

**TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.09/2025.27.12.T.01.03 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

ZARIPOVA SHAHLO OLIMOVNA

**DINAMIK OBYEKT LARNI BOSHQARUV
TIZIMLARIDA ADAPTIV FILTRLASH ALGORITMLARI**

05.01.02 – Tizimli tahlil, boshqaruv va axborotlarni qayta ishlash

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

Toshkent– 2026

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Zaripova Shahlo Olimovna

Dinamik obyektlarni boshqaruv tizimlarida adaptiv filtrlash algoritmlari3

Зарипова Шахло Олимовна

Алгоритмы адаптивной фильтрации в системах управления динамическими объектами.....21

Zaripova Shakhlo Olimovna

Adaptive filtering algorithms in dynamic object control systems39

E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati

Список опубликованных работ

List of published works43

**TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.09/2025.27.12.T.01.03 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

ZARIPOVA SHAHLO OLIMOVNA

**DINAMIK OBYEKTЛАRNI BOSHQARUV
TIZIMLARIDA ADAPTIV FILTRLASH ALGORITMLARI**

05.01.02 – Tizimli tahlil, boshqaruv va axborotlarni qayta ishlash

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

Toshkent– 2026

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan №B2025.3.PhD/T5875 raqam bilan ro‘yxatga olingan.

Dissertatsiya Toshkent davlat texnika universitetida bajarilgan.

Dissertatsiyaning avtoreferati uchta tilda (o‘zbek, rus, ingliz (annotatsiya)) ilmiy kengashning saytiga (www.tuit.uz) va “Ziyonet” axborot-ta’lim portaliga (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Sevinov Jasur Usmonovich
texnika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Nurmuxamedov Tolaniddin Ramziddinovich
texnika fanlari doktori, professor

Seytov Aybek Jumabayevich
texnika fanlari doktori, professor

Yetakchi tashkilot:

O‘zbekiston Milliy universiteti

Dissertatsiya himoyasi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti huzuridagi DSc.09/2025.27.12.T.01.03 raqamli Ilmiy kengashning 2026-yil “10” iyun soat 14⁰⁰ dagi majlisida bo‘lib o‘tadi. (Manzil: 100084, Toshkent shahri, Amir Temur shohko‘chasi, 108-uy. Tel.: (99871) 238-64-43, e-mail: ilmiy_kengash@tuit.uz).

Dissertatsiya bilan Muhammad al-Xorazmiy nomli Toshkent axborot texnologiyalari universiteti axborot-resurs markazida tanishish mumkin (ro‘yxatga olish raqami 422) (Manzil: 100084, Toshkent shahri, Amir Temur shohko‘chasi, 108-uy Tel.: (99871) 238-64-70).

Dissertatsiya avtoreferati 2026-yil “22” may kuni tarqatildi.
(2026-yil “22” may dagi 22-raqamli reestr bayonnomasi).



M.M. Kamilov

M.M. Kamilov
Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash raisi, texnika fanlari doktori,
professor, O‘zR FA akademigi

N.A. Egamberdiyev

N.A. Egamberdiyev
Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash kotibi, texnika fanlari
bo‘yicha falsafa doktori (PhD)

N.O. Raximov

N.O. Raximov
Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash huzuridagi ilmiy seminar raisi,
texnika fanlari doktori, dotsent

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda so‘nggi yillarda murakkab dinamik obyektlarni boshqarish tizimlarida axborotni qayta ishlash, noaniqlik va tashqi ta’sirlar mavjud sharoitlarda ishonchli boshqaruvni ta’minlash masalalari ustuvor ahamiyat kasb etmoqda. Hozirgi kunda AQSh, Germaniya, Yaponiya, Janubiy Koreya, Rossiya va Buyuk Britaniya kabi yetakchi mamlakatlarda adaptiv filtrlash algoritmlari sanoat obyektlarida qo‘llanilib, ishlab chiqarish jarayonlarining barqarorligini ta’minlash, nosozliklarni erta aniqlash va energiya hamda resurslardan samarali foydalanish imkonini bermoqda. Bu borada, sensorlardan kelayotgan shovqinli signallarni qayta ishlash, parametrlarni real vaqtda baholash va boshqaruv qarorlarini optimallashtirish orqali texnologik jarayonlarda axborotlarni qayta ishlashning sifatini oshirish, boshqarish tizimlarining ishonchliligini ta’minlash, avariya holatlarni kamaytirish va ishlab chiqarish samaradorligini oshirish kabi muhim amaliy vazifalarga alohida e’tibor qaratilmoqda. Shu sababli, dinamik obyektlarning boshqarish tizimlarida adaptiv filtrlash algoritmlarini ishlab chiqish, ularni real ishlab chiqarish sharoitiga moslashtirish va joriy etish, shu orqali tizimlarning aniqligi, turg’unligi va ishonchliligini oshirish bugungi kunda dolzarb amaliy masalalardan biri hisoblanadi.

Jahonda dinamik jarayonlar va ishlab chiqarishni boshqarish tizimlarini sintez qilishning samarali usullari va algoritmlarini takomillashtirishga, jumladan dinamik obyektlarning boshqaruv tizimlarida adaptiv filtrlash muammolariga qaratilgan keng ko‘lamli ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Ayniqsa, boshqarish tizimlarida filtrlash usullari, adaptiv filtrlash uchun iterativ va muntazam usullar, sun’iy neyron tarmoqli adaptiv gibrid filtrlash algoritmlari, barqaror bo‘lgan hisoblash sxemalari, adaptiv filtrlarni tatbiq etishning sonli usullari, ma’lumotlarni qayta ishlash usullari asosida ishonchlik va axborotni tahlil qilish tizimlarini takomillashtirish usullarini ishlab chiqish yo‘nalishlariga alohida e’tibor qaratilmoqda.

Respublikamizda kimyo, neft-gaz, oziq-ovqat, energetika, mashinasozlik, va qayta ishlash sohalarida, xususan, ushbu sohalarida energiya va resurs tejamkorlikni ta’minlovchi, takomillashgan adaptiv boshqarish tizimlarini loyihalash va ishlab chiqish hamda amaliyotga joriy etishga alohida e’tibor qaratilmoqda. Bu borada «Raqamli O‘zbekiston-2030» strategiyasida, jumladan “ ... iqtisodiyotning real sektori tarmoqlaridagi korxonalarda boshqaruv, ishlab chiqarish va logistika jarayonlarini avtomatlashtirish bo‘yicha 280 dan ortiq axborot tizimlari va dasturiy mahsulotlar joriy etish”¹ kabi vazifalar belgilab berilgan. Mazkur vazifalarni amalga oshirishda, jumladan, ishlab chiqarishda jarayonlarni avtomatlashtirish va boshqarish, axborot tizimlari va dasturiy mahsulotlarni ishlab chiqish muhim vazifa hisoblanadi.

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, 2025 yil 30 yanvardagi PF-16-son “O‘zbekiston-2030” strategiyasini “Atrof-muhitni asrash va yashil iqtisodiyot” yilida amalga oshirishga

¹O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 05.10.2020 yildagi PF-6079-son “«Raqamli O‘zbekiston-2030» strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi Farmoni.

oid davlat dasturi to‘g‘risida”gi Farmonlari, 2024-yil 14-oktyabrdagi PQ-358-son “Sun’iy intellekt texnologiyalarini 2030 yilga qadar rivojlantirish strategiyasini tasdiqlash to‘g‘risida”gi qarori hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me‘yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishga ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

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

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Dinamik obyektlarning boshqaruv tizimlarida adaptiv filtrlash usullari va algoritmlarini ishlab chiqish bo‘yicha o‘tkazilgan tadqiqotlarga tegishli bo‘lgan so‘nggi yillardagi ilmiy-texnik adabiyotlar tahlili ushbu sohada ahamiyatli darajadagi nazariy va amaliy natijalarga erishilganligidan darak beradi. Adaptiv filtrlash va boshqarish tizimlarini sintezlash muammolariga bag‘ishlangan ko‘p sondagi ishlar nashr etilgan, umumnazariy mezonlar ishlab chiqilgan, yechilgan amaliy masalalar soni ortib bormoqda. Jahon miqyosidagi yetakchi ilmiy markazlar va oliy o‘quv yurtlari, jumladan University of Cambridge (Buyuk Britaniya), California Institute of Technology, University of Princeton, Massachusetts Institute of Technology (AQSh), KAIST - Korea Advanced Institute of Science & Technology (Janubiy Koreya), N.E.Bauman nomidagi Moskva davlat texnika universiteti (Rossiya), Nagoya University (Yaponiya) va Toshkent davlat texnika universitetida keng qamrovli ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda.

Dinamik obyektlarning boshqaruv tizimlarida adaptiv filtrlash usullari va algoritmlarini ishlab chiqish, tizimli tahlil qilish, boshqaruv va axborotlarni qayta ishlash va takomillashtirish rivojiga ko‘plab xorijiy olimlar, jumladan, D.Simon², S.Haykin³, D.P.Kim⁴, V.I.Djigan⁵, A.B.Sergienko⁶, D.Makkonnell⁷, V.O.Nikiforov⁸, shuningdek mamlakatimizdan N.P.Yusupbekov⁹, M.M.Kamilov¹⁰, X.Z.Igamberdiyev¹¹, T.F.Bekmuratov¹², M.A.Ismailov, A.A.Kadirov, I.X.Siddikov¹², A.R.Maraximov¹², O.O.Zaripov¹³, J.U.Sevinov¹³ va boshqa olimlar o‘zlarining katta hissalarini qo‘shishgan.

Shu bilan birga, dinamik obyektlarning boshqarish tizimlarini sintez qilishda so‘nggi yillarda ilmiy-tadqiqotlar doirasining murakkablashishi va kengayishi ularning dinamik obyektlarni boshqaruv tizimlarida adaptiv filtrlash yangi samarali usullar va algoritmlarni ishlab chiqishni talab qiladi. Obyektning o‘lchash

²Simon D. Optimal State Estimation: Kalman, H Infinity, and Nonlinear Approaches. – Wiley-Interscience, 2006. – 552 p.

³Haykin S. Adaptive Filter Theory. – 5th ed. – Pearson, 2013. – 928 p.

⁴Ким Д.П. Теория автоматического управления. – М.: Издательство Юрайт, 2025. – 309 с.

⁵Джиган В.И. Параллельные вычисления в RLS-алгоритмах адаптивной фильтрации // Вестник Московского государственного технического университета им.Н.Э.Баумана. Серия «Приборостроение», 2006, №1. – С.30-49.

