzluksiz quritish tizimida mahsulot qatlamlari bo'yicha temperatura va namlik o'zgarishini ifodalovchi egri chiziqlar qurilib, olingan natijalar (13 va 14-rasmlar) da keltirilgan.

Grafikdan ko'rinib turibdiki, qalinligi 10 mm, yarim oy shaklida kesilgan tomat mevasining qatlamlari bo'yicha namlikning o'zgarishi, quritish jarayonining I-davrida qatlamlar aro ma'lum darajada farq qilsada, quritishning II-davrida xar bir qatlamdan namlikning bir me'yorda ajralib chiqishi yuzaga kelib, mahsulotning bir me'yorda qurishini kuzatish mumkin.



13-rasm. Mahsulot qatlamlari bo'yicha namlikning vaqt birligida o'zgarish egri chizig'i

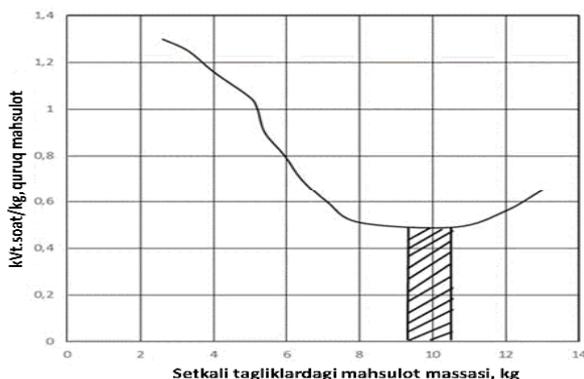


14-rasm. Mahsulot qatlamlari bo'yicha temperaturaning vaqt birligida o'zgarish egri chizig'i

Mahsulot qatlamlari bo'yicha temperaturaning o'zgarishi bo'yicha olingan natijalarni izohlaydigan bo'lsak, quritish jarayonining 120 ÷ 130 minutlarida qatlamlar bo'yicha temperatura 39 ÷ 45⁰C ni, quritish jarayonining so'ngi 240 ÷ 270 minutlarida esa 55 ÷ 62⁰C tashkil etayapti. Demak, hosil qilingan ushbu temperatura oraliqlarida tomat mevasini quritish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Quritish tizimidagi issiqlik va moddaalmashinuv jarayonining tahlili shuni ko'rsatadiki, qattiq faza tarkibida qatlamlar bo'yicha namlik va temperaturaning siljishi hamda qattiq faza tomonidan nurlangan energiyaning yutilishi natijasida fazalar aro almashinuv yuzaga keladi.

Dissertatsiyaning **“Tomat mevasini quritish jarayonini optimallashtirish va texnologik jarayonning iqtisodiy ko'rsatkichi”** deb nomlangan to'rtinchi bobida quritilayotgan har bir kg mahsulot uchun optimal energiya miqdorlari, texnologik jarayonni optimallashtirish vazifalari, optimallashtirish masalalarini yechish bosqichlari va tomat mevasini quritish tizimining iqtisodiy ko'rsatkichlari keltirilgan. Tomat mevasini past haroratli rejimda quritishda mahsulot tarkibidagi 1kg namlikni chiqarib yuborish hamda 1 kg quruq mahsulot ishlab chiqarish uchun sarflanadigan energiya miqdori asosiy omillardan biri hisoblanadi. Energiya sarfi, quritish qurilmasidagi setkali tagliklarning yuza birligini tashkil etgan mahsulot massasiga bog'liq. Shunga ko'ra, turli massa birliklari bo'yicha energiya xarajatlari aniqlanib, birlik yuzani tashkil etgan mahsulot massasining turli qiymatlari kesimida sarflanayotgan energiya miqdorini xarakterlovchi natijalar olindi (15-



rasm). Grafikga muvofiq, 2,6 kg mahsulot tarkibidan 1 kg namlikni chiqarib yuborish uchun 1,5 ÷ 1,7 kVt soat, 1 kg tayyor quruq mahsulot uchun esa 1,2 ÷ 1,3 kVt soat energiya sarflanayapti.

15-rasm. Energiya sarfining quritish qurilmasiga yuklangan mahsulot massasiga bog'liqlik egri chizig'i

Grafikdan ma'lumki, birlik yuzani tashkil etayotgan mahsulot massasining ma'lum bir chegaraviy qiymati oralig'ida energiya sarfi kamaysa, ma'lum bir chegarada oshishi kuzatildi. Masalan, mahsulot massasining birlik yuzadagi miqdori $9,5 \div 10,2 \text{ kg/m}^2$ bo'lgan mahsulot tarkibidan 1 kg namlikni chiqarib yuborish uchun $-0,56 \text{ kVt/soat}$, 1 kg tayyor quruq mahsulot uchun $-0,49 \text{ kVt/soat}$ energiya sarflanishi kuzatildi. Taklif etilayotgan quritish qurilmasida maqbul qiymat $9,5 \div 10,2 \text{ kg/m}^2$ tashkil etadi (15-rasm).

Tomat mevasini quritish jarayonini optimallashtirish vazifasi, bu texnologik xarajatlarni minimallashtirishga qaratilgan. Shunga ko'ra, ushbu tadqiqot ishida belgilangan optimallashtirish vazifasi - qurilmaning ish unumdorligi hamda quritilgan mahsulot sifati bo'yicha qo'yilgan shartlarning bajarilishiga qaratilgan. Tomat mevasini past haroratli rejimda quritish jarayonining muhim faktorlari quyidagilarni tashkil etadi: birlik yuzaga tushayotgan issiqlik oqimi zichligi $E_n = 1,2 \div 1,5 \text{ kVt/m}^2$; nurlangan energiya ta'sirining davomiyligi $\tau_{o\ddot{a}n} = 190$ sek; nurlanishsiz davrning davomiyligi $\tau_{omn} = 230$ sek; mahsulot qalinligi δ , MM; quritish agentining tezligi $g_B = 1,9 \div 2,1 \text{ m/s}$. Tadqiqotlar asosida mahsulot sifatiga ($C \rightarrow \max$), quritish jarayoni davomida mahsulot temperaturasiga ($T \rightarrow \min$), mahsulot tarkibidagi namlik gradientiga $\frac{dw}{dh} \rightarrow \min$ diffuziya koeffitsientining

$D = f(W_o, W_n)$ bog'liqligi o'rganildi. Diffuziya koeffitsientining o'zgarishiga ta'sir etuvchi muhim faktorlarning maqbul chegaraviy qiymatlarini tavsiflovchi uch bosqichli optimallashtirishning ierarxik strukturasi ishlab chiqildi.

Tahlil natijalari shuni ko'rsatdiki, meva va sabzavotlarni $74 \div 76^{\circ}\text{C}$ yuqori haroratda quritish tizimini tashkil etilishi mahsulot tarkibidagi biologik faol moddalarning o'zgarishiga olib kelib, quritilgan mahsulotning sifat ko'rsatkichlariga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Quritilayotgan tomat mevasining eng yuqori sifat ko'rsatkichi $40 \div 45^{\circ}\text{C}$ oralig'ida kuzatildi. Biroq, iqtisodiy nuqtai nazardan sarf xarajatlar (mahsulot tannarxi, mahsulot tarkibidagi namlikni bug'latish uchun sarflangan energiya xarajatlari, jarayonning davomiyligi) ni inobatga olib ushbu dissertatsiya ishida tomat mevasini quritishdagi temperaturaning chegaraviy qiymati $58 \div 62^{\circ}\text{C}$ tashkil etishi asoslandi. O'zbekiston-Qozog'iston "Gala River" qo'shma korxonasi hamda LIVADIYA-BUKHARA" MChJ ning ishlab chiqarish sharoitida har xil qalinlikda kesilgan tomat mevasini quritish bo'yicha tajriba-sanoat sinovlari o'tkazildi.

Tajriba sinov qurilmasini ishlab chiqarishga tadbiiq etish samaradorligini oshirish uchun quritish jarayonining maqbul rejimi tanlanib, strukturasi yumshoq, yuqori elastiklik xossasiga ega bo'lgan mahsulot sifatini saqlab qolishga qaratilgan energiya berishning noananaviy usuli tadbiiq etildi.

XULOSA

1. Strukturasi har xil bo'lgan turli navli tomat mevasini quritish jarayonini amalga oshirish, texnologik parametrlarni avtomatik nazorat va boshqarish tizimi bilan jixozlangan tajriba qurilmasi ishlab chiqilgan;

2. Mahsulotning ichki qatlamidagi suyuqlik tomchilarining molekulyar harakatini va uni yuza tomoni siljishini jadallashtiruvchi $0,75 \div 1,1$ mkm to'lqin uzunligida impulsli rejim asosida ishlov berishga mo'ljallangan IQ nurlatgichlar bloki, suyuqlikni yutish qobiliyati yuqori bo'lgan $2,4 \div 2,8$ mkm to'lqin uzunligida ishlovchi keramik nurlatgichlarni uzluksiz ishlash prinsipiga asoslangan quritish usuli taklif etilgan.

