

**TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.13/05.05.2023.T.07.03 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

QARSHI DAVLAT UNIVERSITETI

PIROVA RASHIDA QUDRATOVNA

**TEZ BUZILUVCHI QISHLOQ XO‘JALIK MAHSULOTLARINI
SAQLASH MIKROIQLIMINI MOSLASHUVCHAN BOSHQARUV
TIZIMINING ADAPTIV MODELLARI**

05.01.02 – Tizimli tahlil, boshqaruv va axborotni qayta ishlash

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2024

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

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
по техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)
in technical sciences**

Pirova Rashida Qudratovna

Tez buziluvchi qishloq xo'jalik mahsulotlarini saqlash mikroiklimini moslashuvchan boshqaruv tizimining adaptiv modellari 3

Пирова Рашида Кудратовна

Адаптивные модели гибконастраиваемой системы управления микроклиматом хранения скоропортящихся сельхозпродуктов 21

Pirova Rashida Kudratovna

Adaptive models of a flexible microclimate control system for storing perishable agricultural products..... 41

E'lon qilingan ishlar ro'uxati

Список опубликованных работ

List of published works 45

**TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSC.13/05.05.2023.T.07.03 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

QARSHI DAVLAT UNIVERSITETI

PIROVA RASHIDA QUDRATOVNA

**TEZ BUZILUVCHI QISHLOQ XO‘JALIK MAHSULOTLARINI
SAQLASH MIKROIQLIMINI MOSLASHUVCHAN BOSHQARUV
TIZIMINING ADAPTIV MODELLARI**

05.01.02 – Tizimli tahlil, boshqaruv va axborotni qayta ishlash

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

Toshkent – 2024

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2019.4.PhD/T907 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Qarshi davlat universitetida bajarilgan.

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

Ilmiy rahbar:

Yakubov Sabir Xalmuradovich
texnika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Sevinov Jasur Usmonovich
texnika fanlari doktori, professor

Doshanova Malika Yuldashovna
texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Yetakchi tashkilot:

Termiz davlat universiteti

Dissertatsiya himoyasi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti huzuridagi DSs. 13/05.05.2023.T.07.03 raqamli Ilmiy kengashning 2024-yil "____" _____ soat ____ dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100084, Toshkent shahri, Amir Temur ko'chasi, 108-uy. Tel.:(99871) 238-64-43, e-mail: ilmiy_kengash@tuit.uz).

Dissertatsiya bilan Toshkent axborot texnologiyalari universiteti Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (____ raqam bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 100084, Toshkent shahri, Amir Temur ko'chasi, 108-uy. Tel.: (99871) 238-64-70).

Dissertatsiya avtoreferati 2024-yil "____" _____ kuni tarqatildi.
(2024-yil "____" _____ dagi _____ raqamli reyestr bayonnomasi).

M.M. Kamilov

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy
kengash raisi, texnika fanlari doktori,
professor, O'zR FA akademigi

N.A. Egamberdiyev

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy
kengash ilmiy kotibi, texnika fanlari
bo'yicha falsafa doktori (PhD)

N.O. Raximov

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash
qoshidagi ilmiy seminar raisi,
texnika fanlari doktori, dotsent

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusinig dolzarbligi va zarurati. Jahonda tez buziluvchi qishloq xo‘jalik mahsulotlarini saqlash mikroiklimini moslashuvchan boshqaruv tizimlarini takomillashtirishga alohida e‘tibor qaratilmoqda. Business Tech Talks tahlilchilari yetishtirilgan meva va sabzavotlar savdosi bo‘yicha so‘nggi tahlillarni hamda 2024-yildan 2031-yilgacha bo‘ladigan yangi o‘zgarishlarni keltirib o‘tdilar. Ularning statistik ma‘lumotlariga ko‘ra yetishtirilgan meva va sabzavotlarning global savdosi hajmi 2023-yilda 20 milliard AQSH dollariga yetganligi, kelgusida, “360 market updates” tahlili bo‘yicha 2028-yildan 2031-yilga borib, savdo aylanmasi hajmi 211,24 milliard AQSH dollarini tashkil etishini taxmin qilmoqda, bu esa 2024-2031-yillar davomida CAGR (Compound annual growth rate) – o‘rtacha yillik o‘sish sur‘ati bo‘yicha 5,18 foizni ko‘rsatadi¹. Shu boisdan yetishtirilgan meva va sabzavotlarni aholiga sifatli holatida yetkazish uchun ularni saqlash omborxonalarini tashkil etish hamda omborxonalarining mikroiklimini boshqaruvchi moslashuvchan tizimlarini modellashtirish va takomillashtirish muhim ahamiyat kasb etadi.

Jahonda tez buziluvchi qishloq xo‘jalik mahsulotlarini saqlash mikroiklimini moslashuvchan boshqaruv tizimlarini takomillashtirish, mahsulotlarning fizik xossalari va tarkibiga muvofiq ravishda ishlov berish omborxona harorat rejimini aniqlash, mahsulotlarni saqlash mikroiklimini ta‘minlashning matematik modeli, mahsulotlarni saqlash omborlari holat o‘zgaruvchilari uchun to‘liq tartibli kuzatuvchini baholash algoritmini ishlab chiqish, mikroiklimni o‘lchash qurilmalarini joylashtirishga yo‘naltirilgan ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Bu borada tez buziluvchi qishloq xo‘jalik mahsulotlarini saqlash mikroiklimini o‘ziga xos xususiyatlari, talablari, tamoyillari va mezonlariga asoslanib turli hajmlardagi sabzavotlar omborlarining harorat-namlik rejimlarini boshqarish tizimlarini funksional sintez qilish, mahsulotlarni saqlash omborlarida issiqlik va massa almashinuvi jarayonlarining matematik modelini yaratish, sabzavotlar omborlari harorat-namlik rejimini moslashuvchan boshqarish usulini ishlab chiqishni ilmiy asoslash zarur bo‘lmoqda.

Respublikamizda turli maqsadlarga mo‘ljallangan omborxonalarda turli tarkibli va xossalarga ega tez buziluvchi qishloq xo‘jalik mahsulotlarini saqlash mikroiklimini aniqlash, qishloq xo‘jalik mahsulotlarini saqlash jarayonining adaptiv modelini yaratish, mahsulotlarni saqlash omborlarining dinamik va statik xususiyatlarining analitik tahlillash jarayonlarini boshqarish usullarini ishlab chiqish yuzasidan keng qamrovli chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. 2022-2026 yillarga mo‘ljallangan yangi O‘zbekistonning Taraqqiyot strategiyasida, jumladan “... qishloq xo‘jaligini ilmiy asosda intensiv rivojlantirish orqali dehqon va fermerlar daromadini kamida 2 baravar oshirish, qishloq xo‘jaligining yillik o‘sishini kamida 5 foizga”² vazifalari belgilangan. Mazkur vazifalarni amalga oshirishda, jumladan,

¹ 2031 “Fresh Fruits and Vegetables Market Size” | Characteristics and Specifications. 19.01.2024.

<https://www.linkedin.com/pulse/2031-fresh-fruits-vegetables-market-size-characteristics-3qt3f/>

² 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 farmoni

tez buziluvchi qishloq xo‘jalik mahsulotlarini saqlash mikroiklimini moslashuvchan boshqaruv tizimlarini takomillashtirish, qishloq xo‘jalik mahsulotlarini saqlash mikroiklimini adaptiv modellarini, mahsulotlarini saqlash omborlarida issiqlik va massa almashinuvi jarayonlarining matematik modelini, omborlarning dinamik va statik xususiyatlarini analitik tahlillash, mahsulotlarni saqlash omborlari holat o‘zgaruvchilari uchun to‘liq tartibli kuzatuvchini baholash algoritmini ishlab chiqish, mikroiklimni o‘lchash qurilmalarini joylashtirishga harorat va namlik rejimini boshqarish tizimini muvofiqlashtirishga mo‘ljallangan ixtisoslashgan matematik ta‘minot va dasturlar majmuasini yaratish muhim masalalardan biri hisoblanadi.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2018-yil 17-apreldagi PF-5418-son “Qishloq va suv xo‘jaligi davlat boshqaruvi tizimini tubdan takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi Farmoni, 2018-yil 17-oktyabrdagi PQ-3978-son “Meva-sabzavot mahsulotlarini tashqi bozorlarga chiqarish samaradorligini oshirishga doir qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi, 2019-yil 14-martdagi PQ-4239-son “Meva-sabzavotchilik sohasida qishloq xo‘jaligi kooperatsiyasini rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi, 2020-yil 28-yanvardagi PQ-4575-son “O‘zbekiston Respublikasi qishloq xo‘jaligini rivojlantirishning 2020—2030-yillarga mo‘ljallangan strategiyasida belgilangan vazifalarni 2020-yilda amalga oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi, 2020-yil 18-martdagi PQ-4643-son “Agrar va oziq-ovqat sohaslarini boshqarish tizimini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli barcha me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti ma‘lum darajada xizmat qiladi.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining IV. Axborotlashtirish va axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish ustuvor yo‘nalishi doirasida bajarilgan.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Tadqiqot ishida qo‘yilayotgan masalani yechishda ikki yo‘nalishdagi ilmiy-nazariy ma‘lumotlarga tayaniladi: birinchisi qishloq xo‘jaligida meva va sabzavotlarni saqlash texnologiyalari bo‘yicha ilmiy ishlar; ikkinchisi texnologik jarayonlarni adaptiv boshqaruv nazariyasi bo‘yicha ilmiy ishlar.

Qishloq xo‘jalik mahsulotlarini mavsumiy saqlash jarayonlarini tizimli tahlillash masalalarini yechish algoritmlarini ishlab chiqish va mahsulot saqlash omborxonalarini mikroiklimini boshqaruv tizimini takomillashtirish usullarini tadqiq etishga doir bir qator ilmiy va amaliy natijalar olingan. Jumladan xorijiy olimlardan A.V.Bodunov, R.A.Boxall, D.G.Imashova, V.N.Ivanova, T.I.Pomorseva, M.M.Albegov, Ye.I.Baranchuk, R.K.Magomedov, V.V.Solodovnikov, A.Vittikh, R.A.Cramb va boshqalarning ishlarida ko‘rib chiqilgan. Ularning olib borgan tadqiqot ishlari mazkur dissertatsiya ishining dastlabki bobida tahlil qilib chiqilgan.

Qishloq xo‘jalik mahsulotlarini omborxonalarda mavsumiy saqlash jarayonlari texnologiyalarini takomillashtirish, harorat va namlik holatini boshqarish usullarini tadqiq etish bo‘yicha bir qator ilmiy va amaliy natijalar olinishiga quyidagi olimlar

o‘zlarining salmoqli xissalarini qo‘shganlar: M.A.Volkov, V.M.Zimnyakov, V.I.Kondrashov, N.N.Moroz, A.B.Lurye, V.I.Luganskiy, V.R.Taurit, A.N.Ostrikov, N.L.Girnik, M.A.Sheyxov, A.I.Tretyakov va boshqalar. Texnologik jarayonlarni adaptiv boshqaruv nazariyasiga oid ilmiy tadqiqotlar S.Bir, A.G.Aleksandrov, N.V.Antonov, V.A.Vittix, S.V.Gurovning ishlarida ko‘rib chiqilgan.

O‘zbekistonda qishloq xo‘jalik mahsulotlarini saqlash tizimi faoliyatini tashkil etish masalalari bo‘yicha F.Jo‘rayev, G.N.Uzoqov, S.T.Tursunov, S.Ya.Sharipov va boshqa olimlar qishloq xo‘jalik mahsulotlarini saqlash jarayonlarini modelini yaratish, mahsulotlar logistikasi va mahsulot saqlash bino va inshootlarini mikroiklimini tizimli tahlillash algoritmini ishlab chiqish va boshqaruv tizimini takomillashtirish usullarini ishlab chiqishga munosib hissa qo‘shganlar. Murakkab tizimlarda adaptiv boshqarish masalalarini yechish algoritmlarini ishlab chiqish va takomillashtirish bo‘yicha V.Q.Qobulov boshchiligida mamlakatimizning yetuk olimlari F.B.Abutaliyev, T.F.Bekmuratov, M.M.Kamilov, N.R.Yusupbekov, H.Z.Igamberdiyev, O.A.Qodirov, P.F.Hasanov, I.X.Siddiqov, O.O.Zaripov va boshqa olimlar tadqiqot olib borganlar.

Shunday bo‘lsa ham tadqiqot doirasida hal etiladigan muammo – tez buziluvchi qishloq xo‘jalik mahsulotlarini sifat ko‘rsatkichlari o‘zgarmagan holda mavsumiy saqlash mezonlari va tamoyillarini shakllantirish, bino va inshootlarini mikroiklimini mahsulot turlari va jarayonlarining modellariga mos ravishda moslashuvchan boshqaruv tizimi yordamida takomillashtirish usullarini ishlab chiqish va mahsulot logistikasini tashkil etish muammolari yetarli darajada o‘rganilmagan.

Tadqiqotning dissertatsiya bajarilgan oliy ta’lim yoki ilmiy-tadqiqot muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Toshkent axborot texnologiyalari universitetining ilmiy-tadqiqot ishlari rejasining I-2017-4-4–“Axborot tizimlarida ma’lumotlarga intellektual ishlov berish va ishlash modellarini yaratish va joriy etish” (2017-2018) hamda I-2015-4-8–«Axborot kommunikatsiya texnologiyalari tizimida yuqori texnologik virtual OC GNU operatsion tizimini joriy etish» (2017-2019) mavzularidagi loyihalari doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi tez buziluvchi qishloq xo‘jalik mahsulotlarini mavsumiy saqlash jarayonlarini adaptiv modellarini takomillashtirish, algoritmlarini ishlab chiqish va ular asosida mikroiklimni moslashuvchan boshqaruv tizimini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

tez buziluvchi qishloq xo‘jalik mahsulotlarini saqlash infratuzilmasida axborot almashish va ma’lumotlarga ishlov berish jarayonlarining o‘ziga xos xususiyatlarini tahlil qilish asosida taqsimlangan parametrlil ob‘yektlar mikroiklimini boshqarish tizimini takomillashtirish;

tez buziluvchi qishloq xo‘jalik mahsulotlarini mavsumiy saqlash tamoyillari va mezonlarini shakllantirish, mikroiklimni tashkil etuvchi faktorlarni klassifikatsiyalash asosida mahsulotlarni saqlash omborlarida issiqlik va massa almashinuvi jarayonlarining adaptiv modelini ishlab chiqish;

tez buziluvchi qishloq xo'jalik mahsulotlarini saqlash mikroiklimi rejimlarining kuzatiluvchanlik shartlarini shakllantirish asosida omborxonalar holati o'zgaruvchilari uchun to'liq tartibli kuzatuvchini baholash va o'lchash qurilmalarini joylashtirish algoritmini ishlab chiqish;

moslashuvchan boshqaruv tizimini funksional sintez qilish modellari, algoritmlari va dasturiy majmuasi asosida turli hajmlardagi sabzavotlar omborlarining harorat-namlik rejimlarini boshqarish tizimini ishlab chiqish.

Tadqiqotning ob'yekti sifatida tez buziluvchi qishloq xo'jalik mahsulotlarini saqlash mikroiklimini boshqaruv tizimi olingan.