⁶Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. Учебн. пособие, 3-е изд.-е. – С.-Пб.: БХВ-Петербург, 2011.

⁷Макконнелл Д. Анализ алгоритмов: активный обучающий подход. – Санкт-Петербург: Питер, 2019. – 416 с.

⁸Никифоров В.О. Адаптивное и робастное управление с компенсацией возмущений. – М.: Наука, 2003. – 282 с.

⁹Yusupbekov N., Adilov F., Ivanyan A., Abdurasulov F. Application of digital twin technologies in mining industrial branch // E3S Web of Conferences 417, 05016, 2023.

¹⁰Камилов М.М., Фазилов Ш.Х., Мирзаев Н., Раджабов С.С. Модели алгоритмов распознавания, основанных на оценке взаимосвязанности признаков. Монография. – Ташкент: изд-во "Фан ва технология", 2020, – 148 с.

¹¹Игamberдиев Х.З., Юсупбеков А.Н., Зарипов О.О. Регулярные методы оценивания и управления динамическими объектами в условиях неопределенности. – Т.: ТашГТУ, 2012. – 320 с.

¹²Бекмуратов Т.Ф. Систематизация задач интеллектуальных систем поддержки принятия решений // Проблемы информатики и энергетики. 2003. №4. – С.24-35.

¹²Марахимов А.Р., Игamberдиев Х.З., Юсупбеков А.Н., Сидиков И.Х. Нечетко множественные модели и интеллектуальное управление технологическими процессами. – Т.: ТашГТУ, 2014. – 240 с.

¹³Игamberдиев Х.З., Севинов Ж.У., Зарипов О.О. Регулярные методы и алгоритмы синтеза адаптивных систем управления с настраиваемыми моделями. - Т.: ТашГТУ, 2014. – 160 с.

xatoliklarining o‘zaro bog‘liqligi sharoitida filtrlarning o‘z-o‘zidan moslashuvchanligini yaxshilash va bu baholashlarning haqiqiy qiymatlarga yaqinlashishini ta‘minlash kerak bo‘ladi. Shu sababli, oddiy filtrlash, boshqarish va axborotlarni qayta ishlash usullari ushbu tizimlarni to‘liq boshqarish uchun yetarli bo‘lmaydi. Dastlabki ma‘lumotlarga eng yaqin bo‘lgan yechim tanlanadigan dinamik obyektlarning boshqarish tizimlarida adaptiv filtrlashning iteratsion algoritmlari, additiv shovqinli noxiziqli tizimlar uchun QR-dekompozitsiya, Xoleski koeffitsiyentini yangilash va eng kichik kvadratlar usuli konsepsiyalari asosida adaptiv filtrlash algoritmlari, Kalman statsionar filtrning kuchaytirish koeffitsiyentini hisoblash uchun iteratsion va algebraik algoritmlar, Kalman filtrning kuchaytirish koeffitsiyentini baholashning muntazam algoritmlari, adaptiv filtr tarkibida sun‘iy neyron tarmog‘i bo‘lgan adaptiv gibril filtrlash algoritmlari to‘liq ishlab chiqilmagan.

Bundan tashqari, filtrning samaradorligi asosan obyekt shovqini va o‘lchash halaqitlarining intensivligi bilan belgilanadigan dinamik obyektlarni boshqarish masalalari uchun Kalman filtrini amalga oshirishning sonli algoritmlarini hamda axborotni qayta ishlashning kompyuter usullariga asoslangan ishonchlilikni oshirish usullarini va axborotni tahlil qilish tizimlarini ishlab chiqishni talab qiladi. Bundan kelib chiqib, dinamik obyektlarni adaptiv filtrlash boshqarish tizimlarini qurish va amalga oshirishning algoritmik protseduralari doirasini kengaytiradi va ularning ishlash samaradorligini oshiradi. Yuqorida aytib o‘tilganlardan dinamik obyektlarning boshqaruv tizimlarida adaptiv filtrlash usullari va algoritmlarini ishlab chiqish, adaptiv boshqarish tizimlarini sintez qilish va axborotlarni qayta ishlashning samarali algoritmlarini modifikatsiyalash va yangilarini yaratishga bo‘lgan ehtiyoj borligi haqida xulosa chiqarishga asos bo‘ladi.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta‘lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalarini bilan bog‘liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Toshkent davlat texnika universiteti ilmiy-tadqiqot ishlari rejalarining №OT-F4-78 – “Identifikatsion yondashuv asosida dinamik obyektlarni adaptiv boshqarish sistemalari sintezining nazariy asoslari va muntazam usullarini ishlab chiqish” (2017-2020 yy.) va №FL-9524115106 – “Texnologik jarayonlarni kompleks avtomatlashtirish konsepsiyasi va metodologiyasini yaratish va nazariyasini takomillashtirish” (2025-2029 yy.) mavzusidagi loyihalari doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi axborotlarni tahlil qilish va qayta ishlash asosida dinamik obyektlarning boshqaruv tizimlarida adaptiv filtrlash algoritmlarini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

dinamik obyektlarning boshqaruv tizimlarida adaptiv filtrlash usullari va algoritmlarining hozirgi holati va rivojlanish tendensiyalarini tizimli tahlil qilish;

additiv shovqinli noxiziqli tizimlar uchun adaptiv filtrlash algoritmlarini ishlab chiqish;

adaptiv filtr tarkibida sun‘iy neyron tarmog‘i bo‘lgan adaptiv gibril filtrlash algoritmlarini ishlab chiqish;

chiziqli tizimlarni parametrik identifikatsiyalash masalasini yechish uchun yaxlitlash xatolariga nisbatan sonli barqaror hisoblash sxemasini ishlab chiqish;

Kalman statsionar filtrining kuchaytirish koeffitsiyentini hisoblash uchun iteratsion va algebraik algoritmlarni ishlab chiqish;

ma'lum bir dinamik obyektning adaptiv boshqaruv tizimini sintez qilish masalasini yechish va holatni barqaror baholashda ishlab chiqilgan algoritmlar va hisoblash sxemalarini amaliy sinovdan o'tkazish.

Tadqiqotning obyekti sifatida dinamik obyektlarning boshqaruv jarayonlari olingan.

Tadqiqotning predmeti boshqaruv obyektlari holatini dinamik filtrlash algoritmlari hisoblanadi.

Tadqiqotning usullari. Tadqiqot jarayonida tizim tahlil tamoyillari, adaptiv boshqarish nazariyasi, dinamik filtrlash, muntazamlash, axborotni qayta ishlash va ishonchlilikni oshirish usullaridan foydalanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

o'lchash xatoliklarining o'zaro bog'liqligi sharoitida filtrlarning o'z-o'zidan moslashuvchanligini yaxshilash va bu baholashlarning haqiqiy qiymatlarga yaqinlashishini ta'minlash imkonini beruvchi QR-dekompozitsiya, Xoleski koeffitsiyentini yangilash va eng kichik kvadratlar usuli konsepsiyalari asosida additiv shovqinli noxiziqli tizimlar uchun adaptiv filtrlash algoritmlari ishlab chiqilgan;

neyron tarmog'ini o'qitish va filtrlash jarayonlari uchun vazn koeffitsiyentlarini o'lchanayotgan hamda kuzatilayotgan ko'rsatkichlarning statistik xususiyatlariga moslashtirishga imkon beradigan adaptiv filtr tarkibida sun'iy neyron tarmog'i bo'lgan adaptiv gibrid filtrlash algoritmlari ishlab chiqilgan;

hisoblash aniqligini va baholash algoritmining ishonchliligini oshirish imkoniyatini beradigan gradiyent optimallashtirish usullari yoki Nyuton tipidagi usullarni qo'llagan holda chiziqli tizimlarni parametrik identifikatsiyalash masalasini yechish uchun yaxlitlash xatolariga nisbatan sonli barqaror hisoblash sxemasi ishlab chiqilgan;

barqaror holatda kuchaytirish koeffitsiyentini yoki dinamik filtr parametrlarini mustaqil ravishda hisoblash imkonini beradigan Kalman statsionar filtrining kuchaytirish koeffitsiyentini hisoblash uchun iteratsion va algebraik algoritmlari ishlab chiqilgan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

obyekt parametrlari, shovqin va g'alayonlarning hisoblash aniqligini oshirish imkonini beruvchi adaptiv filtrlash algoritmlari ishlab chiqilgan;

propan-butan aralashmasini ajratish jarayonining texnologik rejimini barqarorlash imkonini beruvchi sun'iy neyron tarmoqli adaptiv gibrid filtrlash algoritmlari ishlab chiqilgan;

axborotlarni qayta ishlash ishonchliligi va ularni tahlil qilish tizimining samaradorligini oshirish imkonini beruvchi chiziqli tizimlarni parametrik identifikatsiyalash masalasini yechish uchun yaxlitlash xatolariga nisbatan sonli barqaror hisoblashning sxemalari ishlab chiqilgan;

adaptiv rostlagich parametrlarini hisoblash aniqligini oshirish imkonini beruvchi Kalman statsionar filtrining kuchaytirish koeffitsiyentini hisoblashning iteratsion va algebraik algoritmlari ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Tadqiqot natijalarining ishonchliligi uslubiy jihatdan asoslangan nazariy hisob-kitoblarning amalga oshirilishi, dinamik obyektlarni adaptiv filtrlashning nazariy asoslangan konsepsiyalarining qo'llanilishi, zamonaviy avtomatik boshqarish va axborotlarni qayta ishlashning aprobatsiya qilingan usullari va algoritmlarining ishlatilishi, adaptiv filtrlashning taklif etilgan usullari va algoritmlarining talab qilingan yaqinlashish darajasi, nazariy va amaliy tadqiqotlarning olingan natijalari va ularning o'zaro mosligi bilan ta'minlangan.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati dinamik boshqaruv obyektlarning holatlarini muntazam adaptiv filtrlashning konstruktiv usullari va algoritmlarini hamda axborotni tahlil qilish tizimlarini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati dinamik obyektlarning boshqarish tizimlarini adaptiv filtrlash va sintezlash masalalarining matematik va algoritmik ta'minoti hamda axborotlarni qayta ishlashning usullarini ishlab chiqishdan iborat. Dinamik boshqaruv obyektlari holatlarini adaptiv filtrlashning ishlab chiqilgan usul va algoritmlari hamda axborotni tahlil qilish tizimlari ishlab chiqarish jarayonlarini boshqarishning adaptiv tizimlarining funksional strukturalarini qurish va loyihalashni avtomatlashtirishda keng qo'llanilishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Dinamik obyektlarning boshqaruv tizimlarida adaptiv filtrlash algoritmlarini ishlab chiqish bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