3. Quritilgan tomat mevasi tarkibidagi boshlang'ich va muvozonat namliklar miqdori Sartorius MA35 tipidagi zamonaviy elektron nam o'lchagich asbobi asosida o'rganilib, mag'ziga nisbatan urug'larining miqdori $3,3 \div 4,1$ %, tashkil etgan tomat mevasining absolyut namligi absolyut quruq moddaga nisbatan $1654 \div 1860$ % ni, nisbiy namligi $94,3 \div 94,9$ % ni, quruq moddaning miqdori $5,1 \div 5,7$ % ni tashkil etishi aniqlangan.

4. Ko'p faktorli eksperiment rejasi asosida ta'sir etuvchi parametrlarning chegaraviy qiymatlari aniqlanib, tomat mevasini quritish va quritish jarayoni tezligini xarakterlovchi egri chiziqlar qurilgan.

5. Styudent kriteriyasiga muvofiq muhimlik (znachimiy) hamda muhim bo'lmagan (neznachimiy) koeffitsientlar aniqlanib, regression model ishlab chiqilgan.

6. Eksperimental va nazariy natijalarning adekvatligi, muhimlik sathiga mos erkinlik darajasi bo'yicha me'zonning qiymati Fisher taqsimotining kritik nuqtalari jadvaliga muvofiqligi $F_{jadv} = 7,81$, $F_{hisob} = 5,92 < F_{jadv} = 7,81$ asoslangan.

7. Mahsulot qatlamlari bo'yicha temperatura va namlik o'zgarishining matematik modeli ishlab chiqilgan.

8. Tavsiya etilgan quritish usulida, tarkibidan 1 kg namlikni chiqarib yuborish uchun - 0,56 kVt/soat, 1 kg tayyor quruq mahsulot uchun - 0,49 kVt/soat energiya sarflanishi asoslangan;

9. O'zbekiston-Qozog'iston "Gala River" qo'shma korxonasi hamda "LIVADIYA-BUKHARA" MChJ ning ishlab chiqarish sharoitida tajriba-sanoat sinovlari o'tkazilgan. Sinov natijalariga ko'ra tomat mevasini quritish uchun taklif etilayotgan kichik ish unumdorlikka ega quritish qurilmasi energiya xarajati bo'yicha yuqori samaradorlikka ega ekanligi e'tirof etilgan.

Joriy etish samaradorligiga - minimal energiya sarfini ta'minlash, quritish tizimining optimal rejimlarini ishlab chiqish va amalga oshirish, quritilgan mahsulot tarkibidagi biologik faol moddalarni saqlab qolish asos bo'lib xizmat qiladi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ
DSc.03/28.02.2022.Т.101.01 ПРИ БУХАРСКОМ ИНЖЕНЕРНО –
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

**БУХАРСКИЙ ИНЖЕНЕРНО – ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ**

РАСУЛОВ ШУХРАТ ХУЖАКУЛОВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА И АППАРАТА СУШКИ
ТОМАТНЫХ ПРОДУКТОВ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

**02.00.16 - Процессы и аппараты химических технологий и пищевых
производств**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам**

Бухара - 2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером B2022.3.PhD/T3040.

Диссертационная работа выполнена в Бухарском инженерно-технологическом институте

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета по адресу (www.bmti.uz) и информационно-образовательном портале «Ziyounet» по адресу (www.ziyounet.uz).

Научный руководитель:

Джураев Хайрулло Файзиевич
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Нурмухамедов Хабибулла Сагдуллаевич
доктор технических наук, профессор

Сафаров Жасур Эсиргапович
доктор технических наук, профессор

Ведущая организация:

**Навийский государственный
горно-технологический университет**

Защита диссертации состоится 23 мая 2025 г. в 09⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.03/28.02.2022.Т.101.01 при Бухарском инженерно-технологическом институте. (Адрес: 100118, г. Бухара, ул. Каюма Мургазаева, 15. Тел.: (+99865) 223-78-84, факс: (+99865) 223-78-84, e-mail: bmti_@edu.uz)

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Бухарского инженерно-технологического института (зарегистрировано за номером 350). (Адрес: 100118, г. Бухара, ул. Каюма Мургазаева, 15. Тел.: (+99865) 223-78-84)

Автореферат диссертации разослан 12 мая 2025 года.

(реестр протокола № 1 от 24 марта 2025 года).



С.Ф. Фозилов

Председатель Научного совета по присуждению учёных степеней, доктор технических наук, профессор

А.Т. Олтиев

Ученый секретарь Научного совета по присуждению учёных степеней, доктор технических наук, доцент

И.Б. Исабаев

Председатель Научного семинара при научном совете по присуждению учёных степеней, доктор технических наук, профессор

Введение (аннотация диссертации (PhD) доктора философии)

Актуальность и востребованность темы диссертации. Во всём мире быстрыми темпами развивается создание новой техники и технологий, направленных на получение и переработку высококачественной сушеной готовой продукции из фруктов и овощей, выращиваемых в сельском хозяйстве, а также производство готовой продукции. В связи с этим имеет важное значение систематическая организация производства разных видов томатов в открытом грунте и теплицах, создание ресурсосберегающих технику технологии для качественной сушки томатов.

В мире проводятся научные исследования, направленные на создание новой техники и технологий с высокой энергоэффективностью за счет производства готовой продукции путем переработки томатов, модернизации оборудования для сушки томатов, совершенствования сушильных устройств. Соответственно, особое внимание уделяется научно-исследовательской работе, направленной на повышение энергоэффективности технологий применяемых во многих отраслях производства, освоение производства новых видов продукции, увеличение сроков хранения и биологической ценности готовой продукции при обработке за счет использования современных методов.

В нашей республике проводятся научные исследования по созданию теплиц для выращивания различных сортов фруктов и овощей, с применением инновационных технологий при производстве высококачественной экспортоориентированной готовой продукции. В стратегии развития нового Узбекистана определены такие задачи, как «... широкое внедрение инноваций в экономику страны, развитие кооперативных отношений между промышленными предприятиями и научными учреждениями»². Соответственно, имеет важное значение внедрение энергосберегающих механизмов обработки и устройств непрерывной сушки, направленные на обеспечение структуры с высокими свойствами эластичности, обработку в оптимальном диапазоне длин волн низкотемпературной излучаемой энергией, сохраняющую первоначальный природный цвет томатов.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач предусмотренных в Указах и Постановлениях Президента и Правительства Республики Узбекистан от 28 января 2022 г. УП-60 «О стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы», 29 октября 2020 г. УП № 6097 «Об утверждении концепции развития науки до 2030 года», 6 июля 2022 г. ПП № 307 «Об организационных мерах по реализации стратегии инновационного развития Республики Узбекистан на 2022-2026 годы», 29 июля 2019 г. ПП № 4406 «О дополнительных мерах по глубокой переработке сельскохозяйственной продукции и дальнейшему развитию пищевой промышленности», 11 декабря 2019 г. ПП № 4549 «О

² Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года №УП-60 «О стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы»

дополнительных мерах по дальнейшему развитию плодоовощной и семеноводческой отрасли, созданию цепочки добавленной стоимости в отрасли» и других нормативно-правовых документах, связанных с этой деятельностью.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики V - «Сельское хозяйство, биотехнология, экология и окружающая среда».

Степень изученности проблемы. Исследования по разработке теоретических и практических основ сушильных устройств и технологических процессов сушки под воздействием поля сверхвысокой частоты, инфракрасного излучения и сублимационной сушки в условиях глубокого вакуума проводились такими зарубежными и отечественными учёными, как Shyam S. Sablani, Angel Calin-Sanchez, Marina Cano-Lamadrid, Adam-Figiel, С.Г. Ильясов, Е.И. Тимошкин, А.В. Титкова, А.С. Гинзбург, А.В. Лыков, М.А. Гришин, Ю.Г. Семенов, Б.И. Леончик, В.В. Кафаров, И.А. Рогов, В.А. Панфилов, Г.К. Филоленко, Б.С. Сажин, П.Г. Романков и другие, из Республики Узбекистан: Н.Р. Юсупбеков, З.С. Салимов, Дж.Н. Мухитдинов, А.А. Артиков, Х.С. Нурмухамедов, О.Ф. Сафаров, А.Х. Маматкулов, К.О. Додаев, Р.А. Хайтов, Ж.Э. Сафаров, Х.Ф. Джураев и другие исследователи.

Разработаны энерго- и ресурсосберегающие методы сушки фруктов и овощей, изучены кинетические закономерности процесса сушки и разработаны рекомендации по созданию соответствующих эффективных технологий данного вида обработки сырья.