Tadqiqotning predmeti tez buziluvchi qishloq xo'jalik mahsulotlarini mavsumiy saqlash omborxonalarida harorat va namlik rejimini ta'minlash uchun xizmat qiladigan avtomatlashtirilgan tizim yaratish usul, model, algoritmi va dasturiy majmuasidan iborat.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot jarayonida bashoratlash va faktorli tahlil usullari, kompyuterli modellashtirish, ma'lumotlarga ishlov berish usullari, tizimli tahlillash, tasniflash usullari, matematik statistika, qaror qabul qilish va avtomatlashtirilgan boshqaruv usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

qishloq xo'jalik mahsulotlarini saqlash omborxonalarini infratuzilmasida o'lchov qurilmalari va boshqaruv operatori o'rtasida axborot almashish jarayonlarining, hamda mahsulotlarning o'ziga xos tez buziluvchanlik xususiyatlarini tahlil qilish asosida ko'p parametrlilik qishloq xo'jalik mahsulotlarini saqlash omborxonalarini mikroiklimini boshqarish tizimini ma'lumotlariga intellektual ishlov berish hisobiga takomillashtirilgan;

qishloq xo'jalik mahsulotlarini omborxonalarda mavsumiy saqlash jarayonlarini boshqarish tamoyillari va mezonlarini shakllantirish asosida omborxonalar mikroiklimni tashkil etuvchi faktorlarni klassifikatsiyalash va mahsulotlarni saqlash omborlarida issiqlik va massa almashinuvi jarayonlarining adaptiv modeli regression tenglamalar ko'rinishida kichik kvadratlar usulida ishlab chiqilgan;

tez buziluvchi qishloq xo'jalik mahsulotlarini saqlash mikroiklimi rejimlarining o'lchov qurilmalari yordamida kuzatiluvchanlik shartlarini shakllantirish asosida omborxonalar mikroiklimini dinamik ravishda o'zgarib borishini kuzatuvchi o'lchov qurilmalarini omborxonalar perimetri bo'ylab joylashtirish algoritmi mahsulot turi, hajmi, saqlash muddatiga muvofiq ishlab chiqilgan;

moslashuvchan boshqaruv tizimida modellarni umumlashtirish hamda dasturiy majmuasi asosida turli hajmlardagi tez buziluvchi sabzavotlar saqlash omborlarining harorat-namlik rejimlarini boshqarish tizimini ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

tez buziluvchi qishloq xo'jalik mahsulotlarini mavsumiy saqlash omborxonalarini mikroiklimi harorat va namlikni mahsulot turiga muvofiq ravishda boshqarish tizimining adaptiv modellari va algoritmlari ishlab chiqilgan;

tez buziluvchi qishloq xo'jalik mahsulotlarini mavsumiy saqlash jarayonlari uchun qurilmalarni joylashtirish algoritmi va vaziyatli boshqarishga muvofiq qaror

qabul qilishga ko‘maklashuvchi dinamik o‘zgaruvchan tarkibli ma’lumotlar bazasi yaratilgan;

tez buziluvchi qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini saqlash omborxonalari mikroiklimi harorat va namlik rejimini kuzatish qurilmalarini o‘rnatish mexanizmi, moslashuvchan boshqaruv tizimi va dasturiy majmuasi ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi uslubiy jihatdan asoslangan amaliy hisob-kitoblar, ko‘p pog‘onali tahliliy tizimlarni qurishning sinalgan usullari va algoritmlarning ishlatilishi, nazariy va amaliy tadqiqotlarning olingan natijalari va ularning o‘zaro muvofiqlashtirilganligi hisoblash eksperimentlari natijalarini umumqabul qilingan mezonlar asosida aynan berilganlar bilan qiyosiy tahlili bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati bevosita tez buziluvchi qishloq xo‘jalik mahsulotlarini mavsumiy saqlash omborxonalari mikroiklimi faoliyati tahlili va kuzatuv tizimida aylanadigan ma’lumotlarga ishlov berish harorat va namlikni saqlash holatining adaptiv modellarini, hamda boshqaruv usullari va algoritmlarini ishlab chiqish bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati tez buziluvchi qishloq xo‘jalik mahsulotlarini mavsumiy saqlash omborxonalari mikroiklimi harorat va namlikni ta’minlashning adaptiv modelini yaratish, mahsulotlarni saqlash mikroiklimini o‘lchash qurilmalarini joylashtirish, tez buziluvchi mahsulotlar saqlash ombori mikroiklimini boshqarish tizimida kuzatuv qurilmasini tuzilmaviy sintezi va boshqaruv tizimining dasturiy majmuasini ishlab chiqish bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarini joriy qilinishi. Tez buziluvchi qishloq xo‘jalik mahsulotlarini mavsumiy saqlash omborxonalari mikroiklimini moslashuvchan boshqaruv tizimining adaptiv modellari, algoritmlari va dasturiy majmuasi asosida:

- qishloq xo‘jalik mahsulotlarini mavsumiy saqlash omborxonalari mikroiklimini ta’minlash jarayonlarini modellari va harorat-namlikni boshqarish usullari Qashqadaryo viloyati “Kifti-ob mevalari” MCHJ ga joriy etilgan. (Qashqadaryo viloyati Qishloq xo‘jaligi boshqarmasi 2023-yil 27-oktabrdagi №01/1779 son ma’lumotnomasi). Natijada tez buziluvchi qishloq xo‘jalik mahsulotlarini saqlash mikroiklimi harorat va namlik rejimini moslashuvchan boshqaruv tizimining modellari va adaptiv boshqaruv tizimini joriy etish samaradorlik koeffitsienti $E_n = 0,15$ bo‘lganda 302575 ming so‘m yillik iqtisodiy samaradorlikka erishish imkonini bergan;

- meva va sabzavotlar saqlash omborxonasida saqlab ishlab chiqarish jarayoniga namlantirish moslamasi tizimi va havo shamollatish moslamasi tizimiga ega texnologik qurilmasi Qashqadaryo viloyati “Tagob mevalari nur” MCHJ ning meva va sabzavotlar saqlash omborxonasiga joriy etilgan. (Qashqadaryo viloyati Qishloq xo‘jaligi boshqarmasi 2023-yil 27-oktabrdagi № 01/1779 son ma’lumotnomasi). Natijada turli hajmlardagi sabzavotlar omborlarida tez buziluvchi mahsulotlarni saqlash mikroiklimini nazorat qilish va boshqaruv tizimini joriy qilish saqlanadigan mahsulotning muddatini 12% ga oshishi imkonini bergan;

- tez buziluvchi qishloq xo‘jalik mahsulotlarini saqlash mikroiklimini boshqarish infratuzilmasida axborot almashish va ma’lumotlarga ishlov berish

jarayonlarining adaptiv modellari va boshqaruvni ta'minlovchi dasturiy majmua Qashqadaryo viloyati Jovuz davlat o'rmon xo'jaligining meva va sabzavotlar saqlash omborxonasiga joriy etilgan. (Qashqadaryo viloyati Qishloq xo'jaligi boshqarmasi 2023-yil 27-oktabrdagi № 01/1779 son ma'lumotnomasi). Natijada qishloq xo'jalik mahsulotlarini mavsumiy saqlash omborxonalari mikroiklimini mahsulot turiga muvofiq holda ta'minlash tez buziluvchi qishloq xo'jalik mahsulotlarini sifat ko'rsatkichlarini saqlagan xolda saqlash muddatini 7-8% ga, sof foyda miqdorini 1,07 baravarga oshirish imkonini bergan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Mazkur tadqiqot natijalari 22 ta, jumladan 11 ta xalqaro va 11 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 33 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalarini asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etgan ilmiy nashrlarda 1 ta monografiya, 8 ta maqola, 3 tasi xorijiy va 5 tasi respublika jurnallarida nashr qilingan hamda 2 ta EHM uchun yaratilgan dasturiy vositalarni qayd qilish guvohnomalari olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 118 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Dissertatsiyaning kirish qismida mavzusining dolzarbligi va zarurati, tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi, muammoning o'rganilganlik darajasi, dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi, tadqiqotning maqsadi, vazifalari, ob'yekti, predmeti, usullari, ilmiy yangiligi, amaliy natijalari, tadqiqot natijalarining ishonchliligi, ilmiy va amaliy ahamiyati, joriy qilinishi, aprobatsiyasi, natijalarning e'lon qilinganligi, dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi haqidagi ma'lumotlar yoritilgan.

Dissertatsiyaning "**Qishloq xo'jalik mahsulotlarini saqlash mikroiklimini boshqarish holatining tizimli tahlili**" deb nomlangan birinchi bobida qishloq xo'jalik mahsulotlarini saqlash (QXMS)ning tizimli yondashuvi, qishloq xo'jalik mahsulotlarini saqlash mikroiklimini boshqarish tizimlari tahlili, jamlangan va taqsimlangan parametrli ob'yektlar boshqaruv tizimlarini baholash usullarining tahlili, tadqiqotning maqsadi va vazifalarning qo'yilishini aniqlashga bag'ishlangan.

Boshqarishning taqsimlangan parametrlarga ega bo'lgan ko'p o'lchamli qishloq xo'jalik ob'yektlarini identifikatsiya qilish muammosini hal qilishga bo'lgan yagona ilmiy asoslangan yondashuvning yo'qligi o'tkazilayotgan tadqiqotlar darajasini pasaytiradi va o'rganilayotgan ob'yektlarning o'ziga xos xususiyatlarini ob'yektiv baholashga imkon bermaydi.

Shu tufayli bunday ob'yektlarni boshqarish sifatida bo'lgan talablarning ortib borishi sababli ular holatini baholash uchun ko'p sondagi o'lchash va kuzatish qurilmalarini jalb qilgan holda taqsimlangan parametrlarni fazodagi va vaqt bo'yicha nazorat qilish masalasi qo'yiladi.

QXMS ob'yektlari mikroiklimi holati vaqtning har lahzasida chekli sondagi parametrlar bilan aniqlanuvchi ob'yektlar va cheksiz sondagi parametrlar bilan aniqlanuvchi taqsimlangan parametrlarga ega bo'lgan ob'yektlar sifatida farqlanadi. Ushbu ob'yektlar fazoda taqsimlangan xususiyatga ega bo'ladi va vaqtning har bir belgilangan lahza $t \in (0, T)$ dagi holati $x \equiv (x_1, x_2, x_3) \in \tau$ fazoviy koordinatalarning ma'lum funksiyasi yoki funksiyalar tizimi yoki jamlangan parametrlarning chekli soni bilan ifodalanadi. Taqsimlangan parametrlar fazoviy koordinatalar va vaqt funksiyalarining ma'lum jamlanmasi bilan xarakterlanadi.

Faraz qilaylik, ob'jektga kiruvchi $x = x(x_1, x_2, \dots, x_n)$ parametrlar; z – tasodifiy ta'sir ko'rsatuvchi parametrlar $z = z(z_1, z_2, \dots, z_m)$ va u – boshqaruvchi parametrlar $u = u(u_1, u_2, \dots, u_s)$ asosida natijaviy parametr $y = y(y_1, y_2, \dots, y_k)$ ko'rsatkichlariga erishiladi. Xususiyl holda bu jarayonning matematik ifodasini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$y = f(x, u, z)$$

Bunda boshqaruvchi parametrlar u - mahsulot harorati, mahsulot namligi, havo harorati, havo namligi; z -tasodifiy parametrlar - mahsulot turining o'zgarishi, boshqaruv tizimini ishdan chiqishi, nazorat datchiklarini ishlamasligi, ma'lumot bilan ta'minlanmaganlik, x – kiruvchi parametrlar- mahsulot uyumi orqali havo sarfi, ventilyatsiya qilinayotgan havo harorati, ventilyatsiya qilinayotgan havo namligi va hokazo. Ularning har biriga chegaraviy shartlar qo'yiladi.

$$x_i^- \leq x_i \leq x_i^+; u_j^- < u_j < u_j^+; z_e^- \leq z_e \leq z_e^+,$$

Chiquvchi parametr y sifatida QXMS omborxonada havosining nisbiy namlik darajasi, saqlanayotgan mahsulot harorati, omborxonada havosining harorati, energiya sarfi qaralishi mumkin. Natijada tadqiqot masalasi talab etilgan namlik y^* ni chegaraviy shartlar asosida ta'minlashdan iborat bo'ladi. Buning uchun QXMS omborxonada mahsulot saqlash jarayonining matematik modeli yaratiladi va talab etilgan namlik darajasi y^* bilan solishtiriladi.

$$|y^* - y| \leq \varepsilon.$$

Ushbu tengsizlik tekshirib boriladi va o'rnatilgan namlik darajasi bajarilishi uchun boshqaruv parametrlari o'zgartirib, boshqarilib turadi.

Dissertatsiyaning ikkinchi **“Qishloq xo'jalik mahsulotlarini saqlash mikroiklimini modellarini ishlab chiqish”** nomli bobida jarayonlar tenglamalarini taqsimlangan parametrlarga ega bo'lgan tizim tenglamalari sifatida chiqarishda uzluksiz davom ettirish tamoyilidan foydalaniladi. Bu tamoyilning mohiyati chekli hajmlar uchun olingan funksionallarning xususiyatlari har qanday kichik va katta hajmlar uchun ham o'rinli bo'lishidan iborat. Bu tamoyildan foydalangan holda birlik hajmda aniqlangan (cheksiz kichik hajmga kiritilgan) funksional sifatida tushuniluvchi “funktionalning holat zichligi” tushunchasi kiritiladi. Funksionallar o'rtasidagi nisbatlarni birlik hajmdagi holatni ifodalashga qo'llagan holda taqsimlangan parametrlarga ega bo'lgan jarayonlar tenglamalariga erishiladi. Bu tenglamalarda vaqtdan tashqari mustaqil o'zgaruvchilar – birlik hajm massalar markazi koordinatalari qatnashadi. Bu xususiyl hosilali differensial tenglamalarga olib keladi.

Ob'yektning matematik modeli holati o'lchovlari yoki o'lchashlarni modellashtirish jarayonini quyidagi chiziqli operator yordamida amalga oshiriladi:

$$\psi_i(\xi, t) = \int_{\tau} \sum_{j=1}^n K_{ij}(\xi, x) \varphi_j(x, t) d\tau \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

bu yerda $\psi_i = \varphi_j(x, t)$ - ob'yekt holatini tavsiflovchi funksiyalar, $\varphi_i = \psi_i(\xi, t)$ - o'lchash natijasi, t - vaqt, $x = (x_1, x_2, x_3)$ - jarayon boradigan τ soha nuqtalarining koordinatalari, $\xi = (\xi_1, \xi_2, \xi_3)$ - τ soha nuqtasi kabi talqin qilish mumkin bo'lgan qandaydir parametr, ya'ni $\xi \in \tau$. Chiziqli operator (1) yordamida o'lchash natijasida belgilangan t vaqt lahzasida $\psi_i = \psi_i(\xi, t)$ - fazoviy koordinatalar funksiyasini, ya'ni taqsimlangan parametrni olamiz. Ob'yekt holatini (1) ga ko'ra aniq o'lchash mumkin, masalan, $K_{ii}(\xi, x) = \delta(\xi - x)$ bo'lganda, bu yerda $\delta(\xi - x) - \delta$ - Dirak funksiyasi va $K_{ij}(\xi, x) = 0$, agar $i \neq j$ bo'lsa, $\psi_i(x, t) = \varphi_i(x, t)$ ($i = 1, 2, \dots, n$) ni olamiz, bu holatni aniq o'lchanishini anglatadi. Bu yerdan ξ ni τ sohadagi nuqta sifatida qarash maqsadga muvofiqligi kelib chiqadi. $K_{ij}(\xi, x) = K_{ij}(x)$ ning xususiy holida (1) ifoda quyidagi funksionalga keltiriladi:

$$\psi_i(t) = \int_{\tau} \sum_{j=1}^n K_{ij}(x) \varphi_j(x, t) d\tau \quad (i = 1, 2, \dots, m), \quad (2)$$

bu yerda $\varphi_i = \psi_i(t)$ jamlangan parametr bo'lib hisoblanadi va u ob'yekt holati to'g'risida faqat to'liq bo'lmagan ma'lumotlar beradi. Uni qandaydir holat yoki holatlarning chiziqli kombinatsiyasi sifatida tushunish mumkin. $m = n = 1$ bo'lganida quyidagiga erishamiz:

$$\psi(t) = \int_{\tau} K(x) \varphi(x, t) d\tau. \quad (3)$$

Agar $\rho = \varphi(x, t)$ - massa zichligi va $K(x) = 1$ bo'lsa, u holda $\psi(t) = \int_{\tau} \rho d\tau = M$ ifoda massani beradi. Agar $K(x) = \frac{x_i}{M}$ bo'lsa, u holda $\psi_i(t) = \frac{1}{M} \int_{\tau} x_i \rho d\tau$ - massa markazi koordinatalari va h.k. Shunday qilib (3) dagi ob'yektning bir qator umumiy parametrlari (1) dan xususiy hol sifatida olinadi.

Faraz qilaylik, quyidagi tenglikni qanoatlantiruvchi shakl almashtirish matritsasi T mavjud bo'lsin:

$$TA - FT = H. \quad (4)$$

U holda $\bar{z}(0) = T\bar{x}(0)$ bo'lganda barcha $t \geq 0$ yoki, yanada umumiy holda, $\bar{z}(0) \neq T\bar{x}(0)$ bo'lganida, ya'ni quyidagi tenglik bajarilganida $\bar{z}(t) = T\bar{x}(t)$ munosabat o'rinlidir:

$$\bar{z}(t) = T\bar{x}(t) + e^{Ft} [\bar{z}(0) - T\bar{x}(0)] \quad (5)$$

F matritsa xos qiymatlar manfiy bo'lganida (5) ning ikkinchi hadi bilan ifodalanuvchi kuzatuvchi qurilmaning erkin tebranishlari so'nadi va bu qurilmaning holatlar vektori $\bar{z}(t)$ $T\bar{x}(t)$ vektorga yaqinlashadi. Munosabatlar (5) ning o'rinli ekanligini quyidagicha isbotlash mumkin. Tenglamaning chap tomonini T ga ko'paytirgan va olingan natijani tenglamadan ayirgan holda quyidagini olamiz:

$$\dot{\bar{z}}(t) - T\dot{\bar{x}}(t) = F\bar{z}(t) + H\bar{x}(t) - TA\bar{x}(t).$$

H o'rniga (4) ifodani qo'ygan holda yechimi (5) bo'lgan tenglamaga kelamiz:

$$\dot{\bar{z}}(t) - T\dot{\bar{x}}(t) = F[\bar{z}(t) - T\bar{x}(t)].$$

A va F matritsalar umumiy xos qiymatlarga ega bo'lmagan hollarda (4) tenglamaning yagona yechim T ga egaligini isbotlash mumkin. Shunday qilib ildizlari G_1 ob'yekt ildizlaridan farq qiluvchi biror-bir tizim G_2 ning holatlar vektori z ning G_1 ob'yekt holatlar vektori bilan $\bar{z} = T\bar{x}$ munosabat orqali bog'langanligi bu ob'yekt uchun kuzatuvchi qurilma sifatida xizmat qilishi mumkin, bu yerda (4) tenglamadan aniqlanuvchi T matritsa G_1 va G_2 tizimlarning parametrlariga bog'liq bo'ladi. G_1 va G_2 tizimlar tartiblarining albatta bir xil bo'lishi shart emasligini ta'kidlab o'tish lozim.