additiv shovqinli noxiziqli tizimlar uchun QR-dekompozitsiya, Xoleski koeffitsiyentini yangilash va eng kichik kvadratlar usuli konsepsiyalari asosida adaptiv filtrlashning ishlab chiqilgan algoritmlari "O'zbekneftgaz" AJning Sho'rtan neft va gaz qazib chiqarish boshqarmasida joriy qilingan ("O'zbekneftgaz" AJning 09.04.2026 yildagi 07-18-8-278-son ma'lumotnomasi). Natijada obyekt parametrlari, shovqin va g'alayonlarini hisoblash aniqligi oshgan;

adaptiv filtr tarkibida sun'iy neyron tarmog'i bo'lgan adaptiv gibrid filtrlashning ishlab chiqilgan algoritmlari "O'zbekneftgaz" AJning Sho'rtan neft va gaz qazib chiqarish boshqarmasida joriy qilingan ("O'zbekneftgaz" AJning 09.04.2026 yildagi 07-18-8-278-son ma'lumotnomasi). Natijada algoritmlar propan-butan aralashmasini ajratish jarayonining texnologik rejimini barqarorlash imkonini bergan;

gradiyent optimallashtirish usullari yoki Nyuton tipidagi usullarni qo'llagan holda chiziqli tizimlarni parametrik identifikatsiyalash masalasini yechish uchun yaxlitlash xatolariga nisbatan sonli barqaror hisoblashning sxemalari "O'zbekneftgaz" AJning Sho'rtan neft va gaz qazib chiqarish boshqarmasida joriy qilingan ("O'zbekneftgaz" AJning 09.04.2026 yildagi 07-18-8-278-son ma'lumotnomasi). Natijada axborotlarni qayta ishlash ishonchliligi va ularni tahlil qilish tizimining samaradorligini oshirish imkonini bergan;

Kalman statsionar filtrining kuchaytirish koeffitsiyentini hisoblashning ishlab chiqilgan iteratsion va algebraik algoritmlari "O'zbekneftgaz" AJning Sho'rtan neft va gaz qazib chiqarish boshqarmasida joriy qilingan ("O'zbekneftgaz" AJning 09.04.2026 yildagi 07-18-8-278-son ma'lumotnomasi). Natijada adaptiv rostlagich parametrlarini hisoblash aniqligi oshgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Tadqiqotning nazariy va amaliy natijalari 4 ta xalqaro va 5 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida muhokamadan o'tgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 22 ta ilmiy ish, jumladan O'zbekiston Pespublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etgan ilmiy nashrlarida 9 ta maqola (7 ta respublika va 2 ta xorijiy jurnallarda) nashr etilgan. Shuningdek, EHMLar uchun dasturiy mahsulotlarga O'zbekiston Pespublikasi Intellektual mulk agentligidan ro'yxatdan o'tgan 3 ta guvohnoma olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish, uchta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi 120 betni tashkil etadi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida o'tkazilgan tadqiqotlarning dolzarbligi va zarurati asoslangan, tadqiqotning maqsad va vazifalari, obykti va predmeti tavsiflangan, tadqiqotning O'zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi asoslangan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy qilish, tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning "**Boshqaruv tizimlarida filtrlash usullari va algoritmlari va axborotni qayta ishlash vositalarini tahlil qilish**" nomli birinchi bobida mavjud adaptiv filtrlash algoritmlari va ularning samaradorligi, axborotni qayta ishlash usullari va algoritmlarining hozirgi holati va rivojlanish tendensiyalari, shuningdek tadqiqot maqsadi va qo'yilgan vazifalar bayon etilgan.

Dinamik obyektlarni nazorat qilish va ularning ishlash jarayonida yuzaga keladigan muammolarni kompleks yechish masalasi bugungi kunda ham dolzarbligini saqlab qolmoqda. Chunki cheklangan resurslardan oqilona foydalanish, tizimning mustahkamligi, ishonchliligi hamda texnologik xarajatlarning maqbulligi bilan bir qatorda eng yuqori samaradorlikka erishish tabiiy zaruratdir. Shu boisdan, tizim darajasida tashxislash jarayonlarini tashkil etish murakkab obyektlarning o'ziga xosliklari, ularning tashqi omillar bilan o'zaro ta'siri, shuningdek, mavjud ma'lumotlarning cheklanganligi va qarama-qarshiligi bilan bog'liqdir. Axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining jadal rivojlanishi bilan bir qatorda raqamli signal protsessorlari va ularga asoslangan qurilmalarning soni ham ortib bormoqda. Bu esa signallarga ishlov berish sifatining oshishiga olib kelmoqda. Agar filtrlarning uzatish funksiyasi oldindan aniq belgilanmagan bo'lsa yoki foydalanish jarayonida parametrlar o'zgarib tursa, klassik, o'zgarmas parametrlil filtrlardan foydalanish etarli emas. Ushbu masalalarni yechish boshqaruv tizimlarida adaptiv filtrlash algoritmlarini ishlab chiqish imkonini beradi, bu esa dinamik obyektlarni boshqarish tizimlarining samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Shunday qilib, mazkur tadqiqotning asosiy yo‘nalishi – noaniqlik sharoitida adaptiv filtrlash usullaridan foydalanish orqali dinamik obyektlarni boshqarish tizimlarining aniqligi va barqarorligini oshirish masalasini hal etishdan iborat. Bunday turdagi algoritmlarni yaratish jarayoni chuqur nazariy tahlil, sonli modellashtirish, parametrlarni optimallashtirish hamda hisoblash murakkabligini baholashni talab etadi. Shu bilan birga, taklif etilgan yondashuvlarning hisoblash samaradorligi va ularni real vaqt sharoitida tatbiq etish imkoniyatlari ilmiy izlanishning muhim yo‘nalishlaridan biri sifatida ajralib turadi. Ayniqsa, bu omillar avtomatlashtirilgan dinamik obyektlarni boshqarish tizimlarining ishonchli va samarali faoliyati uchun hal qiluvchi ahamiyat kasb etadi.

Dissertatsiyaning “**Dinamik obyektlarni boshqaruv tizimlarida adaptiv filtrlash algoritmlarini ishlab chiqish**” nomli ikkinchi bobida adaptiv filtrlash uchun iterativ algoritmlar ishlab chiqilgan, additiv shovqinlar ta’sirida obyektlarni baholash algoritmlari taklif qilingan. Kalman filtrining matritsali kuchaytirish koeffitsiyentlarini baholash uchun barqaror iteratsion va muntazam algoritmlar ishlab chiqilgan. Shuningdek, adaptiv filtr tarkibida sun’iy neyron tarmoqli gibridd filtrlash algoritmlari va yaxlitlash xatolariga nisbatan son jihatdan barqaror hisoblash sxemalari taklif qilingan.

Quyidagi tenglamalar bilan ifodalangan chiziqli dinamik tizimni ko‘rib chiqamiz:

$$\begin{aligned}x_{i+1} &= Ax_i + w_i, \\z_i &= Hx_i + v_i,\end{aligned}\tag{1}$$

$i \geq 0$ uchun, bu yerda x_i – i vaqtdagi n o‘lchovli holat vektori, z_i – i vaqtdagi m o‘lchovli o‘lchash vektori, A – $n \times n$ o‘lchovli tizim o‘tish matritsasi, H – $m \times n$ o‘lchovli chiqish matritsasi, w_i – i vaqtdagi obyekt shovqini va v_i – i vaqtdagi o‘lchash halaqiti hisoblanadi. Bundan tashqari, $\{w_i\}$ va $\{v_i\}$ mos ravishda Q va R kovariatsiya matritsalariga ega bo‘lgan, o‘rtacha qiymati nolga teng bo‘lgan Gauss tasodifiy jarayonlaridir.

Kalman filtrining optimal baholash algoritmini ifodalovchi tenglamalar quyidagi ko‘rinishga ega bo‘lsin:

$$\begin{aligned}\hat{x}_{i/i-1} &= A\hat{x}_{i-1/i-1}, \quad \hat{x}_{i/i} = \hat{x}_{i/i-1} + Ky_i, \quad y_i = z_i - H\hat{x}_{i/i-1}, \\P &= E \left\{ \begin{bmatrix} x_i - \hat{x}_{i/i-1} \\ x_i - \hat{x}_{i/i-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i - \hat{x}_{i/i-1} \\ x_i - \hat{x}_{i/i-1} \end{bmatrix}^T \right\} = AP'A^T + \tilde{A}Q\tilde{A}^T, \\P &= E \left\{ \begin{bmatrix} x_i - \hat{x}_{i/i} \\ x_i - \hat{x}_{i/i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i - \hat{x}_{i/i} \\ x_i - \hat{x}_{i/i} \end{bmatrix}^T \right\} = (I - KH)P(I - KH)^T + KRK^T, \quad \hat{x}_{0/0} = \hat{x}_0, \quad P_{0/0} = P_0.\end{aligned}$$

Bashorat qilish va baholash xatoliklarining kovariatsiya matritsalarini hisoblash quyidagicha amalga oshiriladi:

$$K_i = P_{i/i-1}H^T(HP_{i/i-1}H^T + R)^{-1},\tag{2}$$

$$P_{i/i} = (I - K_iH)P_{i/i-1},\tag{3}$$

$$P_{i+1/i} = Q + AP_{i/i}A^T,$$

bu yerda K_i – Kalman filtrining kuchaytirish koeffitsiyenti hisoblanadi. $i \geq 0$ bo‘lgan holat uchun, boshlang‘ich shart $P_{0/-1} = P_0$ bo‘lib, o‘lchovlar mavjud bo‘lmagan ushbu vaqt nazarda tutiladi.