При этом недостаточно исследованы вопросы организации низкотемпературного процесса сушки в диапазоне оптимальных длины волн нетрадиционными источниками энергии, а также моделирования и оптимизации процессов межфазного обмена в плодах и овощах.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ Бухарского инженерно-технологического института по прикладному проекту ППИ-9 «Разработка высокоэффективной, экологически чистой технологии сушки плодов, овощей и лекарственных трав с использованием возобновляемых источников энергии» (2017-2019 гг.).

Цель исследования. Совершенствование процесса и аппарата для сушки плодов томатов на основе применения энергосберегающего низкотемпературного метода их тепловой обработки.

Задачи исследования:

анализ процессов и действующих установок для сушки сельскохозяйственной продукции, изучение кинетики сушки;

изучение и исследование влияния различного диапазона длины волн ИК-лучей на кинетику сушки плодов томатов;

разработка экспериментальной установки, оснащенной автоматизированной системой управления, ориентированной на энергосберегающий комбинированный метод сушки плодов томатов;

разработка алгоритмов и методов экспериментального исследования технологических параметров процесса сушки томатов;

математическое моделирование и оптимизация процесса сушки;

совершенствование процесса и аппарата сушки плодов при низких температурах путём ускорения межфазного тепла и массообмена;

Объектами исследования являются плоды томатов, выращенные на открытой площади и в теплицах, процессы и установки сушки.

Предмет исследования. Сушильная установка и технологические параметры импульсной обработки, основанные на низкотемпературной сушке плодов томатов.

Методы исследования. В исследованиях использованы основные законы и методы визуального наблюдения, математической статистики, инструментальные методы измерения, моделирования, обработки и обобщения экспериментальных результатов, гидромеханики и технической термодинамики.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана экспериментально-испытательная установка на основе системы контроля и автоматического регулирования технологических параметров процесса сушки;

обоснован непрерывный режим сушки при первичном импульсном режиме обработки в диапазоне длин волн ИК-света $\lambda = 0,75 \div 1,1$ мкм (+50-25+45-180+50-25+45), использующийся для ускорения молекулярного перемещения капель жидкости во внутреннем слое плодов томата, а непрерывный режим сушки в диапазоне длин волн $\lambda = 2,4 \div 2,8$ мкм — для ускорения выделения влаги с поверхности продукта;

экспериментально обоснован процесс обработки плодов томата, имеющих мягкую, пластичную текстуру, в 10% растворе лимонной кислоты в течение 20 минут, замачивания в течение 10 минут и сушки при низкой температуре ($58 \div 62^{\circ}\text{C}$);

разработана математическая модель, отражающая изменение температуры и влажности по слоям продукта в процессе предварительной обработки и сушки, на основе математического моделирования и оптимальных режимов процесса сушки усовершенствован энергоэффективный процесс и аппарат сушки.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработано сушильное устройство, работающее в непрерывном режиме, при начальной обработки ИК-излучением в диапазоне длин волн $\lambda = 0,75 \div 1,1$ мкм, а также в диапазоне длин волн $\lambda = 2,4 \div 2,8$ мкм, основанное

на ускорении молекулярного движения капель жидкости и ускорении движения влаги к поверхности;

обоснован режим первичной обработки плодов томата в лимонной кислоте с оптимальной концентрацией для получения сухого продукта с мягкой, гибкой структурой;

достигнуто снижение энергозатрат за счёт использования механизма, обеспечивающего равномерное распределение потока горячего воздуха на продукт в сушильной камере, и обоснован расход энергии $-0,56$ кВт/ч на удаление 1 кг влаги из продукта, а для получения 1 кг готового сухого продукта - $0,49$ кВт/ч энергии;

Достоверность полученных результатов исследования объясняется применением операционных систем при обосновании кинетических закономерностей процесса сушки плодов томата, реализацией автоматического контроля и управления в допустимых пределах факторов, влияющих на технологический процесс, использованием статистических и математических методов расчета при обосновании оптимальных режимов работы системы сушки, соответствием результатов, полученных на экспериментальных и полупромышленных установках, теоретическим результатам, использованием промышленных исследований и внедрением выполненных научно-исследовательских работ в производство.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследований заключается в разработке способа и устройства сушки, основанного на первичной обработке плодов томатов раствором лимонной кислоты с получением сухого продукта с мягкой, гибкой структурой, ускорением молекулярного движения капли жидкости во внутреннем слое изделия и выделении влаги с поверхности.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что в результате применения режима предварительной импульсной ИК-термообработки и эффективного использования энергии ИК-лучей в диапазоне длины волн $2,4 \div 2,8$ мкм в режиме непрерывной сушки интенсифицируется процесс в $1,3 \div 1,5$ раза, повышается энергетической эффективности сушильной установки, получается гибкий сухие томаты с мягкой структурой и сохранением активных веществ.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов по совершенствованию процесса и оборудования для низкотемпературной сушки томатной продукции:

разработанная полупромышленная сушильная установка для низкотемпературной сушки высоковлажного сырья внедрена на совместном узбекско - казахском предприятии “Gala River” (*справка Ассоциации пищевой промышленности Узбекистана № 02-13/02-24 от 2 февраля 2024 г.*). В результате получены сушеные продукты с мягкой и гибкой структурой с длительными сроками хранения;

устройства для сушки плодов томатов при низкой температуре в диапазоне оптимальной длины волн спектра излучений внедрены на предприятиях ООО «LIVADIYA-BUKHARA» (*справка Ассоциации пищевой промышленности Узбекистана № 02-13/02-24 от 2 февраля 2024 г.*). В результате при загрузке продукта - $9,5 \div 10,2$ кг/м² на единицу площади для удаления 1 кг влаги израсходовано - 0,56 кВт/ч, для получения 1 кг готового сухого продукта - 0,49 кВт/ч энергии, что позволило повысить энергоэффективность в $1,2 \div 1,5$ раза.

Апробация результатов исследования. Теоретические и практические результаты исследования обсуждены на 4 международных и 2 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследований. По теме диссертации опубликовано 14 научных работ, из них 4 статьи опубликованы в научных изданиях, рекомендованных ВАК Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций (PhD), 2—в зарубежных и 2—в республиканских журналах. Получено 3 сертификата Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан на «Программу, для электронных вычислительных машин».

Объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Основной объем диссертации составляет 120 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, цели и задачи исследований, объекты и предмет исследований, показаны соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, обзор зарубежных и республиканских научных исследований по теме диссертации и степени изученности проблемы. Изложены научная новизна и практические результаты, раскрыты научная и практическая значимость исследования, приведены результаты внедрения разработок в производство, а также сведения об опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Тенденции развития теории и практики процессов переработки томатных продуктов**» критически проанализированы особенности процесса сушки плодов сельскохозяйственных культур, произведён анализ выращиваемых сортов томата, изучены физико-химические и теплофизические свойства и строение плодов томатов. Проанализированы закономерности тепло – и массообмена, теоретические основы математического моделирования процесса сушки. На основе глубокого исследования и патентной информации, обоснованы недостатки и преимущества существующих устройств и способов сушки.

Во второй главе диссертации «**Экспериментальное исследование процесса сушки плодов томатов**» приведены результаты анализа процесса

сушки, разработан план эксперимента, методы обработки полученных результатов, описаны конструкции экспериментальной установки и принцип её работы. Проведены исследования по определению влажности разных сортов плодов томатов. Изучены кинетические закономерности процесса сушки и гигроскопические свойства томата продуктов. Разработанная сушильная установка (рис.1) состоит из корпуса 1, внутренняя поверхность рабочей камеры снабжена отражателем 2. Для эффективного использования тепла теплоносителей пространство корпуса сушильной камеры снабжено изоляционным материалом 3, для подвода сухого воздуха предусмотрен патрубок 4. Для перемещения сетчатых поддонов в сушильной камере в противоположных боковых сторонах внутренней поверхности рабочей камеры на расстоянии 250 мм приварены направляющие механизмы 5. Сетчатые поддоны 6 размещены на каждой паре направляющих. Число сетчатых поддонов в сушильной камере 6 шт. В зависимости от массы загружаемого продукта на каждый сетчатый поддон поместится 7÷10 кг разрезанных плодов томатов. Образцы среднего размера с диаметром 65÷70 мм, массой 94÷105 г, форма среза круглая, толщина 4 мм составляет 7 кг; форма среза полумесяц, радиусом 33÷37 мм, с толщиной внешней поверхности 8 мм, доля погружаемого продукта на сетчатый поддон составляет 9÷10 кг. Сушильная установка оснащена блоком излучателей 7, работающих в двух различных диапазонах длины волн. В процессе сушки для обеспечения циркуляции воздуха служат шибер 8 и отвода отработанного воздуха - патрубок 9. Сушильная установка снабжена автоматическим пультом управления 10 для автоматического контроля технологического процесса, включая изменение температуры продукта, потока воздуха при входе и выходе, а также относительную влажность воздуха.