Qo'zg'atilgan ob'yekt, ya'ni nolga teng bo'lmagan chiquvchi signal $\bar{u}(t)$ ga ega bo'lgan (agar bu signalni o'lchash mumkin bo'lsa) ob'yekt uchun ham kuzatuvchi qurilmani olish qiyin emas. Buning uchun kiruvchi signal $\bar{u}(t)$ ni ham kuzatuvchi qurilmaga keltirish lozim. Haqiqatdan ham agar G_1 ob'yekt

$$\dot{\bar{x}}(t) = A\bar{x}(t) + B\bar{u}(t), \quad (6)$$

tenglama bilan ifodalansa, u holda ko'rsatilgan tarzda to'ldirilgan kuzatuvchi qurilma tenglamasi

$$\dot{\bar{z}}(t) = F\bar{z}(t) + H\bar{x}(t) + TB\bar{u}(t) \quad (7)$$

baribir (5) ifodaning yechimiga ega bo'ladi. Bunga (5) tenglamalar uchun o'tkazilganga o'xshash bo'lgan shakl almashtirishlar yordamida ishonch hosil qilish mumkin. Bu yerdan avval ob'yektни erkin deb faraz qilgan, keyin esa (7) da ko'rsatilgani kabi kiruvchi signalni qo'shgan holda qo'zg'algan ob'yekt uchun kuzatuvchi qurilmani sintez qilish mumkinligi kelib chiqadi.

To'liq tartibli kuzatuvchilar. Agar shakl almashtirish matritsasi T birga teng bo'lsa, u holda $\bar{z}(t) = T\bar{x}(t) = E_n\bar{x}(t) = \bar{x}(t)$. Bunday hollarda kuzatuvchi qurilma ob'yektning holatlar vektorini tanib oladi. $T = E_n$ talabi kuzatuvchi qurilma parametrlarini, ya'ni uning F va H matritsalarini tanlash bilan bajariladi. $T = E_n$ ni (4) ga qo'ygan holda $F = A - H$ ni olamiz. Bu yerdan G_2 kuzatuvchining G_1 kuzatilayotgan ob'yekt bilan bir xil tartibga egaligi kelib chiqadi.

Ob'yektning o'lchanayotgan chiquvchi signallari vektori sifatida H matritsasi ham, kuzatuvchi qurilma kirishining tuzilishi sifatida ham aniqlanadi. Agar r - o'lchamli chiqishga ega bo'lgan ob'yekt

$$\dot{\bar{x}}(t) = A\bar{x}(t), \quad \bar{y}(t) = C\bar{x}(t), \quad (8)$$

Tenglamalar bilan, kuzatuvchi

$$\dot{\bar{z}}(t) = F\bar{z}(t) + K\bar{y}(t), \quad (9)$$

tenglama bilan aniqlansa, u holda $H = KC$ bo'ladi. Kuzatuvchini sintez qilishda $(r \times n)$ o'lchamli C matritsa o'zgarmas, $(n \times r)$ o'lchamli K matritsa esa ixtiyoriy. Shuning uchun identifikatsiya qilish kuzatuvchisi G_2 K matritsani tanlash bilan bir qiymatli aniqlanadi va quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$\hat{\dot{x}}(t) = (A - KC)\hat{x}(t) + K\bar{y} + B\bar{u} \quad \text{yoki} \quad \hat{\dot{x}} = A\hat{x} + K[y - C\hat{x}] + Bu. \quad (10)$$

Kuzatuvchi holat vektori (10) ning o'lchami ob'yekt holat vektorining o'lchamiga tengligi sababli bunday kuzatuvchilar to'liq tartibli deb ataladi.

Pasaytirilgan tartibli kuzatuvchilar. Kuzatuvchining o'lchamini o'lchanayotgan vektor \bar{y} komponentlari sonini (10) bo'yicha kamaytirish mumkin. Bunday kuzatuvchi pasaytirilgan tartibli deb ataladi. Uni ifodalovchi tenglamani quyidagi farazlar asosida olish mumkin. Aytaylik, (10) tizim to'liq kuzatiluvchan bo'lsin. Quyidagi shakl almashtirish yordamida $(n - l)$ o'lchamlilikning yangi holatini kiritamiz (bu yerda $l - \bar{y}(t)$ chiqishning o'lchami):

$$z(t) = Tx(t), \quad (11)$$

bu yerda $T - (n - l) \times n$ o'lchamli matritsasi shunday tanlab olinadiki, $(n \times n) - \begin{bmatrix} T \\ C \end{bmatrix}$ matritsasi buzilib ketmaydigan bo'lsin. U holda $x(t)$ $z(t)$ va $y(t)$ orqali ifodalanadi:

$$x = \begin{bmatrix} T \\ C \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} z(t) \\ y(t) \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Faraz qilaylik, $\begin{bmatrix} T \\ C \end{bmatrix}^{-1}$ matritsani quyidagi ko'rinishda ifodalash mumkin bo'lsin:

$$\begin{bmatrix} T \\ C \end{bmatrix}^{-1} = [\Omega_1 : \Omega_2], \quad (13)$$

bu yerda $\Omega_1 - (n - l) \times n$ o'lchamli matritsa, $\Omega_2 - (n \times l)$ o'lchamli matritsa. U holda $x(t)$ uchun quyidagi ifodani olamiz:

$$x(t) = \Omega_1 z(t) + \Omega_2 y(t). \quad (14)$$

$z(t)$ ni aniqlash uchun (11) ni differensiallaymiz va quyidagini olamiz:

$$\dot{z} = (TA\Omega_1 + \dot{T}\Omega_1)z + (TA\Omega_2 + \dot{T}\Omega_2)y(t), \quad (15)$$

bu yerda (13) ga quyidagi tenglik bajariladi:

$$\Omega_1 T + \Omega_2 C = E_n, \quad (16)$$

$$\begin{bmatrix} T \\ C \end{bmatrix}^{-1} |\Omega_1, \Omega_2| = \begin{bmatrix} T\Omega_1 : T\Omega_2 \\ C\Omega_1 : C\Omega_2 \end{bmatrix} = E_n. \quad (17)$$

Bu yerdan quyidagi kelib chiqadi:

$$T\Omega_1 = E_n, T\Omega_2 = 0, C\Omega_1 = 0, C\Omega_2 = E_n. \quad (18)$$

Tenglama (16) lardan va mos holda quyidagini olamiz:

$$(\dot{\Omega}_1 T) + (\dot{\Omega}_2 C) = 0, \quad \dot{T}\Omega_1 = -T\dot{\Omega}_1, \dot{T}\Omega_2 = -T\dot{\Omega}_2. \quad (19)$$

Ushbu nisbatlar yordamida (15) tenglamani shakl almashtirgan holda kuzatuvchi uchun quyidagi ifodani olamiz:

$$\dot{\hat{z}} = (TA\Omega_1 - T\dot{\Omega}_1)\hat{z} + (TA\Omega_2 - T\dot{\Omega}_2)y(t) \quad (20)$$

$$\hat{x} = \Omega_1 \hat{z} + \Omega_2 y(t). \quad (21)$$

Bu algoritmgga mos keluvchi baholash xatosini haqiqiy tizim tenglamasi va kuzatuvchi tizimidan ayirgan holda topamiz. Ularni $\varepsilon_z = \hat{z} - z$, $C_x = \hat{x} - x$ ko'rinishda beramiz. Quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\dot{\varepsilon}_x = [\Omega_1 TA - \Omega_1 T\dot{\Omega}_1 T + \dot{\Omega}_1 T]\varepsilon_x \quad (22)$$

$T\Omega_1 = \dot{T}\Omega_1$ tenglikni (22) ga qo'ygan, keyin esa olingan ifodaga $\Omega_1 TC_x = \varepsilon_x$ tenglik va (16) ni qo'ygan holda yakuniy tarzda quyidagini olamiz:

$$\dot{\varepsilon}_x = (A - \Omega_2 CA - \Omega_2 \dot{C} - \dot{\Omega}_2 C)\varepsilon_x, \varepsilon_x(0) = \varepsilon_{x_0}, \quad (23)$$

bu yerda ε_{x_0} - boshlang'ich holatni baholash xatosi. Kuzatuvchining yaqinlashish tezligini (23) da Ω_2 ni o'zgartirgan holda boshqarish mumkinligini ta'kidlab o'tamiz.

Dissertatsiyaning uchinchi **“Qishloq xo'jalik mahsulotlarini saqlash jarayonlarini boshqarish usul va algoritmlari”** nomli bobida boshqaruv

ob'yehtining kuzatiluvchanlik shartlarini shakllantirish evolyutsiya tenglamasi, ya'ni holat o'zgaruvchisi tenglamasi bilan ifodalanishi keltirilgan. Bu tizimni keyingi tadqiqotlar uchun qulay bo'lgan o'zgartirilgan ko'rinishda yozamiz:

$$\begin{cases} \frac{\partial T_M}{\partial t} = a_{31}T_h - a_{33}T_M + a_{32}d_h - a_{34}; \\ \frac{\partial T_h}{\partial z} = a_{12}T_M - a_{11}T_h; \\ \frac{\partial d_h}{\partial z} = a_{21}T_M - a_{22}d_h + a_{23}, \end{cases} \quad (24)$$

bu yerda a_j koeffitsiyentlar saqlanayotgan mahsulot va havoning issiqlik fizikasi parametrlari bilan aniqlanadi, ya'ni

$$\begin{aligned} a_{11} &= \left(\frac{\alpha \cdot S}{C_M \rho_M \cdot \varepsilon} + \frac{r \cdot S \cdot \beta \cdot b}{C_M \rho_M} \right); & a_{12} &= \frac{\alpha \cdot S}{C_M \rho_M \cdot \varepsilon}; & a_{13} &= \frac{1,13 \cdot r \cdot S \cdot \beta}{C_M \rho_M}; \\ a_{14} &= \frac{r \cdot S \cdot \beta \cdot a}{C_M \rho_M}; & a_{21} &= \frac{\alpha \cdot S}{v \cdot C_h \rho_h \varepsilon}; & a_{22} &= \frac{\alpha \cdot S}{v \cdot C_h \rho_h \varepsilon}; \\ a_{31} &= \frac{\beta \cdot S \cdot b}{v \cdot \rho_h \cdot \varepsilon}; & a_{33} &= \frac{1,13 \cdot \beta \cdot S}{v \cdot \rho_h \cdot \varepsilon}; & a_{34} &= \frac{a \cdot \beta \cdot S}{v \cdot \rho_h \varepsilon}. \end{aligned}$$

Quyidagi belgilashlarni kiritamiz: $x_1 = T_h$ - havo harorati; $x_2 = d_h$ - havodagi namlik miqdori; $x_3 = T_M$ - material harorati va (24) tizimni matritsa shaklida yozamiz:

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial x_1}{\partial t} \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 \\ \frac{\partial x_2}{\partial z} \\ \frac{\partial x_3}{\partial z} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} -a_{11} & a_{12} & 0 \\ a_{21} & -a_{22} & 0 \\ a_{31} & a_{32} & -a_{33} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ a_{23} \\ -a_{34} \end{vmatrix}, \quad (25)$$

yoki qisqartirilgan holda:

$$\frac{\partial \bar{x}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{x}}{\partial z} + A\bar{x} = \bar{a}. \quad (26)$$

Olingan bog'langan tenglamalar tizimi (26) ni kuzatiluvchanlikka nisbatan tadqiq qilish uchun uni bog'lanmagan ko'rinishga, ya'ni o'zaro bog'liq bo'lmagan tenglamalar tizimiga keltiramiz. Buning uchun quyidagi shakl almashtirishni kiritamiz:

$$\bar{x} = p\bar{y}, \quad (27)$$

bu yerda p - ustunlarida xos vektorlar turuvchi matritsa, A, \bar{y} matritsalar quyidagi funksiyaning mos yangi noma'lumlaridir:

$$\bar{y} = \begin{vmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{vmatrix}.$$

Munosabat (27) ning har ikkala tomonini avval t bo'yicha, keyin esa z bo'yicha differensiallagan, olingan munosabatlarni (26) ga qo'ygan va kerakli shakl almashtirishlarni amalga oshirgan holda yangi noma'lum o'zgaruvchilarga nisbatan quyidagi differensial tenglamalar tizimini olamiz:

$$\frac{\partial \bar{y}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{y}}{\partial z} + \lambda \bar{y} = \bar{a}. \quad (28)$$

Ushbu (28) da elementlari A matritsaning xos qiymatlari bo'lgan diagonal matritsa. Ular quyidagicha aniqlanadi. A matritsani quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$\begin{vmatrix} -a_{11} - \lambda & a_{12} & 0 \\ a_{21} & -a_{22} - \lambda & 0 \\ a_{31} & 0 & -a_{33} - \lambda \end{vmatrix}, \quad (29)$$

bu yerda λ A matritsaning xos sonlaridir. Ular quyidagi tenglamadan aniqlanadi:

$$\lambda^3 - (a_{11} + a_{22} + a_{33})\lambda^2 + (a_{11}a_{22} + a_{11}a_{33} + a_{22}a_{33} - a_{13}a_{31} - a_{21}a_{12})\lambda + a_{13}a_{31}a_{22} + a_{33}a_{21}a_{12} - a_{11}a_{22}a_{33} = 0; \quad (30)$$

a_{ij} ning ma'lum qiymatlarida saqlanayotgan mahsulotning aniq bir turi uchun λ_1 , λ_2 va λ_3 qiymatlarni doimo (30) dan aniqlash mumkin.

Shunday qilib λ_1 , λ_2 va λ_3 ning ma'lum qiymatlarida (30) tenglamalar tizimi bog'lanmaganga aylanadi, ya'ni:

$$\begin{cases} \frac{\partial y_1}{\partial t} + \lambda_1 y_1 = -a_{14}; \\ \frac{\partial y_2}{\partial z} + \lambda_2 y_2 = 0; \\ \frac{\partial y_3}{\partial z} + \lambda_3 y_3 = a_{34}. \end{cases} \quad (31)$$

Shuning uchun (24) tizim uchun kuzatiluvchanlik (31) o'zaro bog'liq bo'lmagan tenglamalar tizimining kuzatiluvchanligiga keltiriladi.

1. Tizim tenglamasi (31) uchun kuzatiluvchanlik:

$$\frac{\partial y_1}{\partial t} + \lambda_1 y_1 = 0, \quad (32)$$

$$\varepsilon_1(t) = h(y_1(z_1, t), y_1(z_2, t) \dots y_1(z_n, t)). \quad (33)$$

Kuzatiluvchanlikning umumiy shartlari (31) va (32) uchun shundan iboratki, (31) tenglama (32) ni kesib o'tishi va bunda jamlangan parametrlarga ega tizim uchun kuzatiluvchanlik shartlari bajarilishi kerak. Yechim:

$$z = z_0 \quad (34)$$

koordinatalar o'qi, ya'ni koordinata o'qlariga parallel bo'lgan to'g'ri chiziqlar bo'ylab

$$\left(\frac{\partial y_1}{\partial t}\right)|_0 = \lambda_1 y_1 \quad (35)$$

ifoda bilan aniqlanadi. Agar jamlangan parametrlarga ega bo'lgan tizimlar uchun koordinatalar o'qlari bo'ylab kuzatuvchanlik shartlarini shakllantirish masalasini ko'rib chiqsak, quyidagi tasdiqni olamiz.

Tizim (31), (35) to'liq kuzatiluvchan bo'lishi uchun har bir xarakteristikaning o'zgarishlar trektoriyasini kesib o'tishi va quyidagi matritsa rangining n ga teng

$$L_0 = |\overline{\Phi}(t_1, 0)^T C_1^T \dots \overline{\Phi}(t_j, 0)^T C_j^T|, \quad (36)$$

bo'lishi zarur va yetarlidir, bu yerda $\overline{\Phi}(t, 0)$ ($n \times n$) o'lchamga ega.

Differensial tenglamalar tizimi bilan ifodalanuvchi sabzavotlar ombori harorat-namlik rejimining to'liq kuzatuvchanligi quyidagicha ifodalanadi:

$$\begin{cases} x_1' + \alpha_1 x_1 = K_{12} x_2 + K_{11} u_1; \\ x_2' + \alpha_2 x_2 = K_{21} x_1 + K_{22} u_2; \\ x_3' + \alpha_3 x_3 = K_{31} x_1 + K_{32} x_2, \end{cases} \quad (37)$$

yagona o'lchashda, ya'ni saqlanayotgan mahsulot harorati $x_3 = T_M$ ni o'lchashda.