Additiv shovqinli nochiziqli tizimlar uchun adaptiv filtrlash yondashuvini ko‘rib chiqamiz. Adaptiv baholash algoritmi quyidagilardan iborat:

$$\hat{x}_0 = E[x_0], \quad S_0 = chol\{E[(x_0 - \hat{x}_0)(x_0 - \hat{x}_0)^T]\}, \quad \sqrt{\hat{Q}_0} = S_0, \quad \sqrt{\hat{R}_0} = chol\{E[(z_0 - \hat{z}_0)(x_0 - \hat{z}_0)^T]\}.$$

$$\chi_{i-1} = [\hat{x}_{i-1} \hat{x}_{i-1} + \gamma S_{i-1} \hat{x}_{i-1} - \gamma S_{i-1}] \text{ da } i = 1, 2, \dots, \infty.$$

O‘lchanayotgan shovqin matritsasidan kvadrat ildizni hisoblaymiz:

$$\hat{Z}_{i-1}^* = h(\hat{\chi}_{i-1}), \quad \hat{z}_{i-1}^* = \sum_{k=0}^{2L} W_k^{(m)} \hat{Z}_{i-1,k}^*, \quad \tilde{z}_{i-1}^* = z_{i-1} - \hat{z}_{i-1}^*,$$

$$\sqrt{R^{**}} = cholupdate\{\sqrt{1-d_i} \sqrt{\hat{R}_{i-1}}, |\tilde{z}_{i-1}^*|, d_i\}, \quad (4)$$

$$\sqrt{R^*} = cholupdate\{\sqrt{R^{**}} \hat{Z}_{i-1|0:2L}^* - \tilde{z}_{i-1}^*, -d_i W_k^{(c)}\}, \quad \sqrt{\hat{R}_i} = diag\{\sqrt{R^*}\},$$

bu yerda $\hat{\chi}_{i|i-1} = [\hat{x}_{i|i-1} \hat{x}_{i|i-1} + \gamma S_{i|i-1} \hat{x}_{i|i-1} - \gamma S_{i|i-1}]$, $\hat{Z}_{i|i-1} = h(\hat{\chi}_{i|i-1})$,

$$\hat{z}_{i|i-1} = \sum_{k=0}^{2L} W_k^{(m)} \hat{Z}_{i|i-1,k}, \quad \tilde{z}_{i-1}^* = z_{i-1} - \hat{z}_{i|i-1}.$$

O‘lchov yangilash tenglamalari quyidagilardan iborat:

$$P_{(xz)i} = \sum_{k=0}^{2L} W_k^{(c)} (\hat{\chi}_{i|i-1,k} - \hat{x}_{i|i-1}) (\hat{Z}_{i|i-1,k} - \hat{z}_{i|i-1})^T, \quad S_{(z)i} = qr\left\{\left[\sqrt{W_1^{(c)}} (\hat{Z}_{i|i-1,1:2L} - \hat{z}_{i|i-1}) \sqrt{\hat{R}_i}\right]\right\},$$

$$S_{(z)i} = cholupdate\{[S_{(z)i}, \hat{Z}_{i|i-1,0} - \hat{z}_{i|i-1}, W_0^{(c)}]\}, \quad K_i = \frac{(P_{(xz)i} / S_{(z)i}^T)}{S_{(z)i}},$$

$$\hat{x}_i = \hat{x}_{i|i-1} + K_i \tilde{z}_i, \quad U = K_i S_{(z)i}, \quad S_{(z)i} = cholupdate\{S_{i|i-1}, U, -1\}.$$

Jarayon shovqinlari matritsasidan kvadrat ildizni quyidagicha baholaymiz

$$\sqrt{Q^{**}} = cholupdate\{\sqrt{\hat{Q}_{i-1}}, |\hat{x}_i - \hat{x}_{i|i-1}|, d_i\},$$

$$\sqrt{Q^*} = cholupdate\{\sqrt{Q^{**}}, U, -d_i\}, \quad \sqrt{\hat{Q}_i} = diag\{diag(\sqrt{Q^*})\}, \quad (5)$$

bu yerda $d_i = (1-b)/(1-b^{i+1})$ va b unutish koeffitsiyenti hisoblanadi, odatda $0 < b < 1$ ga teng bo‘ladi. O‘rtacha qiymat va kovariatsiyaning og‘irliklari ($W_k^{(m)}$ va $W_k^{(c)}$) quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$W_0^{(m)} = \frac{\lambda}{L + \lambda}, \quad W_0^{(c)} = \frac{\lambda}{L + \lambda} + 1 - \alpha^2 + \beta, \quad W_k^{(m)} = W_k^{(c)} = \frac{1}{2(L + \lambda)}, \quad k = 1, \dots, 2L,$$

bu yerda $\lambda = \alpha^2(L + \kappa)$ masshtablash parametri hisoblanadi.

(4) va (5)-ifodalarda keltirilgan tenglamalar standart tenglamalardan farq qiladi. Bu tenglamalar filtrning moslashuvchanlik qobiliyatini oshiradi. Ishlab chiqilgan adaptiv filtr Q yoki R ning musbat yarim aniqligini kafolatlaydi.

Parametrik aprior noaniqlik mavjud bo‘lgan sharoitda dinamik tizimlarning holatini aniqlash maqsadida chiziqli dinamik tizimni

$$G_i = K_i H$$

ko‘rib chiqamiz. Bu yerda G_i va $n \times n$ o‘lchamli nosimmetrik matritsa hisoblanadi.

Kalman filtri kuchaytiruv koeffitsiyenti K_k ga nisbatan quyidagi chiziqsiz iterativ tenglamani hosil qilamiz:

$$\begin{aligned} K_{k+1} &= (QA^{-T}H^TR^{-1} + AK_k)[HQA^{-T}H^TR^{-1} + HS^{-1}A^{-T}H^TR^{-1} + HAK_k]^{-1} = \\ &= (C + DK_k)[L + BK_k]^{-1}, \end{aligned} \quad (6)$$

bu yerda

$$\begin{aligned} L &= HQA^{-T}H^TR^{-1} + HS^{-1}A^{-T}H^TR^{-1} = H(Q + S^{-1})A^{-T}H^TR^{-1}, \\ B &= HA, \quad C = QA^{-T}H^TR^{-1}, \quad D = A. \end{aligned} \quad (7)$$

(6)-ifodadan foydalanib, Kalman filtri kuchaytirish koeffitsiyenti K_k ga nisbatan quyidagi chiziqli bo‘lmagan iteratsion tenglamani hosil qilamiz:

$$\begin{aligned} K_{k+1} &= (C + DK_k)[L + BK_k]^{-1} = c + l[K_k^{-1} + b]^{-1}d, \\ K_k &= Y_k X_k^{-1}, \quad Y_{k+1} X_{k+1}^{-1} = (C + DY_k X_k^{-1})[L + BY_k X_k^{-1}]^{-1} = (CX_k + DY_k)[LX_k + BY_k]^{-1}, \\ \begin{bmatrix} X_{k+1} \\ Y_{k+1} \end{bmatrix} &= \Phi \begin{bmatrix} X_k \\ Y_k \end{bmatrix}, \quad \Phi = \begin{bmatrix} L & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d^{-1} & d^{-1}b \\ cd^{-1} & cd^{-1}b + l \end{bmatrix}, \\ l &= D - CL^{-1}B, \quad b = L^{-1}B, \quad c = CL^{-1}, \quad d = L^{-1}, \quad K_0 = P_0 H^T [HP_0 H^T + R]^{-1}. \end{aligned}$$

K_k quyidagi tenglamani qanoatlantiruvchi \tilde{K} barqaror holat qiymatiga intiladi: $\tilde{K} = c + a[\tilde{K}^{-1} + b]^{-1}d$. Shunday qilib, ikkilantiruvchi iteratsion algoritmdagidek ishlaydigan va boshlang‘ich shart sifatida $P_0 = 0$ ni qo‘llanilganda, $K_0 = Y_0 X_0^{-1} = 0$ bo‘ladi. Natijada quyidagi nochiziqli iteratsion tenglamalarni hosil qilamiz:

$$\begin{aligned} l_{k+1} &= l_k (I - c_k [I + b_k c_k]^{-1} b_k) l_k, \quad b_{k+1} = b_k + d_k [I + b_k c_k]^{-1} b_k l_k, \\ c_{k+1} &= c_k + l_k c_k [I + b_k c_k]^{-1} d_k, \quad d_{k+1} = d_k [I + b_k c_k]^{-1} d_k, \quad l_1 = l, \quad b_1 = b, \quad c_1 = c, \quad d_1 = d. \end{aligned}$$

Ko‘rish mumkinki, $c_k = Y_{\gamma^k} X_{\gamma^k}^{-1} = K_{\gamma^k}$ ifodasi \tilde{K} doimiy qiymatga intilmoqda. (7)-ifodada keltirilgan tenglamadagi L, B, C, D parametrlaridan foydalanib, quyidagi natijaga kelamiz:

$$\Phi = \begin{bmatrix} L & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} \\ W_{21} & W_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Lambda & 0 \\ 0 & \Lambda^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} \\ W_{21} & W_{22} \end{bmatrix}^{-1},$$

bu $2n \times 2n$ o‘lchamli matritsadir. Shundan keyin, turg‘un holatdagi Kalman filtri quyidagi natijaga teng $\tilde{K} = W_{21} W_{11}^{-1}$.

Turg‘un holatdagi Kalman filtrining kuchaytirish koeffitsiyenti \tilde{K} ni hisoblash algoritmini ko‘rib chiqamiz:

$$x_{k+1/k+1} = (I - \tilde{K}H)Ax_{k/k} + \tilde{K}z_{k+1} = (I - \tilde{G})Ax_{k/k} + \tilde{K}z_{k+1}. \quad (8)$$

(8)-ifodadan ko‘rinib turibdiki, turg‘un holatdagi Kalman filtrining parametrlari Kalman filtrining kuchaytirish koeffitsiyenti bilan bevosita bog‘liqdir. Xususan, turg‘un holatdagi bashorat xatosining kovariatsiyasini turg‘un holat kuchaytiruvchisi orqali hisoblash mumkin va u quyidagicha aniqlanadi:

$$\tilde{P}_p = [I - \tilde{K}H]^{-1} \tilde{K}RH[H^T H]^{-1}. \quad (9)$$

Darhaqiqat, (2)-ifodadan $\tilde{K} = \tilde{P}_p H^T [H\tilde{P}_p H^T + R]^{-1}$ kelib chiqadi, bu esa o‘z navbatida quyidagicha natijaga olib keladi:

$$\begin{aligned} \tilde{K}(H\tilde{P}_p H^T + R) &= \tilde{P}_p H^T \Rightarrow \tilde{K}H\tilde{P}_p H^T + \tilde{K}R = \tilde{P}_p H^T \\ \Rightarrow \tilde{P}_p H^T - \tilde{K}H\tilde{P}_p H^T &= \tilde{K}R \Rightarrow (I - \tilde{K}H)\tilde{P}_p H^T = \tilde{K}R \\ \Rightarrow \tilde{P}_p H^T &= [I - \tilde{K}H]^{-1} \tilde{K}R \Rightarrow \tilde{P}_p H^T H = [I - \tilde{K}H]^{-1} \tilde{K}RH. \end{aligned}$$

$rank(H) = n$ bo'lgani sababli, $H^T H$ matritsasi maxsus bo'lmagan; shunday qilib, oxirgi tenglamadan (9)-ifodadagi barqaror holatni bashorat qilish orqali kovariatsiya formulasi darhol kelib chiqadi. Bu yerdan, (3) ifodadagi formulaga ko'ra, turg'un holatdagi baholash xatosi kovariatsiyasini turg'un holatdagi bashorat xatosi kovariatsiyasi orqali hisoblash mumkin: $\tilde{P}_e = [I - \tilde{K}H]\tilde{P}_p$. Bu algoritm katta hajmdagi ma'lumotlarni saqlashni talab etmaydi. Yangi ma'lumotlar qabul qilinganda, yangi filtrlash qiymatini istalgan vaqtda hisoblash mumkin. Shu sababli, bu usul real vaqt rejimida ma'lumotlarga ishlov berishni osonlashtiradi va kompyuterda hisoblash, dasturlash hamda amalga oshirish uchun qulay hisoblanadi.