Исходную влажность плодов томатов, как объектов исследования, определяли с помощью современного электронного влагомера типа Sartorius MA35 (Рис.2).

Были отобраны Волгоградский и Ташкентский сорта томатов выращиваемые на открытой площадке. Экспериментальные испытания проводили при температуре 130 °С в течение 30 минут, изменение влажности продукта за единицу времени в долях представлено на рисунке 3.

Анализ динамики изменения влажности исследуемых плодов томатов (рис.3) показал, что в последние 5 минут данный показатель практически не изменился. Масса продукта от начального значения 5,00 г при влажности 94,3 % снизилась до 0,285 г

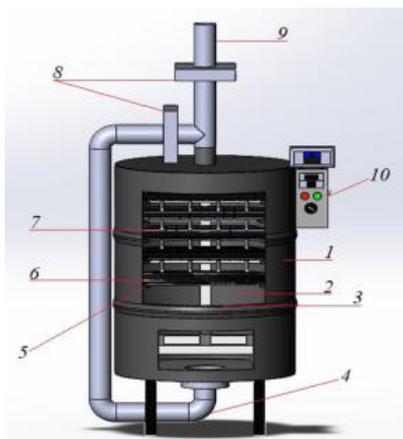


Рисунок 1- Экспериментальная установка процесса сушки плодов томатов: 1- корпус; 2-отражатель; 3-изоляционный слой; 4-потрубок для приёма воздуха; 5-механизм для передвижения сетчатого поддона; 6-сеточный поддон; 7-блок излучателей; 8-шибер; 9-патрубок для удаления влажного воздуха; 10-пульт управления.



Рисунок 2 - Электронное автоматическое устройство Sartorius MA35 для измерения влажности плодов томатов.

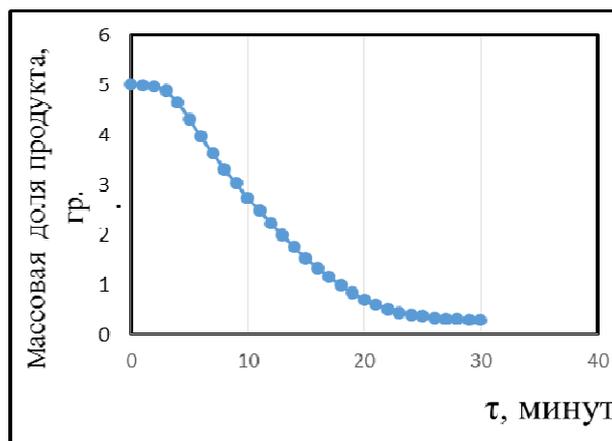


Рисунок 3 – Динамика изменения массы плодов томатов за единицу времени в процессе сушки.

С целью определения значений факторов, влияющих на процесс сушки, разработан многофакторный план экспериментов $N=2^3$. По данному определены максимальные, минимальные, среднее значения, а также

диапазон изменения каждого воздействующего фактора. Минимальное значение z_i обозначаем как z_i^- , максимальное z_i^+ и среднее - z_i^0 (табл 1). Выражая кодированные x_i значение через переменные z_i получаем следующее уравнение:

$$x_i = \frac{z_i - z_i^0}{\lambda_i} \quad (1)$$

где: λ_i -интервал варьирования параметров.

Таблица -1

Таблица 1-Значение и кодирование влияющих факторов

Факторы	Верхний уровень, z_i^+	Нижний уровень, z_i^-	Средний уровень, z_i^0	Интервал варьирования, λ_i	Зависимость кодированной переменной от натуральной
z_1	1,2	0,8	1,0	0,2	$x_1 = \frac{z_1 - 1,0}{0,2}$
z_2	8	4	6	2	$x_2 = \frac{z_2 - 6}{2}$
z_3	9	3	6	3	$x_3 = \frac{z_3 - 6}{3}$

Таблица -2.

Граничные значения влияющих факторов

№	Параметры	$q, \frac{\kappa Bm}{M^3}$	X_1	$\delta, \text{мм}$	X_2	$\sigma, \text{кг/м}^2$	X_3
1	Верхний	1,2	+1	8	+1	9	+1
2	Нижний	0,8	-1	4	-1	3	-1
3	Средний	1,0	0	6	0	6	0

Плотность теплового потока - $q, \frac{\kappa Bm}{M^3}$ масса продукта на единицу площади - $\sigma, \text{кг/м}^2$; толщина слоя материала – $\delta, \text{мм}$.

Соответственно, среднее значение результатов эксперимента, определяется по формуле 2:

$$\bar{Y}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Y_{ji} \quad j = \bar{1}, \dots, n \quad (2)$$

Согласно законам распределённости определяли значение критической точки и степень свободы $n(m - 1)$, с заданным уровнем значимости α и

диапазоном двухсторонних граничных значений критической точки, среднеквадратичное ограничение коэффициентов, определили по уравнению 3:

$$S_{\text{коэф}} = \sqrt{\frac{S_y^2}{n \cdot m}} \quad (3)$$

Неоднократная повторяемость экспериментов характеризуется погрешностью всего эксперимента. Дисперсность близких, параллельных и повторяющихся результатов на этапе проведения эксперимента определяется по формуле 4:

$$S_y^2 = \frac{1}{n(m-1)} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (y_{ji} - \bar{y}_j)^2 \quad S_i^2 = \frac{\sum_{u=1}^n (Y_{iu} - \bar{Y}_i)^2}{n-1} \quad (4)$$

где: n - количество проведенных экспериментов; m – количество испытаний (наблюдений), выполненных для каждого эксперимента.

Получено уравнение регрессии, адекватно описывающее процесс сушки плодов томатов (5):

$$\hat{y} = 9,37 - 0,05x_1 - 1,65x_2 - 0,05x_3 - 1,175x_1x_2 - 0,625x_2x_3 + 1,025x_1x_3 - 0,65x_1x_2x_3 = 6,195 \quad (5)$$

Соответствующему уровню значимости $K_1 = n - r = 8 - 6 = 2$ и $K_2 = n(m - 1) = 8 \cdot 2 = 16$ и степенью свободы $\alpha = 0,05$, соответствует критерию критических точек распределения Фишера табличный $F_{таб} = 7,81$. Следовательно, уравнение (5) адекватно по условию $F_{рас} = 5,92 < F_{таб} = 7,81$. Экспериментально проанализирован процесс сушки плодов томатов сортов «Аламинго», «Султан», «Модерна» и «Ташкент».

Для исследования кинетики сушки данного сырья были отобраны образцы с различной толщиной ($\delta = 8$ мм, $\delta = 10$ мм, $\delta = 15$ мм) и исходной влажностью 94÷95 % и получены графики, описывающие изменения влажности продукта за единицу времени (рис.4). Полученные результаты показали, что в течении 7 минут, то есть в период нагрева, наблюдалось частичное изменение влажности исследуемого образца. Установлено, что у образцов толщиной 8 мм начальная влажность снизилась от 94,3 до 90,8 %; толщиной 10 мм – 91,3 %, а при толщине 15 мм - до 91,8 %.

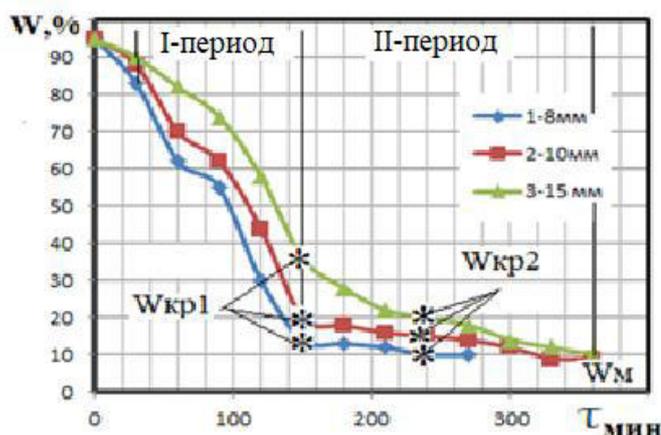


Рисунок 4 - Кривая сушки плодов томатов

Установлено, что в зоне постоянной скорости сушки (период I) наблюдалось ускорение скорости снижения влажности по прямолинейной зависимости, а в период снижения влажности по этому закону продолжался до первой

критической точки $\omega_{кр1}^c$. В зоне убывающей скорости сушки, т.е. во второй (период-II) период критическая скорость $\omega_{кр2}^c$ носит определенный характер, и в конце периода наблюдалось, что влажность продукта асимптотически приближалась к пределу равновесной влажности.