Shunday qilib $y = x_3$ ni o'lchagan holda kuzatuvchi qurilma yordamida ob'yekt holatining to'liq vektori $[x_1, x_2, x_3]^T$ ni qayta tiklash, kuzatuvchiga ega

istalgan xos qiymatlarni berish mumkin. To‘liq tartibli kuzatuvchi (37) ga ko‘ra quyidagi tenglamalar bilan ifodalanadi:

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}}_1 = K_{12}\hat{x}_2 - \alpha_1\hat{x}_1 + K_{H1}(y - \hat{x}_3) + K_{11}u_1; \\ \dot{\hat{x}}_2 = K_{21}\hat{x}_1 - \alpha_2\hat{x}_2 + K_{H2}(y - \hat{x}_3) + K_{22}u_2; \\ \dot{\hat{x}}_3 = K_{31}\hat{x}_1 + K_{32}\hat{x}_2 - \alpha_3\hat{x}_3 + K_{H3}(y - \hat{x}_3). \end{cases} \quad (38)$$

Tizim (6) tenglamalaridan (38) tenglamalarni ayirgan holda quyidagi qayta tiklash tenglamasini olamiz:

$$\dot{\varepsilon} = [A - K_H C] \cdot \bar{\varepsilon}, \quad (39)$$

bu yerda $\bar{\varepsilon} = \bar{x}^{(0)} - \hat{x}^{(0)}$ - holat o‘zgaruvchilarini baholash xatolari.

Tenglamalar (39) tizimini yoyilgan holda quyidagicha yozamiz:

$$\begin{cases} \varepsilon_1' = K_{12}\varepsilon_2 - \alpha_1\varepsilon_1 - K_{H1}\varepsilon_3; \\ \varepsilon_2' = K_{21}\varepsilon_1 - \alpha_2\varepsilon_2 - K_{H2}\varepsilon_3; \\ \varepsilon_3' = K_{31}\varepsilon_1 + K_{32}\varepsilon_2 - \alpha_3\varepsilon_3 - K_{H3}\varepsilon_3. \end{cases} \quad (40)$$

Tizim (40) quyidagi xarakteristik tenglamaga mos keladi:

$$-\lambda^3 + (\alpha_2 + \alpha_1 + K_{H3} + \alpha_3)\lambda^2 - (\alpha_1\alpha_2 + \alpha_2K_{H3} + \alpha_1K_{H3} + \alpha_2\alpha_3 + \alpha_1\alpha_3 + K_{31}K_{H1} + K_{32}K_{H2} - K_{21}K_{12})\lambda + (K_{21}K_{32} + \alpha_2K_{31} - K_{21}K_{12})K_{H1} + (K_{12}K_{31} + \alpha_1K_{32})K_{H2} + \alpha_1\alpha_2K_{H3} + \alpha_1\alpha_2\alpha_3 - \alpha_3K_{21}K_{12} = 0. \quad (41)$$

Modal boshqaruv nazariyasi bo‘yicha yopiq tizimning xarakteristik polinomining ildizlari (modlari) avvaldan berilgan qiymatlar $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ ga ega bo‘ladi.

Dissertatsiyaning to‘rtinchi “**Tez buziluvchi mahsulotlarni saqlash mikroiklimini moslashuvchan boshqaruv tizimi**” nomli bobi tez buziluvchi QXMS ombori mikroiklimini boshqarish tizimining muhim qism-tizimi bo‘lib kuzatuv qism-tizimi, ya’ni ob’jektning joriy vaqt lahzasidagi holatini tavsiflovchi tarqoq parametrlari to‘g‘risidagi ma’lumotlarni o‘lchash, to‘plash, baholash va qayta tiklash qism-tizimiga bag‘ishlangan. Dastlab to‘liq tartibli kuzatuvchilarga ega bo‘lgan boshqaruv tizimini ko‘rib chiqamiz. Bunday holda butun tizim tenglamasi quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi:

$$\bar{x} = Ax + Bu; \quad (42) \quad y = Cx; \quad (43)$$

$$\dot{\hat{x}} = (A - KC)\hat{x} + Ky + Bu; \quad (44) \quad u = -p\hat{x}, \quad (45)$$

bu yerda (42), (43) – ikkita kirish va bitta chiqishga ega bo‘lgan ob’jekt tenglamalari, (44) va (45) – mos holda to‘liq tartibdagi kuzatuvchi va regulyator tenglamalaridir. Barcha tenglamalar vektor shaklida yozilgan. x, \hat{x} o‘zgaruvchilar o‘rniga x, \tilde{x} o‘zgaruvchilarni kiritgan holda (42)-(45) tenglamalarni quyidagi ko‘rinishga keltiramiz, bu yerda $\tilde{x} = \hat{x} - x$:

$$\dot{x} = (A - Bp)x - Bp\tilde{x}, \quad (46)$$

$$\dot{\tilde{x}} = (A - KC)\tilde{x}. \quad (47)$$

So‘ngra (47) tenglama (44) dan (42) ni ayirish va yni Cx ga almashtirish orqali, (45) tenglama (42) ga $u = -p\hat{x}$ ni qo‘yish va $\hat{x} = x + \tilde{x}$ almashtirish orqali olinadi. Tizim (46) – (47) quyidagi matritsaga ega:

$$\begin{vmatrix} A - Bp & -Bp \\ 0 & A - KC \end{vmatrix}. \quad (48)$$

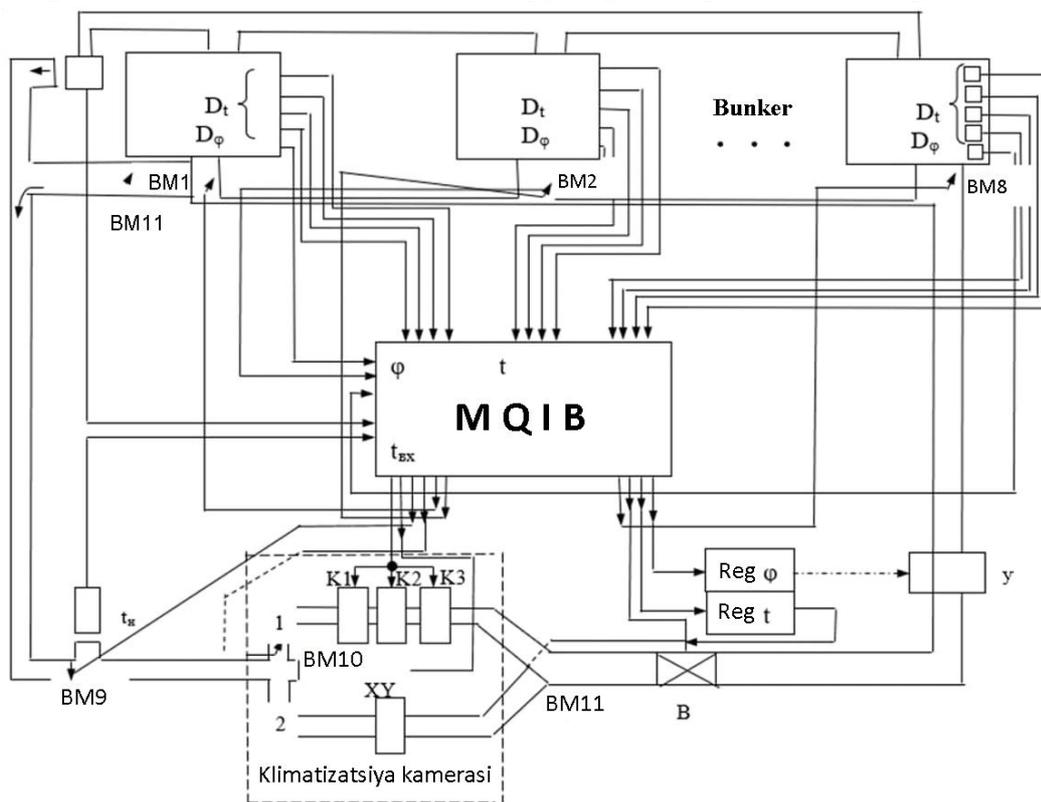
Bu yerdan tizimning quyidagi xarakteristik polinomi kelib chiqadi:

$$\det(\lambda E_n - A + Bp) \det(\lambda E_n - A + KC), \quad (49)$$

U “ob’jekt-regulyator” va kuzatuvchi yopiq tizimining xarakteristik tenglamalarining ko‘paymasidan iborat.

Shunday qilib p regulyatorni ob’jekt holat o‘zgaruvchilarini ($x_1 = T_h, x_2 = d_h, x_3 = T_M$) o‘ta aniq o‘lchanishini faraz qilgan va ushbu qurilmaning faqat istalgan dinamik xususiyatlariga amal qilgan holda sintez qilish mumkin. Turli hajmlarga (W_i) ega bo‘lgan QXMS omborlarining harorat-namlik rejimlarini boshqarish tizimasining funksional sxemasi 1-rasmda ko‘rsatilgan. U ma’lumotlarni qayta ishlash va boshqarish blokini (MQIB) o‘z ichiga oladi, unda o‘tkazib ulash funksiyalari, bajarish mexanizmlari (BM) va boshqarish organlari mavjud. MQIB da o‘tkazib ulash funksiyalari τ_3 vaqt davomidagi ajratilgan bunkerdagi harorat va namlik ko‘rsatkichlarini olishga ko‘maklashadi. Har bir bunkerda bitta namlik datchigi D_φ va bir nechta harorat datchiklari D_t joylashgan, ular saqlanayotgan mahsulotning harorat-namlik holatini nazorat qilishning talab darajasini ta’minlaydi.

Bundan tashqari tashqi (t_H) va retsirkulyatsion havo haroratini (t_{res}) o‘lchovchi ikki datchik ko‘zda tutilgan, bu harorat mantiqiy algoritmnining kiruvchi signali sifatida qatnashadi, klimatizatsiya kamerasiga (kalorifer-sovutish mashinasi-namlantirgich) havo uzatish ushbu mantiqiy algoritmgaga ko‘ra amalga oshiriladi.



1-rasm. Turli hajmlarga ega bo‘lgan tez buziluvchi QXMS omborlarining harorat-namlik rejimlarini boshqarish tizimining funksional sxemasi.

Ma’lumotlarni qayta ishlash bloki davriy ravishda harorat va namlik datchiklaridan navbati bilan so‘rashni amalga oshiradi. Bunda ushlanib qolish vaqti τ_3 texnologik talablardan kelib chiqqan holda tanlab olinadi. τ_3 vaqt bilan so‘rovlarning davriyligi belgilanadi, saqlash sifatini pasaytirmaslik uchun u haddan tashqari katta bo‘lmasligi kerak. τ_3 ning kichik qiymatlari texnologik jihozlarning

barqaror ishlamasligiga olib keladi. Ushlanib qolish vaqti τ_3 - bu burkerdagi harorat va namlikni o'lash boshlanishi uchun o'tishi kerak bo'lgan vaqt oralig'idir.

Bunda har bir bunker uchun havo harorati va namlikning optimal tarkibi (φ, t) ni aniqlaymiz. Ilmiy ishlarda kerakli havo hajmi va bu havoni bunkerga uzatish vaqti ko'rib o'tilmaganligini ta'kidlab o'tamiz. Shuning uchun ham bunkerga uzatish uchun zarur bo'lgan havo hajmini aniqlashga e'tibor qaratdik.

Ventilyator quvvatiga bog'liq ravishda havoni bunkerga haydash vaqtini aniqlash mumkin:

$$B_i = \frac{W_i}{V_B}, \quad (50)$$

bu yerda W_i - (M^3) i -bunker hajmi; V_B -ventilyator tezligi (M^3/s); B_i -havoni i bunkerga haydash uchun zarur bo'lgan vaqt. Bu vaqtni τ_3 ni aniqlashda hisobga olish zarur.

Bu yerdan quyidagi shartni o'rnatish mumkin (N -bunkerlar soni):

$$\tau_3 \geq \sum_{i=1}^N B_i \quad (51)$$

Shart (51) ni bajarish qiyin bo'lishi mumkin, bunday hollarda quyidagi shartni qo'llash mumkin: $\tau_3 > N * B^* = \max(B_1, B_2, \dots, B_N) * N$; (52)

MQIB blokida o'tkazib ulash funksiyalarida quyidagicha hisobga olinadi:

$$\tau_{3,B} = \sum_{i=1}^N \tau_{3,i};$$

$$\tau_{3,i} = \left\{ \begin{array}{l} B_i \text{ agar } t_i \notin [t_i^H, t_i^B], \\ 0 \text{ agar } t_i \in [t_i^H, t_i^B] \end{array} \right\}, \quad B_i = \left\{ \begin{array}{l} B_{kol}(t_i^H - t_i) \text{ agar } t_i < t_i^H, \\ B_{xy}(t_i - t_i^B) \text{ agar } t_i > t_i^B \end{array} \right\},$$

bu yerda t_i^H, φ_i^H - i -bunkerning quyi qiymatli harorati va namlik me'yori; t_i^B, φ_i^B - i - bunkerning yuqori qiymatli harorati va namlik me'yori; $\Delta t_i, \Delta \varphi_i$ - tizimga hech qanday ta'sir bo'lmagan hollarda i -bunker harorati va namligining vaqt birligi ichidagi tabiiy o'zgarish tezliklari. Agar $\Delta t_i < 0$ bo'lsa, bunker sovutiladi, aks holda $\Delta t_i > 0$ isitish yuz beradi. $B_{kol}(t_i^H - t_i), B_{xy}(t_i - t_i^B)$ - mos holda havoni kalorifer yordamida t_i^H haroratgacha isitish va sovutish qurilmasi yordamida t_i^B haroratgacha sovutish uchun zarur bo'lgan vaqt; t_i - i - bunker harorati.

$$B_{kol}(t_i^H - t_i) = \frac{1}{V_{kol}} (t_i^H - t_i), \quad B_{xy}(t_i - t_i^B) = \frac{1}{V_{xy}} (t_i - t_i^B),$$

bu yerda $\alpha, 1/V_{xy}$ koeffitsiyenti mos holda $1M^3$ havoni bir darajaga isitadi.

$$B_{kol}(t_i) = B_{kol}(t_i, t_{res}, t_H), \quad B_{xy}(t_i) = B_{xy}(t_i, t_{res}, t_H).$$

$$B_{kol}(t_i) = \begin{cases} 0, \text{ agar } t_i^H < t_i < t_i^B; \\ \frac{\max(t_{res}, t_H) - t_i^H}{V_{kol}}, \text{ agar } t_i < t_{res}, t_H < t_i^H; \end{cases}$$

$$B_{xy}(t_i) = \begin{cases} 0, \text{ agar } t_i^H < t_i < t_i^B; \\ \frac{\min(t_{res}, t_H) - t_i^B}{V_{xy}}, \text{ agar } t_i^B < t_{res}, t_H < t_i; \end{cases}$$

bu yerda V_{xy} - havoni sovutish tezligi; V_{kol} - kalorifer bilan havoni isitish tezligi.

XULOSA

“Tez buziluvchi qishloq xo'jalik mahsulotlarini saqlash mikroiklimini

moslashuvchan boshqaruv tizimining adaptiv modellari” mavzusidagi dissertatsiya bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar natijasida quyidagi xulosalar taqdim etildi:

1. Tez buziluvchi qishloq xo‘jalik mahsulotlarini saqlash infratuzilmasida axborot almashish va ma‘lumotlarga ishlov berish jarayonlarining o‘ziga xos xususiyatlari va modellarini yaratish asosida jamlangan va taqsimlangan parametrli ob‘yektlar boshqaruv tizimlarini baholash usullarining tahlili, mikroiklimni boshqarish tizimini takomillashtirish tuzilmasi turli organik mahsulotlar saqlash omborxonalari harorat va namlik rejimini me‘yorida boshqarish imkonini berdi;

2. Tez buziluvchi qishloq xo‘jalik mahsulotlarini mavsumiy saqlash tamoyillari va mezonlarini shakllantirish asosida mikroiklimni tashkil etuvchi faktorlarni klassifikatsiyalash va omborlarda issiqlik va massa almashinuvi jarayonlarining adaptiv modeli mahsulotlarni saqlash muddatini uzaytirish imkonini berdi;

3. Qishloq xo‘jalik mahsulotlarini saqlash mikroiklimi rejimlarining kuzatiluvchanlik shartlarini shakllantirish asosida omborxonalar holati o‘zgaruvchilari uchun to‘liq tartibli kuzatuvchini baholash va o‘lchash qurilmalarini joylashtirish algoritmi omborxonalar harorat va namlik rejimini o‘zgartirish imkonini berdi;

4. Turli hajmlardagi qishloq xo‘jalik mahsulotlari va sabzavotlari saqlash omborlarining harorat-namlik rejimlarini moslashuvchan boshqaruv tizimini funksional sintez qilish modellari, algoritmlari va dasturiy majmuasi uzoq muddat mahsulotlarni saqlash va sifat ko‘rsatkichlarini pasaymasligini ta‘minladi.

5. Qishloq xo‘jalik mahsulotlarini mavsumiy saqlash omborxonalari mikroiklimini ta‘minlash jarayonlarini modellari va harorat-namlikni boshqarish usullarini Qashqadaryo viloyati “Kifti-ob mevalari” MCHJga joriy etilishi qishloq xo‘jalik mahsulotlarini saqlash mikroiklimi boshqaruv tizimining modellari va adaptiv boshqaruv tizimini joriy etish samaradorlik koeffitsiyenti $E_H=0,15$ bo‘lganda 302575 ming so‘m yillik iqtisodiy samaradorlikka erishish imkonini berdi.