Chiziqli dinamik tizimlardagi jarayonlarning parametrlari va holatlarini bir vaqtning o'zida baholashni talab qiladigan holatni ko'rib chiqamiz. Tizim holatlarining dinamik o'zgarishlari quyidagi yordamchi holat parametrlariga asoslangan rekurrent tenglamalar shaklida ifodalanadi:

$$\begin{aligned}\hat{\alpha}_{i+1} &= \tilde{\mathfrak{R}}_{i+1,i,u}^T \hat{\alpha}_i + K_{i+1} \left[z_{i+1} - H(Y_{i+1}) \tilde{\mathfrak{R}}_{i+1,i,u}^T \hat{\alpha}_i \right], \\ K_{i+1} &= P(\Delta\alpha_{i+1|i}) H^T(Y_{i+1}) \left[H(Y_{i+1}) P(\Delta\alpha_{i+1|i}) H^T(Y_{i+1} + V_{\eta(i+1)}) \right]^{-1}, \\ P(\Delta\alpha_{i+1|i}) &= \tilde{\mathfrak{R}}_{i+1,i,u} P(\Delta\alpha_i) \tilde{\mathfrak{R}}_{i+1,i,u}^T + \tilde{A}_i V_{\xi(i)} \tilde{A}_i^T, \\ P(\Delta\alpha_i) &= [E - K(Y_{i+1}) H(Y_{i+1})] P(\Delta\alpha_{i+1|i}),\end{aligned}$$

bu yerda $\hat{\alpha}_{i+1}$ va $\hat{\alpha}_i$ – tizim holatlari o'zgarish jarayonining mos ravishda $(i+1)$ -qadamdagi va (i) -qadamdagi yordamchi vektor ko'rsatkichlari sifatida qaraladi. $\tilde{\mathfrak{R}}_{i+1,i,u}^T$ esa Markov zanjiri asosida holatlarning o'zgarish jarayonini tavsiflovchi bir qadamli o'tish ehtimolliklari matritsasining transpozitsiyasi hisoblanadi.

Ko'rib chiqilayotgan masalaning o'ziga xos xususiyatlarini hisobga olgan holda, tizim holatlarining yordamchi ko'rsatkichlarini, ya'ni $\hat{\alpha}_{i+1}^N$ vektor-ustuni elementlarini baholash qiymatlarini olish uchun neyron tarmoqli gibrid adaptiv filtrlash jarayoni quyidagi asosiy bosqichlarni o'z ichiga oladi:

$$\begin{aligned}\hat{\alpha}_{i+1|i} &= \tilde{\mathfrak{R}}_{i+1,i,u}^T \hat{\alpha}_i^N; \hat{Z}_{i+1|i} = H(Y_{i+1}) \hat{\alpha}_{i+1|i}, \hat{\alpha}_{i+1}^N = K^N(\hat{\alpha}_{i+1|i}, Z_{i+1}, E_{i+1}), \\ Z_{i+1} &= [z_{i+1}^T, z_i^T, \dots, z_{i-m_z+1}^T]^T; E_{i+1} = [\varepsilon_{i+1}^T, \varepsilon_i^T, \dots, \varepsilon_{i-m_\varepsilon+1}^T]^T, \\ \varepsilon_{i+1} &= Z_{i+1} - \hat{Z}_{i+1|i} = Z_{i+1} - H(Y_{i+1}) \hat{\alpha}_{i+1|i}, \\ R &= (m_z + 1)M + (m_\varepsilon + 1)M + M = (m_z + m_\varepsilon + 3), \\ Y_{i+1} &= [y_{1(i+1)}, y_{2(i+2)}, \dots, y_{R(i+1)}]^T = [\hat{\alpha}_{i+1|i}^T, Z_{i+1}^T, E_{i+1}^T]^T.\end{aligned}$$

Moslashuvchan gibrid filtrlar tizimning tezkor javob berishi va parametrlarning real vaqt rejimida optimallashtirilishini ta'minlash imkonini beradi: $P_m^N(\Delta\alpha_i) = \frac{1}{S} \sum_{k=1}^S [(e_{m(i)}^{(k)}) - (e_{m(i)}^{(k)})^T] = \frac{1}{S} \sum_{k=1}^S [(\alpha_{m(i)}^{(k)} - \hat{\alpha}_{m(i)}^{N(k)}) (\alpha_{m(i)}^{(k)} - \hat{\alpha}_{m(i)}^{N(k)})^T]$.

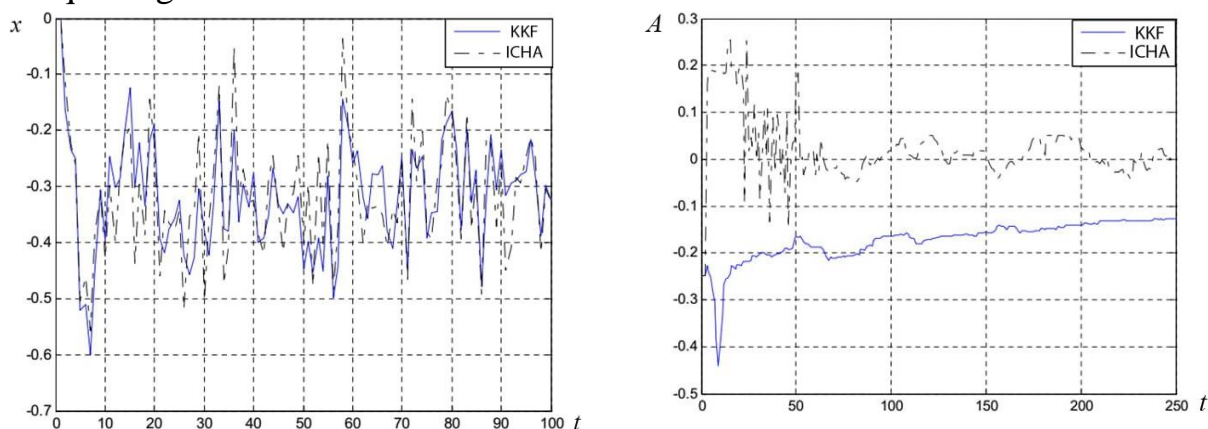
Sun'iy neyron tarmog'i yordamida holat vektorini baholashning rekurrent algoritmi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\begin{aligned}\hat{\alpha}_i &= \hat{\alpha}_{i/i-1} + K_i (\hat{\lambda}_i - h_i[\hat{\alpha}_{i/i-1}]), \hat{\alpha}_{i/i-1} = B_{i-1} \hat{\alpha}_{i-1}, K_i = C_i^{-1} H_i^T C_{\lambda i}, \\ C_i^{-1} &= (C_{i/i-1} + H_i^T C_{\lambda i} H_i)^{-1}, C_{i/i-1} = B_{i-1} C_{i-1}^{-1} B_{i-1}^T + Q_{i-1},\end{aligned}$$

bu yerda $h_i[\hat{\alpha}_{i/i-1}]$ – holat vektorining bashorat qilingan bahosini qayta hisoblash, $\hat{\alpha}_{i/i-1}$ – holat vektorining bashorat qilingan bahosi, $\hat{\lambda}_i$ – esa o‘lchov vektori hisoblanadi.

Adaptiv filtrlar tarkibidagi o‘rgatiladigan sun’iy neyron tarmog‘i boshqaruv obyektlarining chiziqli va nochiziqli o‘zgaruvchan parametrlarini kuzatish va o‘lchash natijasida olingan statistik xususiyatlarga moslashadi. Natijada, filtrlash jarayonida vazn koeffitsiyentlari avtomatik tarzda optimallashtiriladi, boshqaruv tizimining aniqligi va barqarorligi oshadi.

1-rasmda Klassik Kalman filtri (KKF) va ishlab chiqilgan integratsiyalangan algoritm (ICHA) yordamida holat vektori elementlarini baholashda yuzaga kelgan xatoliklar (a) hamda holat matritsasining elementlarini baholash jarayonidagi xatoliklar (b) ko‘rsatilgan. Ushbu natijalar algoritmlarning baholash aniqligi va barqarorligini solishtirish imkonini beradi.



1-rasm. Klassik Kalman filtri va ishlab chiqilgan algoritm yordamida baholash bo‘yicha o‘tkazilgan sonli tajriba asosida:

a) holat vektori elementini baholashdagi xatoliklar

b) holat matritsasining elementlarini baholash jarayonidagi xatoliklar

Natijalar shuni ko‘rsatadiki, sun’iy neyron tarmoqli adaptiv gibrid filtrlash algoritmlari yordamida amalga oshirilgan ICHA yondashuvi klassik Kalman filtri bilan solishtirganda tizimning baholash aniqligi, barqarorligi va hisoblash samaradorligini sezilarli darajada yaxshilaydi, bu esa dinamik obyektlarni boshqarish tizimlarida amaliy qo‘llash uchun qulaylik yaratadi.

Shuningdek, hisoblash aniqligini va baholash algoritmining ishonchligini oshirish imkoniyatini beradigan gradiyent optimallashtirish usullari yoki Nyuton tipidagi usullarni qo‘llagan holda chiziqli tizimlarni parametrik identifikatsiyalash masalasini yechish uchun yaxlitlash xatolariga nisbatan sonli barqaror hisoblash sxemasi ishlab chiqilgan.