Экспериментальное исследование показало, что для образцов формой полумесяца с толщиной 8 мм время сушки составляет 270 минут, с толщиной 10 мм - 300 минут и толщиной 15 мм - время сушки увеличилось до 360 минут. Анализ кривой скорости сушки (рис.5) показал, что в I- периоде постоянной скорости $\omega_{кр1}^c$ сушки образцы имеющие толщину 8 мм в течении 1 минут выделяют 0,35 % влаги, а толщиной 10 мм - 0,28 % , 15 мм - 0,25 ÷ 0,26 % влага. В II-ом периоде $\omega_{кр2}^c$ убывающая скорость сушки у образца толщиной 8 мм равновесная влажность составляла 9 %, 10 мм – 11 %, 15 мм – 9 ÷ 11 %. Следовательно, во втором периоде испарение влаги из продукта замедляется, температура продукта частично повышается, а когда влажность достигает равновесное значение, испарение приближается к нулевому значению.

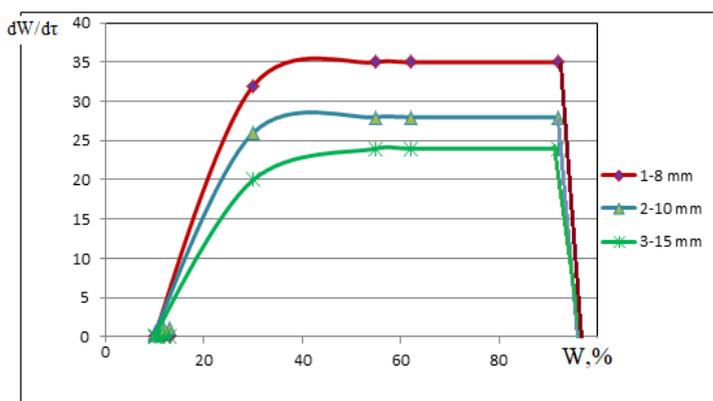


Рисунок 5 - Кривая скорости сушки нарезки - полумесяц; толщина основания: 1-8 мм; 2-10 мм; 3-15мм

По скорости сушки плодов томата (рис.6), круглой формы толщиной 4 ÷ 6 мм в (I) периоде время сушки по слоям материала составляет 230, 245 минут.

Однако, наблюдается повышение температуры и средняя температура по слоям продукта составляет 79 ÷ 84 °С (рис.7)

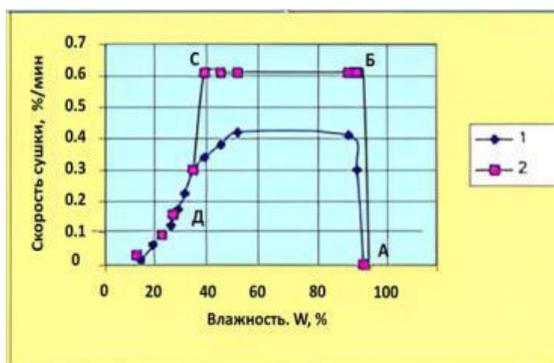


Рисунок 6. Кривая скорости сушки плодов томата форма образца круглая, толщиной: 1- 6 мм; 2- 4 мм

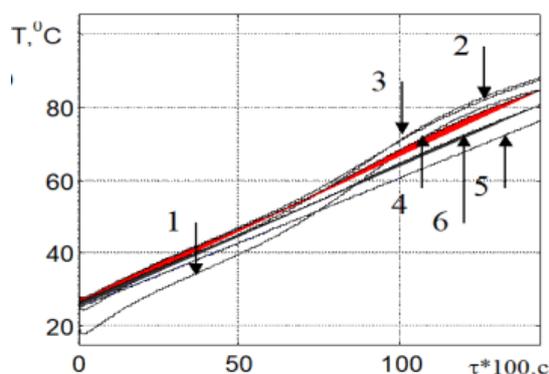


Рисунок 7. Кривые изменения температуры в различных слоях продукта

Результаты эксперимента обработаны методом математической статистики. При различных граничных значениях определены гигроскопические свойства относительной влажности воздуха. Полученные результаты показали, что при хранении 8 сортов сушеного томата при температурах $25 \div 28$ °С при относительной влажности воздуха $50 \div 60$ % а начальная и конечная степень гигроскопичности продукта не изменялась.

В третьей главе «**Теоретические основы математического моделирования процесса сушки плодов томатов**» описаны теоретические исследования, направленные на определение основных закономерностей тепло –и массообмена, протекающих в процессе сушки плодов томатов, а также граничных значений влияющих параметров. Приведены математические выражения, описывающие изменение влажности и температуры продукта в процессе сушки, количества энергии создаваемой теплоносителем.

На основе экспериментальных и теоретических исследований получены результаты по определению изменения влажности и температуры исследуемых образцов, а также траектории движения потока теплоносителя и относительные затраты энергии в процессе сушки. Усовершенствованная модель предлагаемого сушильного аппарата снабжена механизмом, обеспечивающим зигзагообразное направление движения потока теплоносителя. На боковой стороне сетчатых поддонов, прикреплённых к основанию, предусмотрены полусферические канавки. Это, в свою очередь, обеспечивает равномерное распределение теплоносителя (воздуха) между поддонами, исходя этого обеспечивается равномерное выделение влаги по всей поверхности высушиваемого продукта. На рис.8 изображены результаты, характеризующие изменение влажности продукта, размещенного на сетчатых поддонах сушильной камеры, в зависимости от времени сушки и скорости теплоносителя.

Как видно из графика что, за первые 60 минут в процессе сушки удаляемая влага от продуктов размещенных на 1-ом поддоне, составляла 28,5 %, на 2-ом поддоне - 27,6 %, на 3-ем поддоне 26,2 %.

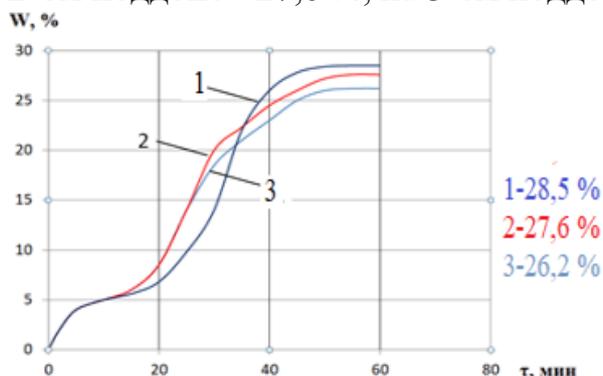


Рисунок -8. Количество выделяющейся влаги из продукта, размещённого на поддонах в единицу времени
Наличие полусферических канавок по боковым сторонам сетчатого поддона размещенные в сушильной камере, также способствует

равномерному удалению влажного воздуха, выделяющегося от продукта и между поддонами. То есть разница в скоростях потока теплоносителя

(воздуха) в начальной и конечной точках была практически одинакова и составляла $0,25 \div 0,3$ м/с.

Изменение температуры продукта в процессе сушки:

$$t_m = G_{нач.пр} \cdot C_{нач.пр} \cdot t_{нач.пр} + G_{нач.воз} \cdot C_{нач.воз} \cdot t_{нач.воз} + q / (G_{кон.пр} \cdot C_{кон.пр} \cdot G_{кон.воз} + W_{общ}) \quad (6)$$

Блок вычисления уравнений в пакете программ MATLAB (рис.9).

Равновесная влажность плодов томатов зависит от времени их нагрева, температуры и количества образовавшегося тепла в различных периодах сушки.

Соответственно, на основе математического моделирования были определены постоянные времени нагрева плодов в различных периодах сушки.

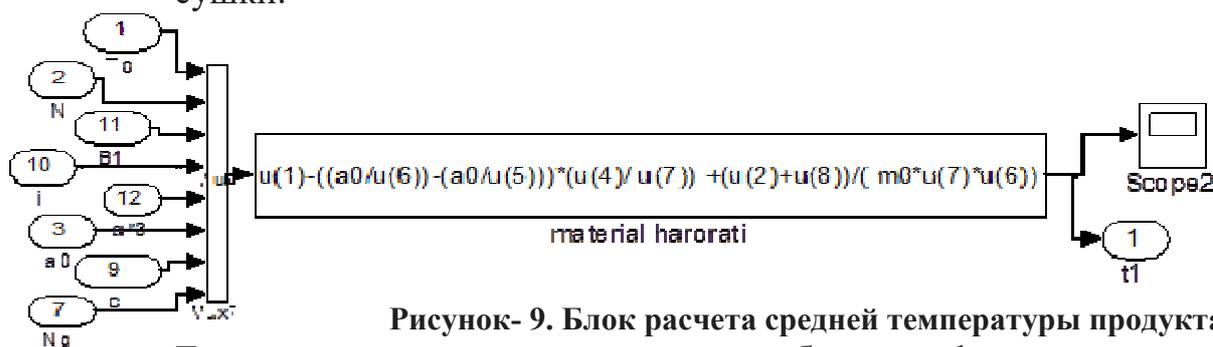


Рисунок- 9. Блок расчета средней температуры продукта.