6. Meva va sabzavotlar saqlash omborxonasida saqlab ishlab chiqarish jarayoniga namlantirish moslamasi tizimi va havo shamollatish moslamasi tizimiga ega texnologik qurilmasini Qashqadaryo viloyati “Tagob mevalari nur” MCHJ ning meva va sabzavotlar saqlash omborxonasiga joriy etilgan. Natijada turli hajmlardagi sabzavotlar omborlarida tez buziluvchi mahsulotlarni saqlash mikroiklimini nazorat qilish va boshqaruv tizimini joriy qilish saqlanadigan mahsulotning muddatini 12% ga oshishi imkonini berdi.

7. Tez buziluvchi qishloq xo‘jalik mahsulotlarini saqlash mikroiklimini boshqarish infratuzilmasida axborot almashish va ma‘lumotlarga ishlov berish jarayonlarining adaptiv modellari va boshqaruvni ta‘minlovchi dasturiy majmuasini Qashqadaryo viloyati Jovuz davlat o‘rmon xo‘jaligining meva va sabzavotlar saqlash omborxonasiga joriy etilgan. Natijada qishloq xo‘jalik mahsulotlarini mavsumiy saqlash omborxonalari mikroiklimini mahsulot turiga muvofiq holda ta‘minlash tez buziluvchi qishloq xo‘jalik mahsulotlarini sifat ko‘rsatkichlarini saqlagan holda saqlash muddatini 7-8% ga, sof foyda miqdorini 1,07 baravarga oshirish imkonini berdi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.13/05.05.2023.Т.07.03 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

КАРШИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Пирова Рашида Қудратовна

**АДАПТИВНЫЕ МОДЕЛИ ГИБКОАСТРАИВАЕМОЙ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ ХРАНЕНИЯ
БЫСТРОПОРТЯЩИХСЯ СЕЛЬХОЗПРОДУКТОВ**

05.01.02 – Системный анализ, управление и обработка информации

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2024

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за №B2019.4.PhD/T907.

Диссертация выполнена в Каршинском государственном университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (аннотация)) размещен на веб-сайт Научного совета (www.tuit.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyo.net).

Научный руководитель: **Якубов Сабир Халмурадович**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Севинов Жасур Усмонович**
доктор технических наук, профессор

Дошанова Малика Юлдашевна
доктор философии технических наук (PhD), доцент

Ведущая организация: **Термезский государственный университет**

Защита диссертации состоится «___» _____ 2024 года в ___ часов на заседании Научного совета №DSc.13/05.05.2023.т.07.03 при Ташкентском университете информационных технологий. (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108 Тел.: (99871) 238-64-43, e-mail: ilmiy_kengash@tuit.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий (зарегистрирована № ____). (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108 Тел.: (99871) 238-64-70.

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2024 года.
(протокола реестра №___ от «___» _____ 2024 года)

М.М. Камилов
Председатель Научного совета по присуждению
ученых степеней, доктор технических наук,
профессор, академик АН РУз

Н.А. Эгамбердиев
Секретарь Научного совета по присуждению
ученых степеней, доктора философии (PhD)
по техническим наукам

Н.О. Рахимов
Председатель Научного семинара при Научном
совете по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, доцент

ВВЕДЕНИЕ

(аннотация диссертации на соискание степени доктора наук (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертационного исследования. В мире особое внимание уделяется совершенствованию гибких систем управления микроклиматом хранения быстропортящейся сельхозпродукции. Аналитики Business Tech Talks предоставляют новейший анализ рынка выращиваемых фруктов и овощей, а также новые разработки за период с 2024 по 2031 год. По их статистике, объем мировой торговли выращиваемыми фруктами и овощами в 2023 году достиг 20 миллиардов долларов США, а в перспективе, согласно анализу «360 market updates», с 2028 по 2031 год оценивается объем товарооборота. составит 211,24 миллиарда долларов США, что показывает среднегодовой темп роста CAGR (Compound annual growth rate) 5,18 процента в течение 2024-2031 годов³. Поэтому для того, чтобы доставлять выращенные фрукты и овощи населению в хорошем состоянии, важно организовать овощехранилища, а также моделировать и совершенствовать гибкие системы управления микроклиматом овощехранилищах.

В мире ведутся научно-исследовательские работы по совершенствованию гибконастраиваемых систем управления микроклиматом хранения скоропортящейся сельхозпродукции, определению температурного режима перерабатывающих складов в соответствии с физическими свойствами и составом сырья, разрабатываются математическая модель обеспечения микроклимата хранения быстропортящейся сельхозпродукции, алгоритм оценки наблюдателя полного порядка переменных состояния складов хранения сельхозпродукции, проводятся научно-исследовательские работы по размещению приборов измерения микроклимата. В связи с этим необходимо научно обосновать осуществление функционального синтеза систем температурно-влажностного регулирования овощехранилищ разного размера на основе характеристик, требований, принципов и критериев микроклимата хранения быстропортящейся сельхозпродукции, создание математической модели тепломассообменных процессов на складах хранения продукции, а также разработку метода гибконастраиваемого регулирования температурно-влажностного режима овощехранилищ.

В нашей республике проводятся комплексные мероприятия по определению микроклимата хранения быстропортящейся сельхозпродукции различного состава и свойств на складах различного назначения, созданию адаптивной модели процесса хранения сельхозпродукции, по разработке методов управления процессами аналитического анализа динамических и статических характеристик складов хранения продукции. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы определены задачи, в том числе «...по модернизации и опережающему

³ 2031 “Fresh Fruits and Vegetables Market Size” | Characteristics and Specifications. 19.01.2024.
<https://www.linkedin.com/pulse/2031-fresh-fruits-vegetables-market-size-characteristics-3qt3f/>

развитию сельского хозяйства: углублению структурных преобразований и непрерывному развитию сельскохозяйственного производства, а также существенному повышению экспортного потенциала аграрного сектора»⁴. При реализации этих задач, в том числе, задачи усовершенствования гибкоадаптивных систем управления микроклиматом хранения скоропортящейся сельхозпродукции, одним из важных вопросов является разработка адаптивных моделей микроклимата хранения сельхозпродукции, математической модели тепломассообменных процессов на складах хранения продукции, аналитический анализ динамических и статических характеристик складов, разработка алгоритма оценки наблюдателя полного порядка переменных состояния складов хранения продукции, создание комплекса специализированных математических средств и программ, предназначенных для согласования системы регулирования температуры и влажности для размещения приборов измерения микроклимата.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит реализации задач, определенных в Указе Президента Республики Узбекистан от 17 апреля 2018 года № ПФ-5418 «О мерах по коренному совершенствованию системы государственного управления сельским и водным хозяйством», Постановлений Президента от 17 октября 2018 года № ПП-3978 «О дополнительных мерах по повышению эффективности продвижения плодоовощной продукции на внешние рынки», от 14 марта 2019 года № ПП-4239 «О мерах по развитию сельскохозяйственной кооперации в области плодоовощной продукции», от 28 января 2020 года № ПП-4575 «О мерах по реализации в 2020 году задач, определенных в стратегии развития сельского хозяйства Республики Узбекистан на 2020-2030 годы», от 18 марта 2020 года № ПП-4643 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы управления аграрной и продовольственной сферами», а также во всех нормативно-правовых документах, имеющих отношение к данной диссертации.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики. Данное исследование выполнено в рамках IV приоритетного направления развития науки и техники Республики «Информатизация и развитие информационно-коммуникационных технологий».

Степень изученности проблемы. Получен ряд научных и практических результатов по разработке алгоритмов решения задач системного анализа процессов сезонного хранения сельскохозяйственной продукции и исследования методов совершенствования системы управления микроклиматом складов хранения продукции. В том числе эти вопросы рассматривались в работах зарубежных ученых, включая В.В.Солодовников, А.В.Бодунов, Р.А.Бохалл, Д.Г.Имашова, В.Н.Иванова, Т.И.Поморцева, М.М.Албегов, Е.И.Баранчук, Р.К.Магомедов, А.Виттих, Р.А.Крамб и других. Значительный

²Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года № ПФ-4947 «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

вклад в получение ряда научных и практических результатов по исследованию технологий, моделей и способов сезонного хранения сельскохозяйственной продукции на складах внесли следующие ученые: М.А.Волков, В.М.Зимняков, В.И.Кондрашов, Н.Н.Мороз, А.Б.Лурье, В.И.Луганский, В.Р.Таурит, А.И.Третьяков, А.Н.Остриков, Н.Л.Гирник, М.А.Шейхов и другие. Научные исследования по теории адаптивного управления технологическими процессами рассмотрены в работах Н.В.Антонова, С.В.Гурова, В.А.Виттиха, С.Бира, А.Г.Александрова. В Узбекистане вопросами организации деятельности системы микроклимата складов хранения сельскохозяйственной продукции занимались Ф.Жураев, Г.Н.Узоков, С.Т.Турсунов, С.Я.Шарипов и другие ученые, которые занимались созданием модели процессов хранения сельскохозяйственной продукции, системным анализом микроклимата продуктовой логистики и зданий и сооружений хранения продукции. Разработкой алгоритмов решения задач адаптивного управления в сложных системах занимались В.К.Кобулов, Ф.Б.Абуталиев, Т.Ф.Бекмуратов, М.М.Камилов, Н.Р.Юсупбеков, Х.З.Игамбердиев, О.А.Кадыров, П.Ф.Хасанов, И.Х.Сиддиков, О.О.Зарипов и другие ученые, проводившие исследования и внесшие значительный вклад в разработку методов и алгоритмов совершенствования автоматизированной системы управления.

При этом на данный момент вопросы формирования критериев и принципов сезонного хранения скоропортящейся сельхозпродукции без изменения показателей ее качества, разработки методов улучшения микроклимата зданий и сооружений с помощью гибконастраиваемой системы управления, помогающей принимать решения в соответствии с моделями видов продукции и процессов, а также проблемы организации товарной логистики, изучены недостаточно.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного или научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана НИР Ташкентского университета информационных технологий И-2017-4-4-«Создание и внедрение интеллектуальной обработки и рабочих моделей информации в информационных системах» (2017-2018) и И-2015-4-8- «Внедрение высокотехнологичной виртуальной операционной системы ОС GNU в систему информационно-коммуникационных технологий» (2017-2019 гг.)

Цель исследования заключается в усовершенствовании адаптивных моделей, в разработке алгоритмов процессов сезонного хранения скоропортящейся сельхозпродукции, и разработка на их основе гибконастраиваемой системы управления микроклиматом.

Задачи исследования:

совершенствование системы управления микроклиматом объектов с распределенными параметрами на основе анализа особенностей процессов информационного обмена и обработки данных в инфраструктуре хранения скоропортящейся сельхозпродукции;

классификация факторов микроклимата на основе формирования принципов и критериев сезонного хранения скоропортящейся сельхозпродукции и разработка адаптивной модели тепломассообменных процессов в складах хранения продукции;

разработка алгоритма размещения наблюдателя полного порядка и алгоритма размещения средств измерения переменных состояния склада на основе формирования условий наблюдаемости микроклиматических режимов хранения скоропортящейся сельхозпродукции:

создание функциональных моделей синтеза, алгоритмов и программного комплекса гибко настраиваемой системы управления температурно-влажностными режимами овощехранилищ различного объема.

В качестве **объект исследования** взята система управления микроклиматом хранения скоропортящейся сельхозпродукции.

Предмет исследования состоит из метода, модели, алгоритма и программного комплекса для создания автоматизированной системы, служащей для обеспечения температурно-влажностного режима микроклимата складов сезонного хранения скоропортящейся сельхозпродукции.

Методы исследования. В процессе исследования использовались методы оптимизации, прогнозирования и факторного анализа, информационно-математическое моделирование, методы обработки данных, технологические процессы и методы классификации, математическая статистика, методы принятия решений и автоматизированного управления.

Научная новизна исследования состоит из следующего:

на основе анализа процесса обмена информацией между измерительными приборами и оператором управления в инфраструктуре складов для хранения сельскохозяйственной продукции, а также с учетом особенностей скоропортящейся сельхозпродукции, усовершенствована система управления микроклиматом складов для хранения многопараметрической сельскохозяйственной продукции посредством интеллектуальной обработки данных;

на основе формирования принципов и критериев управления процессами сезонного хранения сельскохозяйственной продукции в складах разработана классификация факторов, формирующих микроклимат склада, и адаптивная модель процессов тепломассообмена в хранилищах в виде регрессионных уравнений методом наименьших квадратов;

на основе формирования условий наблюдаемости режимов микроклимата для хранения скоропортящейся сельхозпродукции с помощью измерительных приборов разработан алгоритм размещения измерительных устройств по периметру склада для динамического мониторинга изменений микроклимата в зависимости от типа продукции, объема и срока хранения;

разработана система управления температурно-влажностными режимами хранилищ для различных объемов быстро портящихся овощей на основе обобщения моделей и программного комплекса в адаптивной системе управления.

Практические результаты исследования состоят из следующего:

разработаны адаптивные модели и алгоритмы системы управления температурой и влажностью микроклимата складов сезонного хранения скоропортящейся сельхозпродукции в зависимости от вида продукции;

созданы алгоритм моделирования процессов сезонного хранения скоропортящейся сельхозпродукции и база данных с динамически изменяющимся содержанием, поддерживающая принятие решений в соответствии с ситуационным управлением;

разработан механизм установки приборов контроля микроклимата температурно-влажностного режима складов хранения скоропортящейся сельхозпродукции, гибко настраиваемая система управления и программный комплекс.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования основана на методологически обоснованных практических расчетах, использовании теоретически обоснованных концепций построения многоуровневых аналитических систем, применении апробированных методов и алгоритмов теории автоматического анализа, полученные результаты теоретических и прикладных исследований и их взаимная согласованность объясняются сравнительным анализом результатов вычислительных экспериментов с приведенными на основе общепринятых критериев.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования непосредственно объясняется анализом микроклиматической активности складов сезонного хранения скоропортящейся сельхозпродукции и разработкой адаптивных моделей температурно-влажностных условий хранения, а также разработкой методов и алгоритмов управления.

Практическая значимость результатов исследования объясняется созданием адаптивной модели температурно-влажностного микроклимата складов сезонного хранения скоропортящейся сельхозпродукции, размещением приборов измерения микроклимата складов хранения продукции, структурным синтезом устройства контроля в системе управления микроклиматом склада хранения скоропортящейся продукции и разработкой программного комплекса системы управления.

Внедрение результатов исследования. На основании научных результатов, полученных на адаптивных моделях, алгоритмах и программном комплексе системы управления микроклиматом складов сезонного хранения скоропортящейся сельхозпродукции:

Модели процессов поддержания микроклимата складов сезонного хранения сельскохозяйственной продукции и методы температурно-влажностного регулирования внедрены в ООО «Кифти-об мевалари» Кашкадарьинской области (Справка управления сельского хозяйства Кашкадарьинской области № 01/1779 от 27 октября 2023 года).

В результате внедрения модели гибко настраиваемой системы управления температурно-влажностным режимом хранения скоропортящейся сельхозпродукции, а также адаптивной системы управления была достигнута

годовая экономическая эффективность в размере 302575 тыс.сум при коэффициенте эффективности $E_n=0,15$.

Технологическое устройство с системой увлажнения и вентиляции воздуха для хранения плодоовощной продукции внедрено на плодоовощном складе ООО «Тагоб мевалари нур» Кашкадарьинской области (Справка управления сельского хозяйства Кашкадарьинской области № 01/1779 от 27 октября 2023 года). В результате внедрения системы контроля и управления микроклиматом хранения быстропортящейся продукции на овощехранилищах разного объема сроки хранения продукции были увеличены на 12%.

Адаптивные модели информационного обмена и процессов обработки данных в инфраструктуре управления микроклиматом хранения быстропортящейся сельхозпродукции и программный комплекс, обеспечивающий управление внедрены в плодоовощехранилище Жовузского государственного лесхоза Кашкадарьинской области (Справка управления сельского хозяйства Кашкадарьинской области № 01/1779 от 27 октября 2023 года). Обеспечение микроклимата складов сезонного хранения сельхозпродукции в соответствии с видом продукции позволило увеличить срок хранения быстропортящейся сельхозпродукции на 7-8% и размер чистой прибыли в 1,07 раза при сохранении показателей качества.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования обсуждались на 22 научно-практических конференциях, в том числе 11 международных и 11 республиканских.

Опубликованность результатов исследования. Всего по теме диссертации опубликованы 33 научные работы, из них, 1 монография, 8 статей опубликованы в научных изданиях, рекомендованных ВАК Республики Узбекистан, в том числе 3 в зарубежных, 5 в республиканских журналах и 2 свидетельства регистрации программных средств для ЭВМ получено от Агентства интеллектуальной собственности при Министерстве юстиции Республики Узбекистан.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертации составляет 118 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обосновывается актуальность и степень востребованности темы диссертации, формулируются цели и задачи, определяются объект и предмет исследования, соответствие исследования приоритетным направлениям науки и техники Республики Узбекистан, показаны научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, выявлена теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приводится перечень практического применения

результатов исследования, а также информация об апробации результатов исследования, опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации под названием **«Системный анализ состояния управления микроклиматом хранения сельскохозяйственной продукции»** рассматриваются системный подход к хранению сельхозпродуктов, анализ системы управления микроклиматом хранения сельхозпродуктов, анализ методов оценки систем управления объектами со сосредоточенными и распределенными параметрами, определение целей и постановка задач исследования.