Dissertatsiyaning **“Propan-butan aralashmasini ajratish jarayoni uchun axborotni qayta ishlash va boshqaruv tizimlarini ishlab chiqish”** nomli uchinchi bobida dinamik jarayon boshqaruv obyekti sifatida tahlil qilingan, uning matematik modeli ishlab chiqilgan, propan-butan aralashmasini boshqarish va axborotni qayta ishlash tizimi sintez qilingan, shuningdek, axborotni qayta ishlashning kompyuter usullariga asoslangan ishonchlikni oshirish va axborotni tahlil qilish tizimlari ishlab chiqilgan.

Propan-butan aralashmasini ajratib olish jarayonini tavsiflovchi asosiy ko'rsatkichlar sifatida quyidagi o'zgaruvchilar ko'rib chiqildi: boshqariluvchi parametrlar $u=(u_1, u_2)$ bo'lib, bunda u_1 – kirish haroratini, u_2 – esa dastlabki gaz aralashmasining sarfini ifodalaydi; chiqish parametrlari $y=(y_1, y_2)$ bo'lib, bunda y_1 – chiqishdagi propanning massa ulushini, y_2 – esa mahsulot haroratini ifodalaydi.

Quyida propan-butan aralashmasini ajratib olish jarayonining asosiy ta'sir o'tkazish kanallari bo'yicha dinamik xususiyatlari eksperimental tadqiqot usullari asosida keltirilgan:

$$u_1 \rightarrow y_1 \text{ holat uchun: } W_{11} = \frac{0.017}{461.10s^2 + 36.7s + 1} e^{-5s};$$

$$\tilde{x}_{k+1} = \begin{bmatrix} -0.0796 & -0.0022 \\ 1.0000 & 0 \end{bmatrix} \tilde{x}_k + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u_k; \quad (10)$$

$$u_1 \rightarrow y_2 \text{ holat uchun: } W_{12} = \frac{0.006}{912.4s^2 + 53.1s + 1} e^{-5s};$$

$$\tilde{x}_{k+1} = \begin{bmatrix} -0.0582 & -0.0011 \\ 1.0000 & 0 \end{bmatrix} \tilde{x}_k + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u_k; \quad (11)$$

$$u_2 \rightarrow y_1 \text{ holat uchun: } W_{21} = \frac{0.19}{234s^2 + 29s + 1} e^{-5s};$$

$$\tilde{x}_{k+1} = \begin{bmatrix} -0.1239 & -0.0043 \\ 1.0000 & 0 \end{bmatrix} \tilde{x}_k + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u_k; \quad (12)$$

$$u_2 \rightarrow y_2 \text{ holat uchun: } W_{22} = \frac{0.0029}{698.3s^2 + 50.6s + 1} e^{-5s};$$

$$\tilde{x}_{k+1} = \begin{bmatrix} -0.0 & -0.0043 \\ 1.0000 & 0 \end{bmatrix} \tilde{x}_k + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u_k; \quad (13)$$

(10) - (13) idodalarda keltirilgan dinamik modellar tahlili shuni ko'rsatadiki, ko'rib chiqilayotgan obyektning eng ahamiyatli kanali $u_2 \rightarrow y_1$, "boshlang'ich gaz aralashmasi sarfi - chiqishdagi propanning massa ulushi" kanalidir. Bu kanal eng yuqori kuchaytirish koeffitsiyentiga va eng kam inersiyaga ega bo'lgani sababli shunday hisoblanadi. Shu bois, propan-butan aralashmasini ajratib olish jarayonini boshqarish tizimini sintez qilishni boshqaruv parametri sifatida boshlang'ich gaz aralashmasi sarfiga asoslanib amalga oshiramiz.

Propan-butan aralashmasini ajratib olishning dinamik jarayoni uchun fazaviy muvozanat, massa va issiqlik o'tkazuvchanlikni hisobga oluvchi matematik model ishlab chiqildi. O'tkazilgan sonli modellashtirish jarayonlarni to'g'ri tavsiflashini ko'rsatdi va kolonnaning optimal ishlash tartiblarini aniqlash imkonini berdi.

Adaptiv algoritmdagi yaqinlashish koeffitsiyentining qiymati ikki asosiy xususiyat - moslashuv tezligi va filtrlash aniqligi o'rtasidagi muvozanatni hisobga olgan holda tanlanadi. Moslashuv vaqtining doimiy T_{LMS} yaqinlashish koeffitsiyentiga teskari proporsional hisoblanadi. Shu bois, moslashuv vaqtini qisqartirish uchun mazkur koeffitsiyentning μ yuqori qiymatlaridan foydalanish lozim bo'ladi:

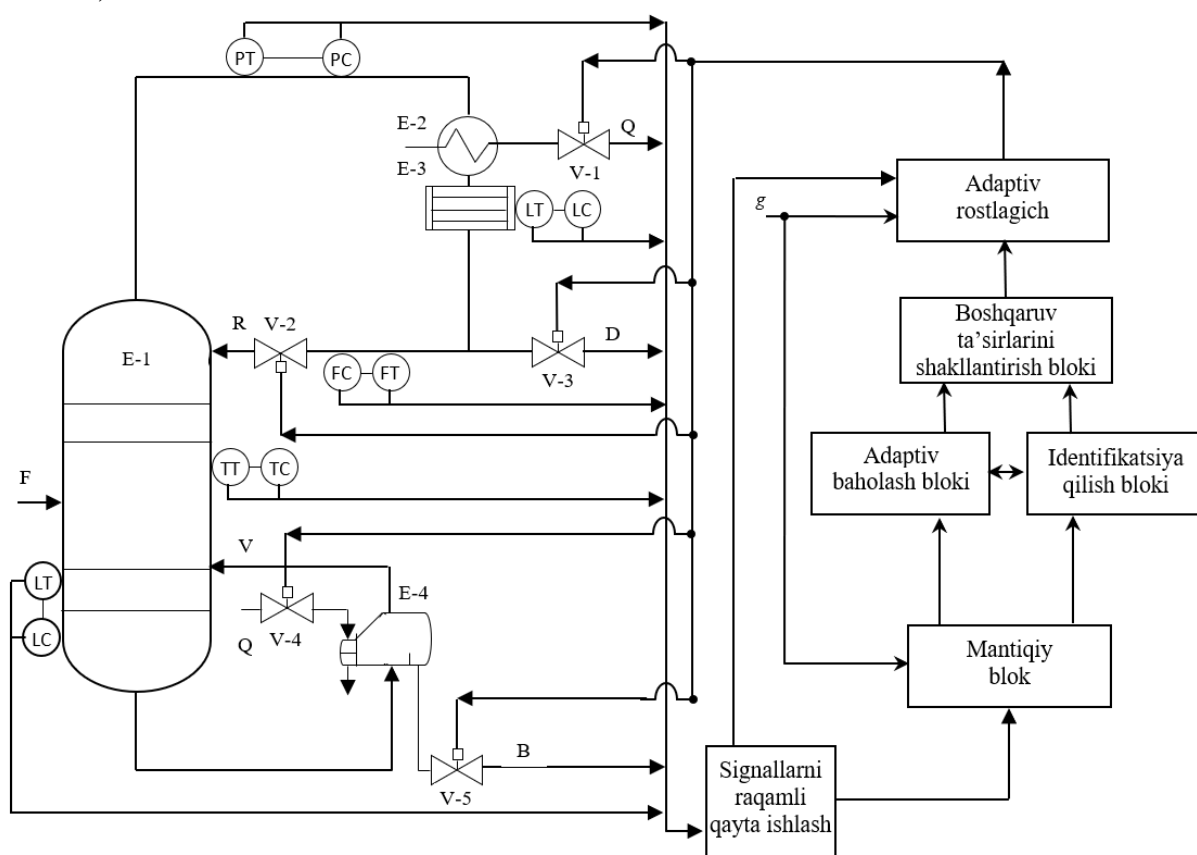
$$\mu[nT_d] = \begin{cases} \mu_0, & 0 \leq nT_d < t^*, \\ \mu_1, & t^* \leq nT_d < T_s, \end{cases}$$

$$\mu_0 = \alpha^{-1} \lambda_{\max}, \mu_1 = \alpha \lambda_{\min}, t^* \Rightarrow \frac{d\xi[nT_d]}{dT_d} \geq h, \xi[nT_d] = B \exp(-nT_d / T_{LMS}),$$

$$\mu[n] = \begin{cases} \alpha^{-1} \lambda_{\max}, & \frac{d\xi[nT_d]}{dT_d} < h, \\ \alpha \lambda_{\min}, & \frac{d\xi[nT_d]}{dT_d} \geq h. \end{cases}$$

bu yerda μ_0, μ_1 – yaqinlashuv koeffitsiyentlari, λ_{\max} va λ_{\min} – korrelyatsiya matritsasining xususiy qiymatlari, $\xi[nT_d]$ – o‘rtacha kvadratik xato, h – chegaraviy qiymat, B – doimiy miqdor, T_s – statsionarlik oralig‘i.

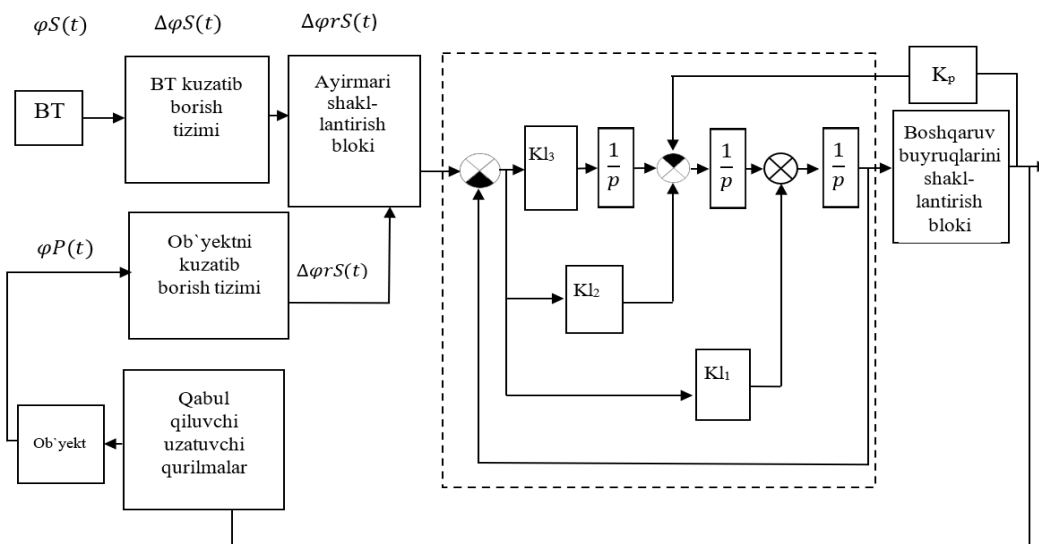
O‘tkazilgan tadqiqotlar asosida propan-butan aralashmasini ajratib olish jarayonini adaptiv boshqarish tizimining funksional sxemasi ishlab chiqildi (2-rasm).