Так как в начальном периоде сушки образцы в форме полумесяца с толщиной у основания 8 мм процесс нагрева составлял $10 \div 14$ минут, в период постоянной скорости сушки – $114 \div 120$ минут, падающей скорости сушки - 136 минут. Среднее время нагрева продукта до равновесной влажности составляло $260 \div 270$ минут. Исходя этого, в процессе сушки были получены результаты по изменению температуры по слоям и расхода удельной энергии на 1 кг высушенного продукта. Результаты проведенных исследований и полученных соответствующих уравнений показали, что энергопотребление, температура и конечная влажность зависят от уровня загрузки продукта в сушильное устройство, а также от скорости воздуха, подаваемого в сушильную камеру.

Как видно из графика (рис. 10), при расположенности излучателей от продукта на высоте $180 \div 200$ мм и от друг друга $100 \div 120$ мм с длиной волны $2,4 \div 2,8$ мкм, динамика изменения температуры имеет вид выпуклой формы.

Температура в центральных зонах продукта составляла $57 \div 58,8$ °С, причем незначительное снижение температуры наблюдалось на участках с левой и правой стороны по оси симметрии.

При высоте излучателей от продукта 50, 100, 150 мм в течение всего цикла процесса сушки изменения температуры в центральной зоне продукта составляло в пределах $68 \div 78$ °С. Однако, при установлении излучателей от высушиваемого продукта на высоте $180 \div 220$ мм разность температуры по слоям продукта составляет 7 °С, а диапазон изменения температуры от $55 \div 62$ °С (рис.11).

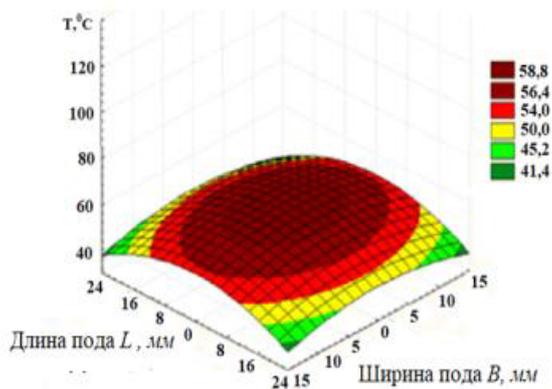


Рисунок-10. Температурное поле при сушке плода томата

$$t = 54,3348 + 21,33 \cdot b - 15,72 \cdot b^2 - 0,69 \cdot a^2$$

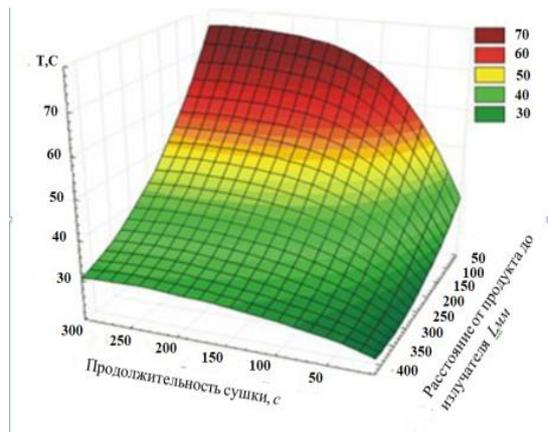


Рисунок 11. График зависимости изменения температуры продукта от расстояния излуча телей по всему циклу процесса сушки

Математическая модель процесса сушки плодов томатов: по скорости распределения температуры и влаги:

- скорость распределения температуры и влаги на поверхности продукта:

$$\frac{dt_{нов}}{d\tau} = \frac{\left[q + \alpha \cdot F_s \cdot (t_6 - t_1) - \frac{\lambda \cdot F_s}{\Delta h} \cdot (t_1 - t_2) \right]}{m \cdot c}$$

$$\frac{dX_{нов}}{d\tau} = \frac{(-\beta \cdot F_s \cdot (X_k - X_p) + KDt \cdot F_s / dh \cdot (X_1 - X_{кон}))}{m}; \quad (7)$$

- скорость распределения температуры и влаги в исходном (первом) слое продукта:

$$\frac{dt_1}{d\tau} = \frac{\left[q_1 + \alpha \cdot F_s \cdot (t_6 - t_1) - \frac{\lambda \cdot F_s}{\Delta h} \cdot (t_1 - t_2) \right]}{m \cdot c} - G \cdot it$$

$$\frac{dX_1}{d\tau} = \frac{(-\beta \cdot F_s \cdot (X_1 - X_p) + KDt \cdot (X_2 - X_1))}{m} \cdot (1 - X_1)^2; \quad (8)$$

- скорость распределения температуры и влаги в среднем $i+1$ слое продукта:

$$\frac{dt_i}{d\tau} = \frac{\left[q_i - \frac{\lambda \cdot F_s}{dh} \cdot (t_{i-1} - 2t_i + t_{i+1}) \right]}{m \cdot c}$$

$$\frac{dX_i}{d\tau} = \frac{(KDt \cdot F_s / dh \cdot (X_{i-1} - 2X_i + X_{i+1}))}{m}; \quad (9)$$

- скорость распределения температуры и влаги в нижнем слое продукта:

$$\frac{dt_{.5}}{d\tau} = \frac{\left[q_5 - \frac{\lambda \cdot F_s}{dh} \cdot (t_4 - t_5) - \alpha_n \cdot F_n \cdot (t_5 - t_n) \right]}{m \cdot c}$$

$$\frac{dX_5}{d\tau} = \frac{KDt \cdot (X_{i+1} - X_5)}{m} \cdot (1 - X_5)^2. \quad (10)$$

На основе математического моделирования и путем обработки дифференциальных уравнений по программе MATLAB, получены зависимости изменения влажности и температуры по слоям исследуемого объекта в зоне предварительной обработки (импульсном режиме) (рис.12) и в зоне непрерывной сушки (рис.13 и 14).

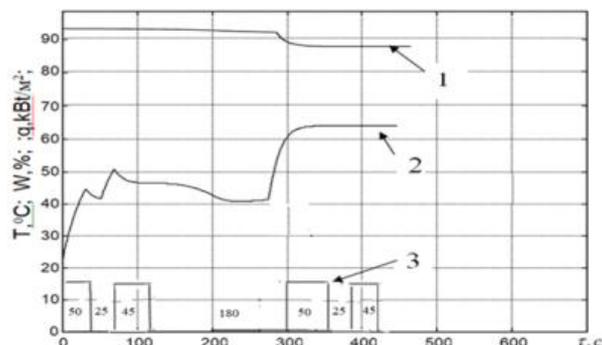


Рисунок 12. График изменения в единицу времени влажности (1), температуры (2) и плотности теплового потока (3) при импульсной обработке плодов томата

Из графика (рис.12) видно, что количество выделившейся влаги из продукта за полный цикл 420 сек.в импульсном режиме обработки составляла $3 \div 3,5 \%$ (1), на первом этапе облучения в течении 50 сек температура продукта составляет 43°C , на втором этапе в течении 45 сек – 51°C , а третьем этапе облучения 50 сек и на четвертой этапе 45 сек – $62 \div 63^{\circ}\text{C}$ (2). Аналогичная зависимость установлена и для изменения плотности теплового потока в зоне предварительной обработки (3). Продолжительность предварительной обработки является основным фактором для обеспечения низкотемпературного режима в этапе импульсной обработки.

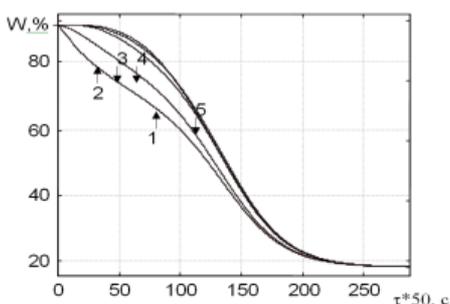


Рисунок 13. Кривая изменения влажности в единицу времени по слоям

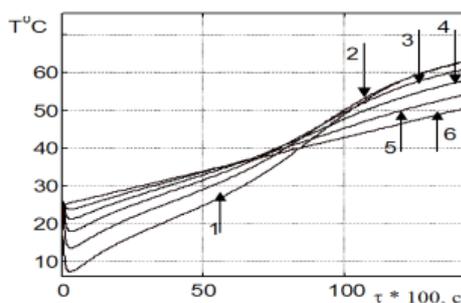


Рисунок 14. Кривая изменения температуры в единицу времени по слоям продукта

Как видно из графика (рис.13), влажность продукта по слоям толщиной 10 мм, разрезанного полумесяцем, в I периоде процесса сушки в определенной степени между слоям не имеет практической разницы, во II периоде сушки влага выделяется из каждого слоя с одинаковой скоростью, и можно наблюдать процесс закономерного высухания продукта. Если интерпретировать результаты изменения температуры в слоях, то на $120 \div 130$ мин. процесса сушки температура в слоях составляла – $39 \div 45^{\circ}\text{C}$, а на последних $240 \div 270$ минутах – $55 \div 62^{\circ}\text{C}$ (рис.14). Поэтому осуществление

процесса сушки томатов в указанном диапазоне температуры является наиболее приемлемым.