Отсутствие единого научно-обоснованного подхода к решению задачи идентификации многомерных сельскохозяйственных объектов с распределенными параметрами управления снижает уровень исследования и не позволяет объективно оценить конкретные характеристики изучаемых объектов. В связи с возрастающими требованиями к управлению такими объектами встает задача пространственно-временного контроля распределенных параметров с привлечением большого количества измерительных и контрольных устройств для оценки их состояния.

Состояние микроклимата объектов хранения сельхозпродукции (ХСХП) в каждый момент времени как объектов, определяемых конечным числом параметров, так и объектов с распределенными параметрами, определяемых бесконечным числом параметров отличается. Эти объекты распределены в пространстве, и их положение в каждый заданный момент времени $t \in (0, T)$ $x \equiv (x_1, x_2, x_3) \in \tau$ представлено некоторой функцией или системой функций пространственных координат или конечным количеством агрегированных параметров. Распределенные параметры характеризуются определенным сочетанием функций пространственных координат и времени.

Предположим, что параметры $x = x(x_1, x_2, \dots, x_n)$ входят в объект; на основе z – случайных влияющих параметров $z = z(z_1, z_2, \dots, z_m)$ и u – управляющих параметров $u = u(u_1, u_2, \dots, u_s)$ результирующего параметра $y = y(y_1, y_2, \dots, y_k)$ показатели достигнуты.

В частности, математическое выражение этого процесса может быть выражено следующим образом:

$$y = f(x, u, z)$$

При этом u - управляющими параметрами являются температура продукта, влажность продукта, температура воздуха, влажность воздуха; z -случайными параметрами – изменение вида продукции, выход системы управления из строя, несрабатывание датчиков контроля, отсутствие информационного обеспечения, x -входные параметры – расход воздуха через штабель продукции, температура вентилируемого воздуха, влажность вентилируемого воздуха и т.д.

На каждую из них накладываются граничные условия.

$$x_i^- \leq x_i \leq x_i^+; u_j^- < u_j < u_j^+; z_e^- \leq z_e \leq z_e^+,$$

В качестве y -выходного параметра можно рассматривать уровень относительной влажности воздуха склада ХСХП, температуру хранимого

продукта, температуру воздуха склада, энергопотребление. В результате задачей исследования будет обеспечение требуемой влажности y^* на основе граничных условий. Для этого создается математическая модель процесса хранения продукции на складе ХСХП и сравнивается требуемый уровень влажности с y^* .

$$|y^* - y| \leq \varepsilon.$$

Это неравенство проверяется, и параметры управления корректируются в соответствии с заданным уровнем влажности.

Во второй главе диссертации под названием «**Разработка адаптивных моделей микроклимата хранения сельскохозяйственной продукции**» принцип непрерывности используется для вывода уравнений процессов в виде системных уравнений с распределенными параметрами. Суть этого принципа состоит в том, что свойства функционалов, полученные для конечных объемов, справедливы для любых малых и больших объемов. Используя этот принцип, вводится понятие «плотность состояния функционала», под которым понимается функционал, определенный в единице объема (включенный в бесконечно малый объем). Уравнения процессов с распределенными параметрами получаются путем применения соотношений между функционалами для представления состояния единичного объема. Помимо времени в этих уравнениях участвуют независимые переменные – координаты центра масс единицы объема. Это приводит к дифференциальным уравнениям в частных производных.

Математическую модель измерений состояния объекта или процесс моделирования измерений реализуется с помощью следующего линейного оператора:

$$\psi_i(\xi, t) = \int_{\tau} \sum_{j=1}^n K_{ij}(\xi, x) \varphi_j(x, t) dt \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

где $\psi_i = \varphi_j(x, t)$ – функции, описывающие состояние объекта, $\varphi_i = \psi_i(\xi, t)$ – результат измерения, t - время, $x = (x_1, x_2, x_3)$ – координаты точки поля τ , в котором идет процесс, $\xi = (\xi_1, \xi_2, \xi_3)$ – некий параметр, который можно интерпретировать как точку поля τ , т.е. $\xi \in \tau$. В результате измерения с помощью линейного оператора (1) в заданный момент времени t получаем $\psi_i = \psi_i(\xi, t)$ - функцию пространственных координат, то есть распределенный параметр. Положение объекта можно точно измерить по (1), например, когда $K_{ii}(\xi, x) = \delta(\xi - x)$, где $\delta(\xi - x) - \delta$ – функция Дирака и $K_{ij}(\xi, x) = 0$, если $i \neq j$, получаем $\psi_i(x, t) = \varphi_i(x, t) (i = 1, 2, \dots, n)$, что означает точное измерение состояния. Отсюда следует, что ξ уместно рассматривать как точку в поле τ .

В частном случае $K_{ij}(\xi, x) = K_{ij}(x)$ выражение (1) сводится к следующей функции:

$$\psi_i(t) = \int_{\tau} \sum_{j=1}^n K_{ij}(x) \varphi_j(x, t) d\tau \quad (i = 1, 2, \dots, m), \quad (2)$$

где $\varphi_i = \psi_i(t)$ – совокупный параметр, дающий только неполную информацию о состоянии объекта. Его можно понимать как некоторое состояние или линейную комбинацию состояний. При $m = n = 1$ получаем следующее:

$$\psi(t) = \int_{\tau} K(x) \varphi(x, t) d\tau. \quad (3)$$

Если $\rho = \varphi(x, t)$ - плотность массы, а $K(x) = 1$, то $\psi(t) = \int_{\tau} \rho d\tau = M$ выражение дает массу. Если $K(x) = \frac{x_i}{M}$, то $\psi_i(t) = \frac{1}{M} \int_{\tau} x_i \rho d\tau$ - координаты центра массы и т.д. Таким образом, ряд общих параметров в (3) берется из (1) как частный случай.

Сначала рассмотрим задачу наблюдения за свободным объектом G_1 , то есть за тем объектом, входящий сигнал \bar{u} которого равен нулю. Если использовать имеющиеся выходы G_1 в качестве входов линейной системы G_2 , то (G_2) почти всегда может служить устройством контроля объекта G_1 в том смысле, что его состояние следует линейному преобразованию вектора состояния объекта.

Предположим, что существует матрица перестановок T , удовлетворяющая следующему равенству:

$$TA - FT = H. \quad (4)$$

Тогда $\bar{z}(0) = T\bar{x}(0)$ для всех $t \geq 0$ или, в более общем случае, при $\bar{z}(0) \neq T\bar{x}(0)$, т.е. при выполнении следующего равенства $\bar{z}(t) = T\bar{x}(t)$ выполняется соотношение:

$$\bar{z}(t) = T\bar{x}(t) + e^{Ft}[\bar{z}(0) - T\bar{x}(0)] \quad (5)$$

При отрицательных собственных значениях матрицы F свободные колебания устройства контроля, представленные вторым членом (5), затухают, а вектор состояния этого устройства приближается к вектору $\bar{z}(t) T\bar{x}(t)$. Справедливость соотношений (5) можно доказать следующим образом. Умножая левую часть уравнения на T и вычитая результат из уравнения (5), получаем:

$$\dot{\bar{z}}(t) - T\dot{\bar{x}}(t) = F\bar{z}(t) + H\bar{x}(t) - TA\bar{x}(t).$$

Подставляя выражение (4) для H , приходим к следующему уравнению с решением (5):

$$\dot{\bar{z}}(t) - T\dot{\bar{x}}(t) = F[\bar{z}(t) - T\bar{x}(t)].$$

Матрицы A и F не имеют общих собственных значений, можно доказать, что уравнение (4) имеет единственное решение T . Таким образом, для любой системы, корни которой отличаются от корней объекта G_1 , то, что вектор состояния z объекта G_2 связан с вектором состояния объекта G_1 соотношением $\bar{z} = T\bar{x}$, может служить средством слежения за этим объектом, где T определяемая из уравнения (4) матрица зависит от параметров систем G_1 и G_2 . Следует отметить, что порядок систем G_1 и G_2 не обязательно одинаков.

Также нетрудно получить следящее устройство для возбужденного объекта, т. е. объекта с ненулевым выходным сигналом $\bar{u}(t)$ (если этот сигнал можно измерить). Для этого необходимо подвести входящий сигнал $\bar{u}(t)$ к устройству контроля. Действительно, если объект G_1

$$\dot{\bar{x}}(t) = A\bar{x}(t) + B\bar{u}(t), \quad (6)$$

представить уравнением, тогда уравнение устройства слежения завершается, как показано

$$\dot{\bar{z}}(t) = F\bar{z}(t) + H\bar{x}(t) + TB\bar{u}(t) \quad (7)$$

по-прежнему будет иметь решение выражения (5). Это можно обеспечить с помощью замен, аналогичных тем, которые сделаны для уравнений (5). Отсюда следует, что можно синтезировать устройство слежения за возбужденным объектом, сначала предположив, что объект свободен, а затем добавив входной сигнал, как показано в (7).

Наблюдатели полного порядка. Если матрица преобразования T равна единице, то $\bar{z}(t) = T\bar{x}(t) = E_n\bar{x}(t) = \bar{x}(t)$. В таких случаях устройство слежения распознает вектор состояния объекта. Требование $T = E_n$ выполняется выбором параметров устройства слежения, т.е. его матриц F и H . Подставляя $T = E_n$ в (4), получаем $F = A - H$. Отсюда следует, что наблюдатель G_2 имеет тот же порядок, что и наблюдаемый объект G_1 .

В качестве вектора измеряемых выходных сигналов объекта матрица H определяется как структура входа устройства контроля. Если объект с r – мерным выходом

$$\dot{\bar{x}}(t) = A\bar{x}(t), \quad \bar{y}(t) = C\bar{x}(t), \quad (8)$$

С уравнениями, наблюдатель

$$\dot{\bar{z}}(t) = F\bar{z}(t) + K\bar{y}(t), \quad (9)$$

определяется формулой, тогда $H = KC$. В синтезе наблюдателя матрица C размерами $(r \times n)$ фиксирована, а матрица K размерами $(n \times r)$ является производной. Таким образом, идентифицирующий наблюдатель G_2K определяется как однозначный путем выбора матрицы и выражается следующим уравнением:

$$\dot{\hat{x}}(t) = (A - KC)\hat{x}(t) + K\bar{y} + B\bar{u} \quad \text{или же} \quad \dot{\hat{x}} = A\hat{x} + K[y - C\hat{x}] + Bu. \quad (10)$$

Поскольку размер вектора состояния наблюдателя (10) равен размеру вектора состояния объекта, такие наблюдатели называются наблюдателями полного порядка.

Наблюдатели пониженного порядка. Размер наблюдателя может быть уменьшен согласно (10) числу компонент вектора \bar{y} . Такой наблюдатель называется наблюдателем пониженного порядка. Уравнение, представляющее его, может быть получено на основе следующих предположений. Пусть система (10) вполне наблюдаема. Введем новый случай размерности $(n - l)$, используя следующее преобразование (где l – $\bar{y}(t)$ размер выхода):

$$z(t) = Tx(t), \quad (11)$$

здесь матрица размера T $-(n-l) \times n$ выбрана так, что матрица $(n \times n)$ - $\begin{bmatrix} T \\ C \end{bmatrix}$ оставалась ненарушенной. Тогда $x(t)$ выражается через $z(t)$ и $y(t)$:

$$x = \begin{bmatrix} T \\ C \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} z(t) \\ y(t) \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Предположим, что матрица $\begin{bmatrix} T \\ C \end{bmatrix}^{-1}$ может быть выражена в следующем виде:

$$\begin{bmatrix} T \\ C \end{bmatrix}^{-1} = [\Omega_1 : \Omega_2], \quad (13)$$

где Ω_1 - матрица размерами $(n-l) \times n$, Ω_2 - матрица размерами $(n \times l)$. Тогда мы получим следующее выражение для $x(t)$:

$$x(t) = \Omega_1 z(t) + \Omega_2 y(t). \quad (14)$$

Для определения $z(t)$ продифференцируем (11) и получим следующее:

$$\dot{z} = (TA\Omega_1 + \dot{T}\Omega_1)z + (TA\Omega_2 + \dot{T}\Omega_2)y(t), \quad (15)$$

где для (13) выполняется следующее равенство:

$$\Omega_1 T + \Omega_2 C = E_n, \quad (16)$$

$$\begin{bmatrix} T \\ C \end{bmatrix} |\Omega_1, \Omega_2| = \begin{bmatrix} T\Omega_1 : T\Omega_2 \\ C\Omega_1 : C\Omega_2 \end{bmatrix} = E_n. \quad (17)$$

Отсюда следует:

$$T\Omega_1 = E_n, T\Omega_2 = 0, C\Omega_1 = 0, C\Omega_2 = E_n. \quad (18)$$

Из уравнения (16) и соответственно получаем:

$$(\dot{\Omega}_1 T) + (\dot{\Omega}_2 C) = 0, \quad \dot{T}\Omega_1 = -T\dot{\Omega}_1, \dot{T}\Omega_2 = -T\dot{\Omega}_2. \quad (19)$$

Используя эти отношения, получим следующее выражение для наблюдателя, подставив уравнение (15):

$$\dot{\hat{z}} = (TA\Omega_1 - T\dot{\Omega}_1)\hat{z} + (TA\Omega_2 - T\dot{\Omega}_2)y(t) \quad (20)$$

$$\dot{\hat{x}} = \Omega_1 \dot{\hat{z}} + \Omega_2 y(t). \quad (21)$$

Мы находим ошибку оценки, соответствующую этому алгоритму, путем вычитания истинного уравнения системы и системы наблюдателя. Зададим их в виде $\varepsilon_z = \hat{z} - z$, $\varepsilon_x = \hat{x} - x$. Получаем следующее:

$$\dot{\varepsilon}_x = [\Omega_1 TA - \Omega_1 T\dot{\Omega}_1 T + \dot{\Omega}_1 T]\varepsilon_x \quad (22)$$

Подставляя равенство $T\Omega_1 = \dot{T}\Omega_1$ в (22), а затем подставляя в полученное выражение равенство $\Omega_1 TC_x = \varepsilon_x$ и (16) окончательно получаем следующее:

$$\dot{\varepsilon}_x = (A - \Omega_2 CA - \Omega_2 \dot{C} - \dot{\Omega}_2 C)\varepsilon_x, \varepsilon_x(0) = \varepsilon_{x_0}, \quad (23)$$

где ε_{x_0} - ошибка оценки начального состояния. Отметим, что скоростью сближения наблюдателя можно управлять, изменяя Ω_2 в (23).

В третьей главе диссертации под названием «**Методы и алгоритмы управления процессами хранения сельскохозяйственной продукции**» формирование условий мониторинга объекта управления представлено эволюционным уравнением, то есть уравнением переменной состояния. Запишем эту систему в модифицированном виде, удобном для дальнейшего исследования:

$$\begin{cases} \frac{\partial T_M}{\partial t} = a_{31}T_B - a_{33}T_M + a_{32}d_B - a_{34}; \\ \frac{\partial T_B}{\partial z} = a_{12}T_M - a_{11}T_B; \\ \frac{\partial d_B}{\partial z} = a_{21}T_M - a_{22}d_B + a_{23}, \end{cases} \quad (24)$$

где коэффициенты a_j определяются теплофизическими параметрами хранимой продукции и воздуха, т.е.

$$\begin{aligned} a_{11} &= \left(\frac{\alpha \cdot S}{C_M \rho_M \cdot \varepsilon} + \frac{r \cdot S \cdot \beta \cdot b}{C_M \rho_M} \right); & a_{12} &= \frac{\alpha \cdot S}{C_M \rho_M \cdot \varepsilon}; & a_{13} &= \frac{1,13 \cdot r \cdot S \cdot \beta}{C_M \rho_M}; \\ a_{14} &= \frac{r \cdot S \cdot \beta \cdot a}{C_M \rho_M}; & a_{21} &= \frac{\alpha \cdot S}{v \cdot C_B \rho_B \varepsilon}; & a_{22} &= \frac{\alpha \cdot S}{v \cdot C_B \rho_B \varepsilon}; \\ a_{31} &= \frac{\beta \cdot S \cdot b}{v \cdot \rho_B \cdot \varepsilon}; & a_{33} &= \frac{1,13 \cdot \beta \cdot S}{v \cdot \rho_B \cdot \varepsilon}; & a_{34} &= \frac{a \cdot \beta \cdot S}{v \cdot \rho_B \varepsilon}. \end{aligned}$$

Вводим следующие обозначения: $x_1 = T_B$ - температура воздуха; $x_2 = d_B$ - количество влаги в воздухе; $x_3 = T_M$ - температура материала и (24) запишем систему в матричной форме:

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial x_1}{\partial t} \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0 \\ \frac{\partial x_2}{\partial z} \\ \frac{\partial x_3}{\partial z} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} -a_{11} & a_{12} & 0 \\ a_{21} & -a_{22} & 0 \\ a_{31} & a_{32} & -a_{33} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ a_{23} \\ -a_{34} \end{vmatrix}, \quad (25)$$

или сокращенно:

$$\frac{\partial \bar{X}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{X}}{\partial z} + A\bar{X} = \bar{a} \quad (26)$$

Для исследования полученной связанной системы уравнений (26) на предмет наблюдаемости приведем ее к несвязанному виду, т. е. к системе независимых уравнений. Для этого введем следующую замену формы:

$$\bar{x} = p\bar{y}, \quad (27)$$

где p - матрица с собственными векторами в столбцах, матрицы A, \bar{y} соответствующие новые неизвестные следующей функции:

$$\bar{y} = \begin{vmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{vmatrix}.$$

Дифференцируя обе части соотношения (27) сначала по t , а затем по z , подставив полученные соотношения в (26) и сделав необходимые замены формы, получим следующую систему дифференциальных уравнений относительно новых неизвестных переменных:

$$\frac{\partial \bar{y}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{y}}{\partial z} + \lambda \bar{y} = \bar{a}. \quad (28)$$

В (28) диагональная матрица, элементы которой являются собственными значениями матрицы A . Они определяются следующим образом. Запишем матрицу A в следующем виде:

$$\begin{vmatrix} -a_{11} - \lambda & a_{12} & 0 \\ a_{21} & -a_{22} - \lambda & 0 \\ a_{31} & 0 & -a_{33} - \lambda \end{vmatrix}, \quad (29)$$

где λA - собственные значения матрицы. Они определяются из следующего уравнения:

$$\lambda^3 - (a_{11} + a_{22} + a_{33})\lambda^2 + (a_{11}a_{22} + a_{11}a_{33} + a_{22}a_{33} - a_{13}a_{31} - a_{21}a_{12})\lambda + a_{13}a_{31}a_{22} + a_{33}a_{21}a_{12} - a_{11}a_{22}a_{33} = 0; \quad (30)$$

Для определенного вида продукции, хранящейся при определенных значениях a_{ij} , значения λ_1 , λ_2 и λ_3 всегда можно определить из (30).