2-rasm. Propan-butan aralashmasini ajratish jarayonini adaptiv boshqarish tizimining funksional sxemasi

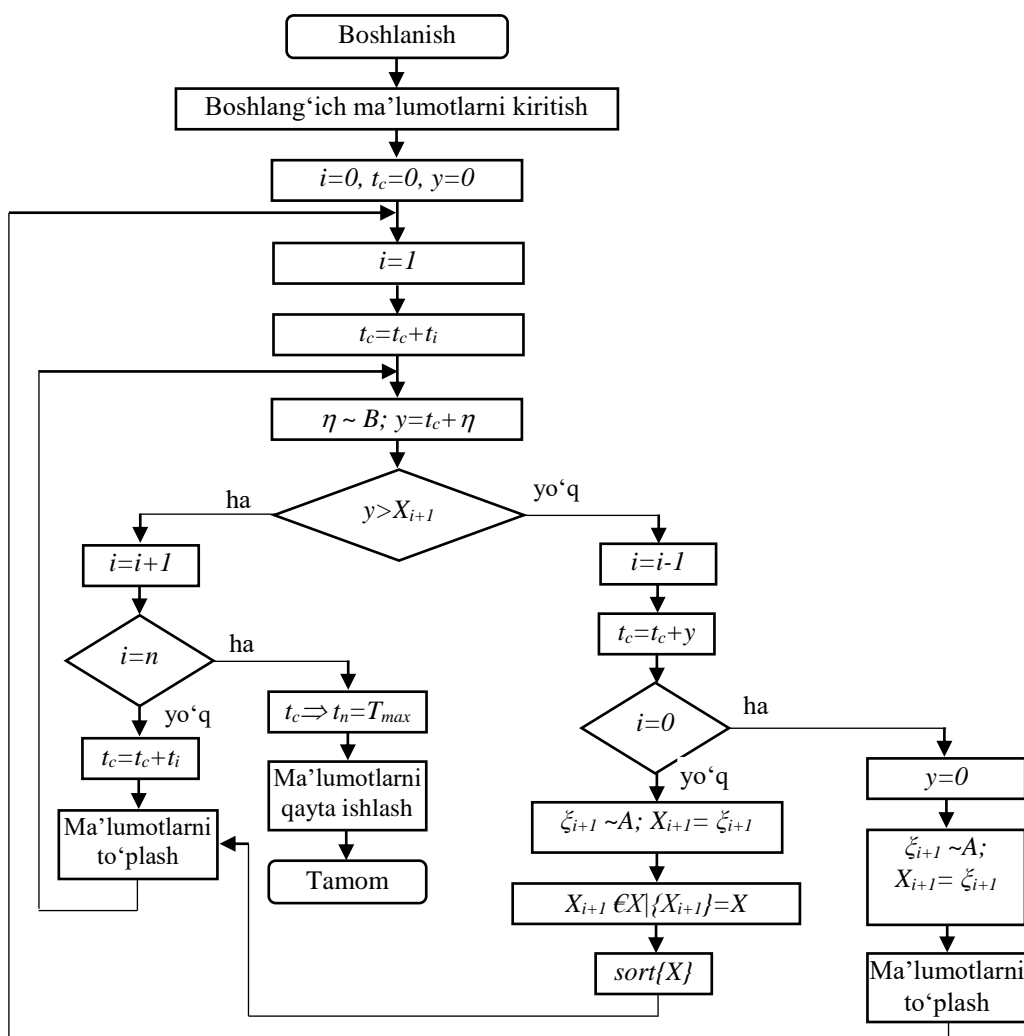
Propan-butan aralashmasini ajratish jarayonini boshqarish tizimini ko‘rib chiqamiz. Sintez vazifasi doirasida boshqaruv konturiga Kalman filtrini qo‘llash hamda boshqaruv ta’sirlari bo‘yicha teskari aloqani joriy etish taklif etilgan (3-rasm).

Shunday qilib, Kalman filtri va boshqaruv ta’sirlariga teskari aloqani birgalikda qo‘llashga asoslangan boshqaruv tizimini sintez qilishning taqdim etilgan yaxlit yondashuvi tashqi va ichki ta’sirlar sharoitida tizimning yuqori aniqlik bilan va barqaror ishlashini ta’minlash imkoniyatini yaratadi.



3-rasm. Propan-butan aralashmasini ajratish jarayonini boshqarish tizimining prinsipial sxemasi

Shu munosabat bilan boshqaruv tizimining ishonchligini simulyatsiya modellashtirish algoritmini ko'rib chiqish maqsadga muvofiqdir (4-rasm).



4-rasm. Tizimning ishonchligini baholash uchun imitatsion modelning blok-sxemasi

Tahlil natijalariga ko'ra, imitatsion modellashtirish usuli bilan olingan natijalarning hisob-kitob ma'lumotlariga yuqori darajada mosligi aniqlandi (5-rasm). Keltirilgan bog'liqliklar tizimning statsionar ishonchliligi eng yuqori qiymatga ega ekanligini ko'rsatdi.



5-rasm.

O'tkazilgan sonli tahlil shuni ko'rsatdiki, ishlab chiqilgan imitatsion model tizimning analitik modelini yuqori aniqlik bilan ishlab chiqishni ta'minlaydi. Bu esa tizim holatlarining statsionar ehtimolliklarini aniq analitik ifodalar orqali aniqlash qiyin yoki imkonsiz bo'lgan hollarda undan foydalanish imkoniyatini beradi. Boshqaruv tizimlarining ishonchli va uzluksiz ishlashini ta'minlash maqsadida ularning barqarorligini tahlil qilish va o'rganish amalga oshirildi. O'tkazilgan tahlil shuni ko'rsatdiki, adaptiv filtrlash, statistik tahlil va zamonaviy hisoblash texnologiyalarini o'z ichiga olgan axborotni qayta ishlashning uyg'unlashtirilgan usullarini qo'llash axborot tizimlarining ishonchliligini har tomonlama oshirishni ta'minlaydi. Bunday yondashuv nafaqat nosozliklar va xatolar ehtimolini kamaytirishga, balki tizimlarni o'zgaruvchan foydalanish sharoitlariga moslashtirishga imkon beradi.

XULOSA

Dissertatsiya ishida tizim tahlil konsepsiyasi, adaptiv boshqarish tizimlari nazariyasi, dinamik filtrlash, muntazamlash, axborotni qayta ishlash va ishonchlilikni oshirish usullari yordamida dinamik obyektlarning boshqaruv tizimlarida adaptiv filtrlash algoritmlari ishlab chiqilgan.

Natijada quyidagilarga erishildi:

1. Dinamik obyektlarni boshqarish tizimlarida adaptiv filtrlashning iteratsion algoritmlar ishlab chiqilgan hamda o'lchash xatoliklarining o'zaro bog'liqligi sharoitida filtrlarning o'z-o'zidan moslashuvchanligini yaxshilash va bu baholashlarning haqiqiy qiymatlarga yaqinlashishini ta'minlash imkoniyatini beradigan additiv shovqinli nochiziqli tizimlar uchun QR-dekompozitsiya, Xoleski koeffitsiyentini yangilash va eng kichik kvadratlar usuli konsepsiyalari asosida adaptiv filtrlash algoritmlari taklif etilgan.

2. Barqaror holatda kuchaytirish koeffitsiyentini yoki dinamik filtr parametrlarini mustaqil ravishda hisoblash imkonini beradigan Kalman statsionar filtrining kuchaytirish koeffitsiyentini hisoblash uchun iteratsion va algebraik algoritmlar takomillashtirilgan.

3. Hisoblash murakkabligini kamaytirish maqsadida taqribiy hisoblash usullaridan foydalanish imkoniyatini ta'minlaydigan va holat vektorining faqat bevosita o'lchash mumkin bo'lgan tarkibiy qismlarinigina baholashga yo'naltirilgan Kalman filtrining kuchaytirish koeffitsiyentini baholashning muntazam algoritmlari ishlab chiqilgan.

4. Neyron tarmog'ini o'rgatish va filtrlash jarayonlari uchun vazn koeffitsiyentlarini o'lchanayotgan hamda kuzatilayotgan ko'rsatkichlarning statistik xususiyatlariga moslashtirishga imkon beradigan adaptiv filtr tarkibida sun'iy neyron tarmog'i bo'lgan adaptiv gibril filtrlash algoritmlari taklif etilgan.

5. Hisoblash aniqligini va baholash algoritmining ishonchliligini oshirish imkoniyatini beradigan gradiyent optimallashtirish usullari yoki Nyuton tipidagi usullarni qo'llagan holda chiziqli tizimlarning parametrik identifikatsiyalash masalasini yechish uchun yaxlitlash xatolariga nisbatan sonli barqaror hisoblash sxemasi ishlab chiqilgan.

6. Jarayonning holatini baholashda kerakli aniqlikni ta'minlaydigan, shu bilan birga filtrning samaradorligi asosan obyekt shovqini va o'lchash halaqitlarining intensivligi bilan belgilanadigan dinamik obyektlarni boshqarish masalalari uchun Kalman filtrini amalga oshirishning sonli algoritmlari taklif etilgan.

7. Sonli modellashtirish natijasida uning to'g'riligi tasdiqlangan hamda kolonnaning optimal ishlash tartiblari aniqlangan propan-butan aralashmasini ajratib olishning dinamik jarayoni uchun fazaviy muvozanat, massa va issiqlik o'tkazuvchanlikni hisobga olgan holda matematik modeli ishlab chiqilgan.

8. Tashqi va ichki g'alayonlar sharoitida tizimning yuqori aniqlik va barqaror ishlashini ta'minlash imkonini beradigan Kalman filtri va boshqaruvchi ta'sirlar bo'yicha teskari aloqadan birgalikda foydalanishga asoslangan propan-butan aralashmasini ajratib olish jarayonini boshqarish va axborotga ishlov berish tizimining sintezi o'tkazilgan.