Анализ процесса тепло- и массообмена в области сушки показал, что между газовой и твёрдой системой фазовый переход происходит в результате изменения температуры и влаги, а также за счёт поглощения излучаемой энергии в слоях твердой фазы

В четвертой главе «**Оптимизация процесса сушки плодов томатов и экономические показатели технологического процесса**» представлены этапы решения задачи, критерии оптимизации, расход энергии высушиваемого продукта и экономические показатели сушильной технологической линии. По результатам теоретических и экспериментальных исследований определили, что в процессе низкотемпературной сушки одним из основных факторов является количество энергии, затрачиваемое на удаление 1 кг влаги и получение 1 кг сухого продукта. Анализы показали, что в процессе сушки затраты энергии зависят от загружаемой массы продукта на сетчатый поддон. Соответственно были определены затраты энергии на разные единицы массы продукта и получены соответствующие результаты (рис.15).

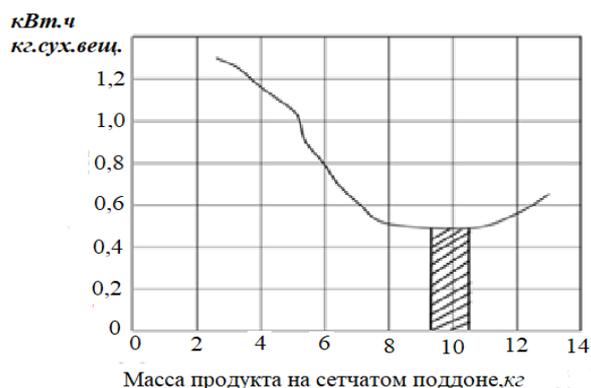


Рисунок 15-Кривая зависимости затрат энергии от массы продукта, загружаемого в камеру сушиллки.

Из графика (рис.15) видно, что потребление энергии снижается в пределах определенного граничного значения массы продукта на единицу поверхности сетчатого пода. При этом в отдельных граничных значениях наблюдается увеличение потребляемой энергии, но до определенного предела. Например, при массе продукта на единицу площади $9,5 \div 10,2$ кг/м² для удаления 1 кг влаги расход энергии составлял - 0,56 кВт/ч, для получения 1 кг готового сухого продукта - 0,49 кВт/ч. Более оптимальные значения по массе загружаемого продукта в предлагаемой сушилке составляют $9,5 \div 10,2$ кг/м² (рис. 15). Задача оптимизации процесса сушки томатов направлена на минимизацию технологических затрати выполнение условий по производительности сушильной установки и качеству высушенного продукта. Исходя этого, важными факторами сушки томата при низкой температуре являются следующие: плотность теплового потока на единицу площади $E_n = 1,2 \div 1,5$ кВт/м²; продолжительность излучения

$\tau_{обл} = 190$ сек; время отлёжки $\tau_{отл} = 230$ сек; толщина материала δ мм; скорость сушильного агента $\mathcal{G}_B = 1,9 \div 2,1$ м/с.

На основе исследований установлено, что качество ($C \rightarrow \max$), изменение температуры ($T \rightarrow \min$) и градиент влаги $\frac{dw}{dh} \rightarrow \min$ в процессе сушки зависят от коэффициента диффузии. Разработана соответствующая иерархическая структура оптимизации, описывающая оптимальные значения основных факторов, влияющих на изменение коэффициента диффузии $D = f(W_n, W_k)$. Установлено, что температура процесса сушки выше $74 \div 76$ °С приводит к изменению биологически активных веществ, в связи с чем снижается пищевая ценность высушиваемого продукта. Наиболее высокий показатель качества установлен в диапазоне температур $40 \div 45$ °С. Однако, с экономической точки зрения, учитывая затраты энергии на испарение влаги и продолжительность процесса, температуру сушки томатов целесообразно поддерживать в пределах $58 \div 62$ °С.

Проведены опытно-промышленные испытания по сушке томатов, нарезанных с различной толщиной, в производственных условиях СП “Gala River” и ООО “LIVADIYA-BUKHARA”.

С целью повышения эффективности применения опытно-экспериментальной установки в производстве были выбраны оптимальные режима сушки и нетрадиционный способ подвода энергии, позволяющий сохранить мягкую структуру и высокую эластичность сушёного продукта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана экспериментальная установка для осуществления процесса сушки томатов различных сортов с различной структурой, оснащенная автоматической системой контроля и управления технологическими параметрами.

2. Предложен способ сушки, основанный на принципе непрерывной работы блока ИК-излучателей, рассчитанных на импульсную обработку на длине волны $0,75 \div 1,1$ мкм, ускоряющее молекулярное перемещение капель жидкости во внутреннем слое продукта и их перемещение по поверхности, и керамических излучателей, работающих на длине волны $2,4 \div 2,8$ мкм, которые обладают высокой способностью поглощать жидкость.

3. Изучена начальная и равновесная влажность сушеных плодов томата с помощью современного электронного влагомера типа Sartorius MA35 и определено, что количество семян по отношению к ядру составило $3,3 \div 4,1\%$, абсолютная влажность плодов томата составила $1654 \div 1860\%$ от абсолютно сухого вещества, относительная влажность воздуха – $94,3 \div 94,9\%$, содержание сухого вещества – $5,1 \div 5,7\%$.

4. На основе многофакторного плана эксперимента определены предельные значения основных параметров и построены графики, характеризующие динамику изменения скорости сушки томатов.

5. Разработана регрессионная модель, в соответствии с критерием Стьюдента определены значимые и незначимые коэффициенты уравнения регрессии.

6. Обоснована адекватность экспериментальных и теоретических результатов, соответствие значения критерия степени свободы соответствующему уровню значимости по таблице критических точек распределения коэффициенту Фишера $F_{таб.} = 7,81$, $F_{расч.} = 5,92 < F_{таб.} = 7,81$.

7. Разработана математическая модель, описывающего изменения температуры и влажности по элементным слоям исследуемого объекта.

8. Обосновано, что в рекомендуемом методе сушки для удаления 1 кг влаги из материала расход энергии составляет - 0,56 кВт/ч, для получения 1 кг сухого продукта - 0,49 кВт/ч.

9. Проведены опытно-промышленные испытания в производственных условиях в Узбекско-Казахского СП “Gala River” и ООО “LIVADIYA-BUKHARA”. По результатам испытаний предлагаемая сушильная установка малой мощности для сушки томатов признана высокоэффективной с точки зрения энергопотребления.

Эффективность внедрения представленных разработок заключается в обосновании оптимального режима сушки с минимальным энергопотреблением для достижения максимального выпуска сушеного продукта (в данном случае томатов) и сохранения в нём биологически активных веществ.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.03/28.02.2022.T.101.01 ON AWARDING
SCIENTIFIC DEGREES AT BUKHARA ENGINEERING -
TECHNOLOGICAL INSTITUTE**

BUKHARA ENGINEERING-TECHNOLOGY INSTITUTE

RASULOV SHUKHRAT

**Improving the process and apparatus for drying tomato products at low
temperatures**

02.00.16 – Processes and apparatus of chemical technologies and food production

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

Bukhara–2025

The theme of the dissertation of the Doctor of Philosophy (PhD) was registered under No.B2022.3.PhD/T3040 by the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher education, science and innovations of the Republic of Uzbekistan.

The dissertation has been accomplished at Bukhara Engineering - Technological Institute.

The dissertation abstract in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) has been placed on the website of Scientific Council (www.buxmti.uz) and on the Information-Educational portal "ZiyoNET" (www.ziynet.uz).

Scientific advisor:

Djuraev Khayrullo Fayzievich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Official opponents:

Nurmukhamedov Khabibulla Sagdullaevich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Safarov Jasur Esirgapovich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Leading organization:

Navoi State University of Mining and Technologies

The dissertation defense will be held on May 23, 2025 at 09⁰⁰ o'clock at a meeting of the Scientific Council DSc.03/28.02.2022.T.101.01 at Bukhara Engineering-Technological Institute. (Address: 100118, 15. Qayum Murtazaev street, Bukhara. Phone: (+99865) 223-78-84; fax: (+99865) 223-79-72, e-mail: bmti_info@edu.uz)

The dissertation is available at the Information resource center of Bukhara Engineering Technological Institute (registered under the number № 350). (Address: 100118, 15. Qayum Murtazaev street, Bukhara. Phone: (+99865) 223-78-84).