Таким образом, при определенных значениях λ_1 , λ_2 и λ_3 система уравнений (30) становится несвязной, то есть:

$$\begin{cases} \frac{\partial y_1}{\partial t} + \lambda_1 y_1 = -a_{14}; \\ \frac{\partial y_2}{\partial z} + \lambda_2 y_2 = 0; \\ \frac{\partial y_3}{\partial z} + \lambda_3 y_3 = a_{34}. \end{cases} \quad (31)$$

Поэтому наблюдаемость системы (24) сводится к наблюдаемости системы независимых уравнений (31).

1. Наблюдаемость для уравнения системы (31):

$$\frac{\partial y_1}{\partial t} + \lambda_1 y_1 = 0, \quad (32)$$

$$\varepsilon_1(t) = h(y_1(z_1, t), y_1(z_2, t) \dots y_1(z_n, t)). \quad (33)$$

Общие условия наблюдаемости для (31) и (32) состоят в том, что уравнение (31) пересекается с (32) и должны выполняться условия наблюдаемости для системы со сложными параметрами. Решение

$$z = z_0 \quad (34)$$

оси координат, то есть по прямым линиям, параллельным осям координат

$$\left(\frac{\partial y_1}{\partial t}\right)|_0 = \lambda_1 y_1 \quad (35)$$

определяется выражением. Если рассмотреть вопрос о формулировке условий наблюдаемости по осям координат для систем с сосредоточенными параметрами, то получим следующее доказательство.

Для того чтобы система (31), (35) была полностью наблюдаемой, каждая характеристика должна пересекать траекторию изменений и

$$L_0 = |\overline{\Phi}(t_1, 0)^T C_1^T \dots \overline{\Phi}(t_j, 0)^T C_j^T|, \quad (36)$$

необходимо и достаточно, чтобы цвет матрицы был равен n , где имеет размерность $\overline{\Phi}(t, 0)(n \times n)$.

Полная наблюдаемость температурно-влажностного режима овощехранилища, выраженная системой дифференциальных уравнений, выражается следующим образом:

$$\begin{cases} x_1' + \alpha_1 x_1 = K_{12} x_2 + K_{11} u_1; \\ x_2' + \alpha_2 x_2 = K_{21} x_1 + K_{22} u_2; \\ x_3' + \alpha_3 x_3 = K_{31} x_1 + K_{32} x_2, \end{cases} \quad (37)$$

в одном измерении, то есть при измерении температуры хранимой продукции $x_3 = T_M$.

Таким образом, измеряя $y = x_3$, можно с помощью устройства слежения восстановить полный вектор состояния объекта $[x_1, x_2, x_3]^T$, выдав искомые собственные значения наблюдателю. Согласно (37) наблюдатель полного порядка представляется следующими уравнениями:

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}}_1 = K_{12}\hat{x}_2 - \alpha_1\hat{x}_1 + K_{H1}(y - \hat{x}_3) + K_{11}u_1; \\ \dot{\hat{x}}_2 = K_{21}\hat{x}_1 - \alpha_2\hat{x}_2 + K_{H2}(y - \hat{x}_3) + K_{22}u_2; \\ \dot{\hat{x}}_3 = K_{31}\hat{x}_1 + K_{32}\hat{x}_2 - \alpha_3\hat{x}_3 + K_{H3}(y - \hat{x}_3). \end{cases} \quad (38)$$

Вычитая уравнения (40) из системы (8), получаем следующее уравнение восстановления:

$$\dot{\varepsilon} = [A - K_H C] \cdot \bar{\varepsilon}, \quad (39)$$

где $\bar{\varepsilon} = \bar{x}^{(0)} - \hat{x}^{(0)}$ – ошибки оценивания переменных состояния.

Запишем систему уравнений (39) в разложенном виде:

$$\begin{cases} \varepsilon_1' = K_{12}\varepsilon_2 - \alpha_1\varepsilon_1 - K_{H1}\varepsilon_3; \\ \varepsilon_2' = K_{21}\varepsilon_1 - \alpha_2\varepsilon_2 - K_{H2}\varepsilon_3; \\ \varepsilon_3' = K_{31}\varepsilon_1 + K_{32}\varepsilon_2 - \alpha_3\varepsilon_3 - K_{H3}\varepsilon_3. \end{cases} \quad (40)$$

Система (42) соответствует следующему характеристическому уравнению:

$$-\lambda^3 + (\alpha_2 + \alpha_1 + K_{H3} + \alpha_3)\lambda^2 - (\alpha_1\alpha_2 + \alpha_2K_{H3} + \alpha_1K_{H3} + \alpha_2\alpha_3 + \alpha_1\alpha_3 + K_{31}K_{H1} + K_{32}K_{H2} - K_{21}K_{12})\lambda + (K_{21}K_{32} + \alpha_2K_{31} - K_{21}K_{12})K_{H1} + (K_{12}K_{31} + \alpha_1K_{32})K_{H2} + \alpha_1\alpha_2K_{H3} + \alpha_1\alpha_2\alpha_3 - \alpha_3K_{21}K_{12} = 0. \quad (41)$$

Согласно теории модального управления, корни (моды) характеристического многочлена замкнутой системы имеют заранее заданные значения $\lambda_1, \dots, \lambda_n$.

Четвертая глава диссертации под названием «Гибконастраиваемая система управления микроклиматом хранения быстропортящейся продукции» посвящена части-системе мониторинга, являющейся важной частью системы управления микроклиматом склада хранения быстропортящейся сельхозпродукции ХСХП, то есть часть-система, предназначенная для измерения, сбора, оценки и восстановления информации о разрозненных параметрах, описывающих текущее состояние объекта. В этом случае уравнение всей системы будет иметь следующий вид:

$$\dot{\bar{x}} = A\bar{x} + B\bar{u}; \quad (42) \quad y = C\bar{x}; \quad (43)$$

$$\dot{\hat{x}} = (A - KC)\hat{x} + K\bar{u} + B\bar{u}; \quad (44) \quad u = -p\hat{x}, \quad (45)$$

где (42), (43) – уравнения объекта с двумя входами и одним выходом, (44) и (45) – уравнения наблюдателя и регулятора полного порядка соответственно. Все уравнения записываются в векторной форме. Вводя вместо переменных x, \hat{x} переменные x, \tilde{x} , заменим уравнения (42)-(45) в следующем виде, где $\tilde{x} = \hat{x} - x$:

$$\dot{x} = (A - Bp)x - Bp\tilde{x}, \quad (46) \quad \dot{\tilde{x}} = (A - KC)\tilde{x}. \quad (47)$$

Тогда уравнение (47) вычитанием (42) из (44) и подстановкой y в Cx , (45) подстановкой $u = -p\hat{x}$ в уравнение (42) и получаем заменой $\hat{x} = x + \tilde{x}$.

Система (46) – (47) имеет следующую матрицу:

$$\begin{vmatrix} A - Bp & -Bp \\ 0 & A - KC \end{vmatrix}. \quad (48)$$

Отсюда выводится характеристический полином системы:

$$\det(\lambda E_n - A + Bp) \det(\lambda E_n - A + KC), \quad (49)$$

Он состоит в перемножении характеристических уравнений «объекта-регулятора» и замкнутой системы наблюдателя.

Таким образом p -регулятор можно синтезировать, предполагая, что переменные состояния объекта ($x_1 = T_B, x_2 = d_B, x_3 = T_M$) измеряются очень точно и следуя только желаемым динамическим характеристикам этого устройства. Функциональная схема системы термовлажностного контроля складов ХСХП разного объема (W_i) представлена на рис. 1. В его состав входит блок обработки данных и управления (БОДУ), который содержит передаточные функции, исполнительные механизмы (ИМ) и органы управления. В БОДУ передаточные функции помогают получить показания температуры и влажности в отдельном бункере за время τ_3 . В каждом бункере размещаются датчик влажности $D\varphi$ и несколько датчиков температуры D_t , которые обеспечивают необходимый уровень контроля температурно-влажностного состояния хранимого продукта.

Кроме того, предусмотрено два датчика измерения температуры наружного (t_H) и рециркуляционного воздуха (t_{pec}), эта температура участвует в качестве входного сигнала логического алгоритма, осуществляется подача воздуха в камеру кондиционирования (калорифер-охладитель-увлажнитель) по этому логическому алгоритму.

Блок обработки данных периодически по очереди опрашивает датчики температуры и влажности. При этом время удерживания τ_3 выбирается исходя из технологических требований. Определена периодичность запросов со временем τ_3 , она не должна быть чрезмерно большой, чтобы не снижать качество хранения. Малые значения τ_3 приводят к нестабильной работе технологического оборудования.

Время выдержки τ_3 – это интервал времени, который должен пройти до начала измерения температуры и влажности в бункере.

При этом мы определяем оптимальную температуру воздуха и влажность (φ, t) для каждого бункера. Подчеркнем, что необходимый объем воздуха и время передачи этого воздуха в бункер в научных работах не рассматривались. Вот почему мы сосредоточились на определении объема воздуха, необходимого для подачи в бункер.

В зависимости от мощности вентилятора можно определить время нагнетания воздуха в бункер:

$$B_i = \frac{W_i}{V_B}, \quad (50)$$

где W_i - (m^3) i – объем бункера; V_B - скорость вентилятора ($m^3/сек$); B_i - время, необходимое для подачи воздуха i в бункер. Это время необходимо учитывать при определении τ_3 .

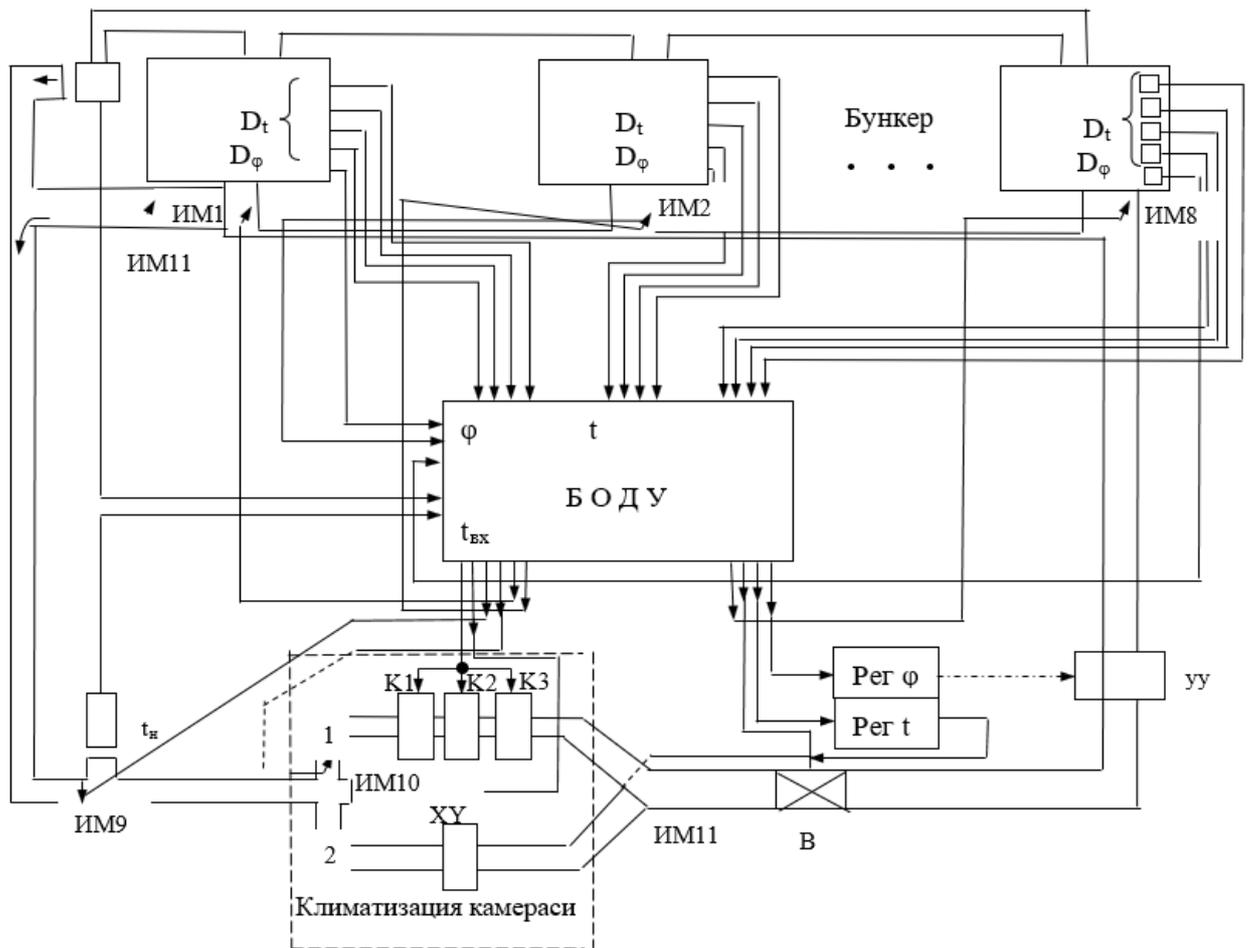


Рис. 1. Функциональная схема системы контроля температуры и влажности складов хранения быстропортящейся СХП разных объемов.

Отсюда можно установить следующее условие:

$$\tau_3 \geq \sum_{i=1}^N B_i \quad (51)$$

где N – количество бункеров.

Условие (51) может быть трудновыполнимым, в таких случаях можно применить следующее условие: $\tau_3 > N * B^* = \max(B_1, B_2, \dots, B_N) * N$; (52)

Эти условия учитываются в передаточных функциях в БОДУ следующим образом:

$$\tau_{3,B} = \sum_{i=1}^N \tau_{3,i};$$

$$\tau_{3,i} = \begin{cases} B_i a_{\text{гап}} t_i \notin [t_i^H, t_i^B], \\ 0 a_{\text{гап}} t_i \in [t_i^H, t_i^B] \end{cases}, \quad B_i = \begin{cases} B_{\text{кол}}(t_i^H - t_i) a_{\text{гап}} t_i < t_i^H, \\ B_{\text{ху}}(t_i - t_i^B) a_{\text{гап}} t_i > t_i^B \end{cases},$$

где t_i^H, φ_i^H - i -нижнее значение температурно-влажностного стандарта бункера; t_i^B, φ_i^B - i -верхнее значение температурно-влажностного стандарта бункера; $\Delta t_i, \Delta \varphi_i$ – скорости естественного изменения температуры и влажности i -бункера в единицу времени в случаях отсутствия воздействия на систему. Если $\Delta t_i < 0$, бункер охлаждается, в противном случае $\Delta t_i > 0$ происходит нагрев. $B_{\text{кол}}(t_i^H - t_i), B_{\text{ху}}(t_i - t_i^B)$ – время, необходимое для

нагрева воздуха до температуры t_1^H с помощью калорифера и охлаждения до температуры t_1^B с помощью охладителя; $t_i - i$ – температура бункера.

Можно предложить следующее:

$$B_{кол}(t_i^H - t_i) = \frac{1}{V_{кол}}(t_i^H - t_i), \quad B_{xy}(t_i - t_i^B) = \frac{1}{V_{кол}}(t_i - t_i^B),$$

где коэффициент $\alpha, 1/V_{xy}$ соответствует нагреву или нагреву 1м^3 воздуха на один градус. В целом

$$B_{кол}(t_i) = B_{кол}(t_i, t_{pec}, t_H), \quad B_{xy}(t_i) = B_{xy}(t_i, t_{pec}, t_H).$$

$$B_{кол}(t_i) = \begin{cases} 0, & \text{если } t_i^H < t_i < t_i^B; \\ \frac{\max(t_{pec}, t_H) - t_i^H}{V_{кол}}, & \text{если } t_i < t_{pec}, t_H < t_i^H; \end{cases}$$

$$B_{xy}(t_i) = \begin{cases} 0, & \text{если } t_i^H < t_i < t_i^B; \\ \frac{\min(t_{pec}, t_H) - t_i^B}{V_{xy}}, & \text{если } t_i^B < t_{pec}, t_H < t_i; \end{cases}$$

где V_{xy} - скорость охлаждения воздуха с помощью охлаждающего устройства;

$V_{кол}$ – скорость нагрева воздуха калорифером.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного диссертационного исследования на тему «Адаптивные модели гибконастраиваемой системы управления микроклиматом хранения быстропортящейся сельхозпродукции» представлены следующие выводы:

1. На основе анализа особенностей и моделей процессов информационного обмена и обработки данных в инфраструктуре хранения быстропортящейся сельхозпродукции, анализа методов оценки систем управления объектами агрегированных и распределенных параметров, структуры совершенствования системы управления микроклиматом получена возможность регулирования температурно-влажностного режима складов хранения различной органической продукции;

2. На основе формирования принципов и критериев сезонного хранения быстропортящейся сельхозпродукции, классификации факторов микроклимата и адаптивная модель процессов тепло- и массообмена на складах хранения продукции удалось добиться увеличения срока хранения продукции и спрогнозировать условия;

3. На основе формирования условий мониторинга микроклиматических режимов хранения быстропортящейся сельхозпродукции алгоритм размещения полностью упорядоченных наблюдателей и средств измерения переменных состояния склада позволил изменять температурно-влажностный режим склада в зависимости от вида сельскохозяйственной продукции;

4. Функциональные модели синтеза, алгоритмы и программный комплекс гибконастраиваемой системы управления температурно-влажностными режимами складов хранения сельскохозяйственной продукции и овощей различных объемов обеспечили возможность длительного хранения продукции без снижения показателей качества.

5. Внедрение моделей процессов обеспечения микроклимата складов сезонного хранения быстропортящейся сельскохозяйственной продукции и методов температурно-влажностного регулирования в ООО «Кифти-об мевалари», Кашкадарьинская область, позволило достичь годовой экономической эффективности в размере 302 575 тыс.сум при коэффициенте эффективности $E_n = 0,15$.

6. Внедрение технологического устройства с системой устройства увлажнения и системой вентиляции воздуха в плодоовощном хранилище ООО «Тагоб мевалари нур», Кашкадарьинская область, для управления микроклиматом хранения быстропортящихся продуктов на овощехранилищах разных объемов и внедрение системы управления позволило увеличить срок хранения хранимой продукции на 12%.

7. В плодоовощном хранилище Жовузского государственного лесного хозяйства Кашкадарьинской области внедрены адаптивные модели процессов обмена информацией и обработки данных в инфраструктуре управления микроклиматом хранения быстропортящейся сельхозпродукции. В результате обеспечение микроклимата складов сезонного хранения сельхозпродукции в соответствии с видом продукции позволило увеличить срок хранения быстропортящейся сельхозпродукции на 7-8% и размер чистой прибыли в 1,07 раза при сохранении показателей качества.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.13/05.05.2023.T.07.03 AT TASHKENT UNIVERSITY OF
INFORMATION TECHNOLOGIES**

KARSHI STATE UNIVERSITY

PIROVA RASHIDA KUDRATOVNA

**ADAPTIVE MODELS OF A FLEXIBLE MICROCLIMATE CONTROL
SYSTEM FOR STORING PERISHABLE AGRICULTURAL PRODUCTS**

05.01.02 – System analysis, management and information processing

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

Tashkent – 2024

The theme of doctor of philosophy (PhD) in technical sciences was registered at the Supreme attestation commission at the Ministry of higher education, science and innovation of the Republic of Uzbekistan under number B2019.4.PhD/T907.

The dissertation has been prepared at Karshi State University.

The abstract of dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume) on the website of the Scientific council (www.tuit.uz) and on the website of "Ziyonet" (www.ziyonet.uz).

Scientific adviser: **Yakubov Sabir Khalmuradovich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Official opponents: **Sevinov Jasur Usmonovich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Doshanova Malika Yuldashovna
Doctor of Philosophy in technical sciences (PhD), Docent

Leading organization: **Termez state university**

The defense of the dissertation will take place “____” _____ 2024 at ____ at the meeting of the Scientific council No. DSc.13/05.05.2023.t.07.03 at Tashkent University of Information Technologies. (Address: 100084, Tashkent, Amir Temur, 108 Tel.: (99871) 238-64-43, e-mail: ilmiy_kengash@tuit.uz).

The dissertation can be reviewed at the Informational-Resource Center of Tashkent University of Information Technologies (is registered under number No. ____). (Address: 100084, Tashkent, Amir Temur Ave., 108 Tel.: (99871) 238-64-70).

Abstract of dissertation sent out on “____” _____ 2024-y.
(mailong report No. ____ on “____” _____ 2024-y)

M.M. Kamilov
Chairman of the Scientific council awarding scientific degrees, Doctor of Technical Sciences, professor, academician of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

N.A. Egamberdiev
Scientific secretary of the Scientific council awarding scientific degrees, Doctor of Philosophy in technical sciences (PhD)

N.O. Rakhimov
Chairman of the Scientific seminar under Scientific council awarding academic degrees, Doctor of Technical Sciences, docent

INTRODUCTION

(abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (PhD))

The purpose of the research is to improve adaptive models, to develop algorithms for the processes of seasonal storage of perishable agricultural products, and to develop on their basis a flexible microclimate control system.

The object of study is a microclimate control system for storing perishable agricultural products.

The scientific novelty of the research consists of the following:

based on the analysis of the information exchange process between measuring devices and the control operator in the infrastructure of agricultural product storage warehouses, and considering the characteristics of perishable agricultural products, a system for managing the microclimate of storage warehouses for multi-parameter agricultural products has been improved through intelligent data processing;

based on the formation of principles and criteria for managing the seasonal storage processes of agricultural products in warehouses, a classification of factors forming the warehouse microclimate and an adaptive model of heat and mass transfer processes in storage facilities have been developed in the form of regression equations using the least squares method;

based on the formation of conditions for observing the microclimate regimes for storing perishable agricultural products using measuring devices, an algorithm for placing measuring devices along the perimeter of the warehouse for dynamic monitoring of microclimate changes has been developed, depending on the type of product, volume, and storage duration;

a system for managing the temperature and humidity regimes of storage facilities for various volumes of perishable vegetables has been developed based on the generalization of models and a software package in an adaptive control system.

Implementation of research results. Based on scientific results obtained on adaptive models, algorithms and software package for the microclimate control system of warehouses for seasonal storage of perishable agricultural products:

In the Kashkadarya region, Kifti-ob Mevalari LLC has introduced models of processes for maintaining the microclimate of warehouses for seasonal storage of agricultural products and methods of temperature and humidity regulation. (Certificate of the Department of Agriculture of the Kashkadarya Region No. 01/1779 dated October 27, 2023).

As a result of the introduction of a model of a flexible control system for the temperature and humidity conditions of storage of perishable agricultural products, as well as an adaptive control system, annual economic efficiency was achieved in the amount of 302,575 thousand soums with an efficiency coefficient of $En = 0.15$.

At the fruit and vegetable warehouse of Tagob Mevalari Nur LLC, Kashkadarya region, a technological device with an air humidification and ventilation system for storing fruit and vegetable products was introduced. (Certificate of the Department of Agriculture of the Kashkadarya Region No. 01/1779 dated October 27, 2023). As a result of the introduction of a system for monitoring and managing the microclimate of storing perishable products in vegetable storage facilities of various sizes, the shelf life of products was increased by 12%.

In the fruit and vegetable storage facility of the Zhovuz state forestry enterprise of the Kashkadarya region, adaptive models of information exchange and data processing processes have been introduced in the microclimate management infrastructure for storing perishable agricultural products and a software package that provides management. (Certificate of the Department of Agriculture of the Kashkadarya Region No. 01/1779 dated October 27, 2023). Providing a microclimate in warehouses for seasonal storage of agricultural products in accordance with the type of product made it possible to increase the shelf life of perishable agricultural products by 7-8% and the amount of net profit by 1.07 times while maintaining quality indicators.

Structure and scope of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 118 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo‘lim (Часть I; Part I)

1. Якубов С.Х., Пирова Р.К. Моделирование и управление объектами с распределенными параметрами при неполной информации о векторе переменных состояния // Монография. М.: «ИНФРА-М». 2022. – 128 с.

2. Бекмуратов Т.Ф., Исаев С.М., Пирова Р.К. Экспериментальное исследование динамических и статических характеристик температурно-влажностного режима овощехранилищ//Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». №2 . Ташкент-2002. – С.66-69. (05.00.00; № 05).

3. Бекмуратов Т.Ф., Исаев С.М., Пирова Р.К. Сабзавот сақлаш омборларида ҳарорат-намлик режимларини бошқаришда датчикларнинг оптимал сонини аниқлаш масаласига доир// «Информатика ва энергетика муаммолари»Ўзбекистон журнали.№3. Ташкент-2002.–Б.50-56. (05.00.00; № 05).

4. Шойкулов А., Мансуров А., Пирова Р. Математическое моделирование тепло обменных процессов воздуха в одиночном подземном вентиляционном канале // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». №2-3. Ташкент-2006. – С.107-111. (05.00.00; № 05).

5. Пирова Р.К., Исаев С.М. Формализация условий наблюдаемости режимов овощехранилища при полной информации о векторе состояния // Научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». №3. Ташкент-2011. – С. 70-75 . (05.00.00; № 12).

6. Пирова Р.К., Исаев С.М. Моделирование наблюдаемости режимов овощехранилища в условиях неполной информации о векторе переменных состояния // Научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». №5. Ташкент-2011. – С. 75-77 . (05.00.00; № 12).

7. Pirova R.K. Structural synthesis of an observing device in the microclimate control system of a vegetable storehouse // International journal of advanced research in science “Engineering and technology”. Vol 6(1). January- 2019. – P. 7745-7750. (05.00.00; № 8).

8. Yakubov S.Kh., Pirova R.K. Climate Management System in the Vegetable Storage of Perishing Agricultural Products//International Journal of Latest Engineering Research and Applications. Vol.–06. Issue – 09. September-2021. – P. 24-32. (№ 15).

9. Pirova R.K. Models regulation of room microclimate parameters storage of agricultural products//American Journal of Multidisciplinary Research and Development. Vol. 03. Issue 10. October-2021. –P. 54-62. (№ 5, 12).

II bo‘lim (Часть II; Part II)

10. Бекмуратов Т.Ф., Пирова Р.К., Исаев С.М. Разработка и исследование математической модели хранения картофеля (лука), в основе функционирования которой лежат процессы тепло- и массообмена // Вопросы кибернетики, №161. Ташкент-2001, – С. 32-38.

11. Бекмуратов Т.Ф., Исаев С.М. Пирова Р.К. Исследование информационных характеристик процесса хранения овощей (картофель, лук)// Республиканская научно–практическая конференция «Проблемы математического моделирования и управления процессами в экономических сетях», 2001, Карши, – С. 53-54.

12. Бекмуратов Т.Ф., Пирова Р.К., Исаев С.М. К вопросу синтеза САУ микроклиматом овощехранилищ при наличии в контуре микроЭВМ. // Сборник научных статей международной конференции «Инновация-2002». Ташкент, 2002. – С.182-184.

13. Пирова Р.К., Исаев С.М. Модельное исследование качеством управления температурно-влажностными режимами овощехранилищ.// Сборник тезисов республиканской научно-практической конференции «Использование солнечной энергии: проблемы и решения». Бухара, 2002. – С. 91-93.

14. Пирова Р.К. Разработка динамической модели температурно-влажностного режима для управления тепловыми процессами.//Труды международной научной конференции «Дифференциальные уравнения с частными производными и родственные проблемы анализа и информатики». Ташкент, 2004. Том II. – С. 288- 292.

15. Пирова Р.К. Наблюдаемость и выбор размещения измерений температурно-влажностного поля хранимой продукции в овощехранилищах. // Сборник тезисов республиканской научно-практической конференции «Қасб таълими йўналишида инженер-педагоглар тайёрлаш истиқболлари: тажриба ва муаммолар». Қарши, 2005, – С.193-194.

16. Пирова Р.К. Математическая модель переменного состояния по данной передаточной функции // «Проблемы современной математики». Труды научной конференции. Карши, 2011. 22-23 апрел. – С.487-489

17. Пирова Р.К. Анализ результатов программной реализации и расчетно-экспериментальных динамических характеристик овощехранилища // Республиканская научно-практическая конференция «Проблемы математического моделирования и управления процессами в отраслях экономики». Қарши, 2011 й. 22-23 апрель. – С. 62-63.

18. Пирова Р.К. Структура наблюдающего устройства в системе автоматического управления микроклиматом овощехранилищ // Республиканской научно-технической конференции «Актуальное использование альтернативных источников энергии». 28-29 апрель Қарши 2014, – С. 234-235

19. Пирова Р.К., Якубов С.Х. Функциональный синтез системы управления температурно-влажностными режимами овощехранилищ с разными объемами//Международная научно-техническая конференция “Перспективные информационные технологии”. Самара, 2018. 14 – 16 апреля.– С.172-177

20. Пирова Р.К. Қишлоқ хўжалик маҳсулотларини сақлаш микроклимини ўлчаш қурилмаларини жойлаштириш алгоритми. // “Математик моделлаштириш, ҳисоблаш математикаси ва дастурий таъминот инженериясининг долзарб муаммолари”. Республика илмий анжуман. Қарши, 2020. 23-24 октябрь. – Б. 251-255

21. Пирова Р.К. Сабзавот омборхоналари микроклимини бошқариш муаммолари таҳлили // «Ахборот-коммуникация технологиялари ва дастурий таъминот яратишда инновацион ғоялар». Республика илмий-техник конференция. Самарқанд, 2020. 15-16 май. – Б. 110-113.

22. Пирова Р.К. Тез бузилувчи мева ва сабзавотларни сақлаш жараёнининг тизимли таҳлили // “Олий таълим тизимида масофали таълимни жорий этишнинг техник-дастурий ва услубий таъминотини такомиллаштириш истикболлари”. Республика илмий-амалий конференция. Қарши. 2021. 28-май. – Б.125-126

23. Якубов С.Х., Пирова Р.К. Автоматизация управления технологическими процессами овощехранилищ.//Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы оптиматизации и автоматизации технологических процессов и производств». Карши, 2017. 17-18 ноябрь. – С. 27-29.

24. Якубов С.Х., Пирова Р.К. Математического моделирования технологического процесса овощехранилищах // Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы оптиматизации и автоматизации технологических процессов и производств». Карши, 2017. 17-18 ноябрь. – С. 46-48.

25. Якубов С.Х., Пирова Р.К. Моделирование и управление объектами с распределенными параметрами при неполной информации // Республиканской научно-практической конференции «Актуальные проблемы математического моделирования, алгоритмизация и программирования». Тошкент, 2018. 17-18 сентябрь. – Б. 311-316.

26. Pirova R. Approach to realization of mathematical models of the processes of heat exchange in vegetable storehouses // The Second International Conference “Problems of Cybernetics and Informatics”. September 10-12, Azerbaijan, 2008. – P. 87-89. www.pci2008.science.az/5/26.pdf.

27. Pirova R.K. Algorithm of estimation of the observer of the full order for variables of the condition of vegetable storehouses // Seventh World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation. Tashkent, 2012. –P.148-152

28. Пирова Р. Қишлоқ хўжалик маҳсулотларини сақлашда омборлардан самарали фойдаланиш //Халқаро конференция Интеллектуал ахборот-коммуникация технологияларидаги сўнги ютуқлар «ISPS-2022», 23-24 ноябрь, 2022, Тошкент, – Б. 112-116.

29. Yakubov S., Isakov A., Pirova R. Calculation of heat and moisture regime in vegetable storages for optimum microclimate control //AIP Conference Proceedings 2686, 020020 (2022) <https://doi.org/10.1063/5.0114011>

30. Yakubov S., Isakov A., Pirova R. Models and algorithms for regulating microclimate parameters in storage facilities of agricultural products//AIP Conference Proceedings 2686, 020022 (2022) <https://doi.org/10.1063/5.0114014>

31. Yakubov S., Isakov A., Pirova R., Shadmanova G. Automatic control of active ventilation systems in agricultural products storage facilities // E3S Web of Conferences 365, 04026 (2023) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202336504026>

32. Bekmuratov T.F., Bobomurodov O.J., Pirova R.Q. Sabzavot saqlash omborlarining xarorat-namlik rejimini tahlil qilish // O‘zbekiston Respublikasi

davlat patent idorasi EHM uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risidagi guvohnomasi № DGU 01856, Toshkent, 06.11.2009.

33. Pirova R.Q. Sabzavot saqlash omborxonalarida harorat va namlikni o'lchash ko'rsatkichlari ma'lumotlar bazasi// O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligining ma'lumotlar bazasining rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risidagi guvohnomasi № BGU 00949, Toshkent 11.02.2023.

Avtoreferat “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” ilmiy jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazildi va o‘zbek, rus, ingliz tillaridagi matnlarini mosligi tekshirildi