The dissertation abstract is distributed on May 12, 2025.

(Mailing report № 1 on March 24, 2025)



S.F. Fozilov
Chairman of the Scientific Council on awarding scientific degrees, Doctor of Technical Sciences, Professor

A.T. Oltiev
Scientific Secretary of the Scientific Council for awarding the scientific degree, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

I.B. Isabaev
Chairman of the Scientific Seminar for the awarding scientific of Academic Degrees, Doctor of Technical Sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research is consist of improving the process and equipment of energy-saving tomato fruit drying based on the application of low-temperature method.

The object of the research is a process and device for drying tomatoes, fruits and vegetables grown in the open field, in greenhouses.

The scientific novelty of dissertational research is as follows:

an experimental test device based on the control and automatic control system of the technological parameters in the drying process was developed;

in the acceleration of the molecular movement of liquid droplets in the inner layer of the tomato fruit, the initial pulse processing mode of IR light in the wavelength range of $\lambda = 0.75 \div 1.1 \mu\text{m}$ (+50-25+45-180+50-25+45), product continuous drying modes in the wavelength range of $\lambda = 2.4 \div 2.8 \mu\text{m}$ are based on accelerating the release of moisture on the surface;

the texture is soft and flexible, the process of drying tomato fruit in 10% citric acid solution for 20 minutes, soaking for 10 minutes and low temperature (58÷62 °C) heat regime is experimentally based;

By using a mechanism that ensures equal distribution of hot air flow to the product in the drying chamber, energy costs are reduced, and 0.56 kW/h is used to remove 1 kg of moisture from the product, and 0.49 for 1 kg of finished dry product. based on kWh energy consumption;

a mathematical model representing the temperature and humidity changes in product layers during the preliminary treatment and drying process was developed, and an energy-efficient drying process and device were improved based on mathematical modeling and optimal modes of the drying process.

Implementation of research results. Based on the scientific results obtained on the topic “Improving the process and apparatus for drying tomato products at low temperatures”: at the joint Uzbek-Kazakh enterprise “Gala River”, an installation for drying tomato products at low temperatures was introduced (*certificate of the Union of Food Industry of Uzbekistan dated February 2, 2024 No. 02-13/02-24*). As a result, using an improved drying method, dried tomato fruits with high elastic properties and a long shelf life were developed;

LIVADIYA BUKHARA LLC has introduced a technological device designed for low-temperature drying of tomato products in the permissible wavelength range of the infrared lamp spectrum (*certificate of the Union of Food Industry of Uzbekistan No. 02-13/02-24 dated February 2, 2024*). As a result, it was found that 0.56 kWh of energy is consumed to remove 1 kg of moisture from a product with a product mass per unit area of 9.5÷10.2 kg/m², and 0.49 kWh is consumed to remove 1 kg of finished dry product.

The structure and scope of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, general conclusions, a list of references and applications. The volume of the dissertation is 120 pages.

E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLICATIONS

I бўлим (I chast; part I)

1.Rasulov Sh.X.,Djurayev X.F., Adizova M.R. Fundamentals of Kinetiks of Tomato Drying Process. Eurasian Research Bulletin In volume 6 of March, -2022 Genius Journals Publishing, Group, Brussels Belgium – P.26-30. (Journal of impact factor: 8.105)

2.Джураев Х.Ф., Расулов Ш.Х.,Абидов К.З., Усмонов А. Энергосберегающая технология сушки томатного сырья, UNIVERSUM. Технические науки -№9 (102) Часть 3 Москва: -2022.-С.15-18. (02.00.00; №1)

3.Расулов Ш.Х., Джураев Х.Ф., Увайзов С.К., Мизомов М.С., Файзиев А.Х. Разработка оптимального механизма перемещения тепло и массоперенос в процессе сушки. Научно – технический журнал Ферганского политехнического института. Том 27. -№5 Фергана: -2023.-С.118-125. (02.00.00; №17)

4.Sh.Rasulov., Kh.Djuraev., A.Usmanov., M.Khalikov. Kinetics of drying process of tomato fruit. Manufacturing technology problems Scientific and Technical Journal Namangan Institute of Engineering and Technilogy. ISSN 2181-8622 -Volume -8 Issue 4 -2023 – P.240-247. (02.00.00; №18)

II бўлим (II chast; part II)

5.Shukhrat Rasulov, Askar Artikov, Kamiljan Abidov and Khayrullo Djuraev. Development of the installation and experimental research of the patterns of change in influencing factors in the process of tomato drying. IV international conference on applied physics, information technologies and engineering apitech-IV -2022 participated in the IV International Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering (Apitech-IV 2022) on October 6-8, Journal of Physics: Conference Series -2022. Bukhara, Uzbekistan. – P.1-8.

6.Shukhrat Rasulov, Khayrullo Djuraev, Kamildjan Abidov, Akhtam Usmanov and Amirulla Fayziev. Experimental research of the low-temperature drying process of tomato. IV international conference on applied physics, information technologies and engineering apitech-IV -2022 participated in the IV International Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering (Apitech-IV 2022) on October 6-8, Journal of Physics: Conference Series -2022. Bukhara, Uzbekistan. – P.1-7.

7.Джураев Х.Ф., Расулов Ш.Х. Технология сушки томатного сырья и ее физико-химические свойства. Сборник материалов II международной научно-

технической конференции. Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в сельском хозяйстве, пищевой отрасли. -Ташкент: -2022 -С.-336-337.

8.Расулов Ш.Х., Абидов К.З. Цилиндрик типдаги курилмада термолабил кишлок хўжалиги маҳсулотларини қуритиш самарадорлигини аниқлаш. Zamonaviy mashinasozlikda innovatsion texnologiyalarni qo'llashning ilmiy asoslari: tajriba va istiqbollar mavzusida xalqaro miqyosida ilmiy-amaliy anjumani materiallari IV-qism -Namangan: -2022. -76-79- b.

9.Расулов Ш.Х., Абидов К.З. Юқори намликга эга бўлган кишлок хўжалик маҳсулотларини инфрақизил нурланиш таъсирида қуритиш технологияси. Замонавий кимёвий ва физикавий технологияларда парадигмалар: анъаналар ва инновацион ёндашувларни ўзаро таъсири халқаро илмий-техникавий анжумани материаллари. Янгиер: -2022. -176-177- б.

10.Rasulov Sh.X., Ergashev B.T. Physico-chemical simulation of the process of drying vegetables of local production. Amaliy matematika va axborot texnologiyalarining zamonaviy muammolari. Xalqaro ilmiy-amaliy anjumani materiallari. -Buxoro: -2022. 264-265-b.

11.Расулов Ш.Х., Абидов К.З. Исследование химического состава помидора сушеного инфракрасным излучением. Сборник материалов республиканской научно-практической конференции. Химия и проблемы химического образования. -Коканд: -2022. -С. -235-237

12.Расулов Ш.Х., Джураев Х.Ф., Усмонов А.У., Расулов Д.Ш. Маҳаллий кишлок хўжалик маҳсулотларини қуритиш жараёнининг истиқболлари. Саноат инжинирингида инновацион ечимлар мавзусида халқаро илмий-амалий анжумани материаллари (2023 йил, 24-25 ноябр) -Бухоро: -2023. -135-136-б.

13.Расулов Ш.Х., Джураев Х.Ф., Усмонов А.У., Расулов Д.Ш. Ўсимлик хом-ашёларини қуритиш жараёнини жадаллаштиришда иссиқлик агентининг роли. Yangi o'zbekistonda ilm fanning so'nggi yutuqlari mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjumani materiallari. -Buxoro:-2023. 294-297-b.

14.Джураев Х.Ф. Усмонов А.У. Расулов Ш.Х. Файзиев А.Х. Томат мевасини паст ҳароратда қуритиш жараёнини тадқиқ қилиш. Sanoat tarmoqlarida texnologik jarayon va qurilmalarning dolzarb masalalari va uning istiqbollari mavzusidagi xalqaro ilmiy – amaliy anjumani materiallari. KTJQ. -Toshkent:-2024. 135-140-b.

Avtoreferatning o'zbek, rus va ingliz tilidagi matnlari
"IPAKYO'LI" nashriyotida tahrirdan o'tqizildi.



Bosishga ruxsat etildi: 29.04.2025.

Qog'oz bichimi 60x84 1/16.

Temes New Roman garniturasida chop etildi.

Hajmi 3 bosma taboq. Adadi 100 nusxa. Buyurtma № 351.

"West Media Express" MCHJ bosmaxonasida chop etildi.

Bosmaxona manzili: Buxoro shahri,

Qayum Murtazoyev ko'chasi 15A uy.

Tel: +998 93 080 39 00