9. Adaptiv filtrlash, statistik tahlil va zamonaviy hisoblash texnologiyalarini o'z ichiga oladigan hamda axborot tizimlarining ishonchliligini kompleks ravishda oshirishni ta'minlaydigan axborotni qayta ishlashning kompyuter usullariga asoslangan axborotni tahlil qilish tizimlari va ularning ishonchliligini oshirish usullari ishlab chiqilgan.

10. Ishlab chiqilgan sintezlash algoritmlari asosida propan-butan aralashmasini ajratish jarayoni uchun axborotni qayta ishlash va boshqaruv tizimlari taklif qilingan. Taklif etilgan natijalarni joriy etishning kutilayotgan yillik iqtisodiy samarasi 243,04 mln. so'mni tashkil etgan. Natijada propan-butan aralashmasini ajratish jarayonining texnologik rejimini barqarorlash, adaptiv rostlagich parametrlarini hisoblash aniqligini hamda axborotlarni qayta ishlash ishonchliligi va ularni tahlil qilish tizimining samaradorligini oshirish ta'minlangan.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.09/2025.27.12.T.01.03 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ЗАРИПОВА ШАХЛО ОЛИМОВНА

**АЛГОРИТМЫ АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В СИСТЕМАХ
УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ**

05.01.02 – Системный анализ, управление и обработка информации

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2026

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за №B2025.3.PhD/T5875.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (аннотация), размещен на сайте Научного совета (www.tuit.uz) и на информационно-образовательном портале «Ziynet» (www.ziynet.uz).

Научный руководитель: Севинов Жасур Усмонович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Нурмухамедов Толаниддин Рамзиддинович
доктор технических наук, профессор

Сейтов Айбек Жумабаевич
доктор технических наук, профессор

Ведущая организация: Национальный университет Узбекистана

Защита диссертации состоится «10» июня 2026 года в 14⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc. 09/2025.27.12.T.01.03 по присуждению ученых степеней при Ташкентском университете информационных технологий (Адрес: 100084, г. Ташкент, пр. Амира Темура, д.108. Тел.: (99871) 238-64-43, e-mail: ilmiy_kengash@tuit.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий (регистрационный номер №422) (Адрес: 100084, г. Ташкент, пр. Амира Темура, д.108. Тел.: (99871) 238-64-70).

Автореферат диссертации разослан «22» мая 2026 года.
(реестр протокола рассылки №22 от «22» мая 2026 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, доктор 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 доктора философии (PhD))

Актуальность и необходимость темы диссертации. В последние годы в мире приобретают приоритетное значение вопросы обработки информации в системах управления сложными динамическими объектами и обеспечения надёжного управления в условиях неопределённости и внешних воздействий. В настоящее время в таких ведущих странах, как США, Германия, Япония, Южная Корея, Россия и Великобритания, алгоритмы адаптивной фильтрации применяются на промышленных объектах, что позволяет обеспечивать стабильность производственных процессов, раннее выявление неисправностей и эффективное использование энергии и ресурсов. В этом направлении особое внимание уделяется таким важным практическим задачам, как повышение качества обработки информации в технологических процессах за счёт обработки зашумлённых сигналов от датчиков, оценки параметров в режиме реального времени и оптимизации управляющих решений, а также обеспечение надёжности систем управления, снижение аварийности и повышение эффективности производства. Поэтому разработка алгоритмов адаптивной фильтрации для систем управления динамическими объектами, их адаптация к реальным производственным условиям и внедрение, что в свою очередь повышает точность, устойчивость и надёжность систем, является одной из актуальных практических задач на сегодняшний день.

В мире ведутся широкомасштабные научные исследования, направленные на совершенствование эффективных методов и алгоритмов синтеза динамических процессов и систем управления производством, в частности, проводятся масштабные научные исследования, направленные на решение проблем адаптивной фильтрации в системах управления динамическими объектами. Особое внимание уделяется разработке методов фильтрации в системах управления, итеративных и регулярных методов адаптивной фильтрации, алгоритмов адаптивной гибридной фильтрации с искусственной нейронной сетью, устойчивых вычислительных схем, численных методов реализации адаптивных фильтров, методов обработки данных, методов совершенствования надёжности и систем анализа информации.

В нашей Республике особое внимание уделяется проектированию и внедрению в практику усовершенствованных систем адаптивного управления, обеспечивающих энергоэффективность и ресурсосбережение в химической, нефтегазовой, пищевой, энергетической, машиностроительной и перерабатывающей отраслях промышленности. В связи с этим в стратегии "Цифровой Узбекистан-2030" определены такие задачи, как « ... внедрение более 280 информационных систем и программных продуктов по автоматизации управленческих, производственных и логистических процессов на предприятиях отраслей реального сектора экономики»¹⁴. Важной задачей при реализации этих задач является автоматизация и

¹⁴ Указ Президента Республики Узбекистан №ПФ-6079 от 05.10.2020 г. «Об утверждении Стратегии «Цифровой Узбекистан-2030» и мерах по ее эффективной реализации».

управление производственными процессами, разработка информационных систем и программных продуктов.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит реализации задач, определённых Указом Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года №ПФ-60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы», Указом от 30 января 2025 года №ПФ-16 «О государственной программе по реализации стратегии «Узбекистан-2030» в «Год охраны окружающей среды и зелёной экономики», Постановлением от 14 октября 2024 года №ПП-358 «Об утверждении Стратегии развития технологий искусственного интеллекта до 2030 года», а также другими нормативно-правовыми актами, относящимися к данной деятельности.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики IV. «Информатизация и развитие информационно-коммуникационных технологий».

Степень изученности проблемы. Анализ научно-технической литературы последних лет, относящийся к исследованиям по разработке методов и алгоритмов адаптивной фильтрации в системах управления динамическими объектами, свидетельствует о значительном уровне теоретических и практических результатов в этой области. Опубликовано большое количество работ, посвященных проблемам синтеза систем адаптивной фильтрации и управления, разработаны общетеоретические критерии, идёт рост количества решаемых практических задач. Обширные научные исследования проводятся в ведущих мировых научных центрах и университетах, включая University of Cambridge (Великобритания), California Institute of Technology, University of Princeton, Massachusetts Institute of Technology (США), KAIST - Korea Advanced Institute of Science & Technology (Южная Корея), Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана (Россия), Nagoya University (Япония) и Ташкентский государственный технический университет.

Совершенствованию и разработке методов и алгоритмов адаптивной фильтрации в системах управления динамическими объектами, системного анализа, управления и обработки информации значительный вклад внесли многие зарубежные учёные, в частности, D.Simon¹, S.Haykin², D.P.Kim³, V.I.Djigan⁴, A.V.Sergienko⁵, D.Makkonnell⁶, V.O.Nikiforov⁷, а также учёные нашей страны Н.Р.Юсупбеков⁸, М.М.Камилов⁹, Х.З.Игамбердиев¹⁰,

¹Simon D. Optimal State Estimation: Kalman, H Infinity, and Nonlinear Approaches. – Wiley-Interscience, 2006. – 552 p.

²Haykin S. Adaptive Filter Theory. – 5th ed. – Pearson, 2013. – 928 p.

³Ким Д.П. Теория автоматического управления. – М.: Издательство Юрайт, 2025. – 309 с.

⁴Джиган В.И. Параллельные вычисления в RLS-алгоритмах адаптивной фильтрации // Вестник Московского государственного технического университета им.Н.Э.Баумана. Серия «Приборостроение», 2006, №1. – С.30-49.

⁵Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. Учебн. пособие, 3-е изд-е. – С.-Пб.: БХВ-Петербург, 2011.

⁶Макконнелл Д. Анализ алгоритмов: активный обучающий подход. – Санкт-Петербург: Питер, 2019. – 416 с.

⁷Никифоров В.О. Адаптивное и робастное управление с компенсацией возмущений. – М.: Наука, 2003. – 282 с.

⁸Yusupbekov N., Adilov F., Ivanyan A., Abdurasulov F. Application of digital twin technologies in mining industrial branch // E3S Web of Conferences 417, 05016, 2023.

⁹Камилов М.М., Фазилов Ш.Х., Мирзаев Н., Раджабов С.С. Модели алгоритмов распознавания, основанных на оценке взаимосвязанности признаков. Монография. – Ташкент: изд-во "Фан ва технология", 2020. – 148 с.

¹⁰Игамбердиев Х.З., Юсупбеков А.Н., Зарипов О.О. Регулярные методы оценивания и управления динамическими объектами в условиях неопределенности. – Т.: ТашГТУ, 2012. – 320 с.

Т.Ф.Бекмуратов¹¹, М.А.Исмаилов, А.А.Кадилов, И.Х.Сиддилов¹², А.Р.Марахимов¹², О.О.Зарипов¹³, Ж.У.Севинов¹³ и другие.

Вместе с тем в последние годы усложнение и расширение круга научных исследований в области синтеза систем управления динамическими объектами и их адаптивной фильтрации в системах управления динамическими объектами требует разработки новых эффективных методов и алгоритмов. В условиях взаимосвязи погрешностей измерений объекта необходимо будет улучшить адаптивность фильтров и обеспечить приближение этих оценок к реальным значениям. Поэтому простых методов фильтрации, управления и обработки информации недостаточно для полного управления этими системами. Не до конца разработаны итерационные алгоритмы адаптивной фильтрации в системах управления динамическими объектами, где выбирается решение, наиболее близкое к исходным данным, алгоритмы адаптивной фильтрации на основе концепций QR-декомпозиции для нелинейных систем с аддитивным шумом, обновления коэффициента Холески и метода наименьших квадратов, итерационные и алгебраические алгоритмы расчета коэффициента усиления стационарного фильтра Калмана, регулярные алгоритмы оценки коэффициента усиления фильтра Калмана, алгоритмы адаптивной гибридной фильтрации с искусственной нейронной сетью в составе адаптивного фильтра.

Кроме того, эффективность фильтра требует разработки численных алгоритмов реализации фильтра Калмана для задач динамического управления объектами, определяемых главным образом интенсивностью шума объекта и помехи измерений, а также методов повышения надежности и систем анализа информации, основанных на компьютерных методах обработки информации. Исходя из этого, адаптивная фильтрация динамических объектов расширяет круг алгоритмических процедур построения и реализации систем управления и повышает эффективность их функционирования. Вышеизложенное позволяет сделать вывод о необходимости разработки методов и алгоритмов адаптивной фильтрации в системах управления динамическими объектами, синтеза адаптивных систем управления, модификации и создания новых эффективных алгоритмов обработки информации.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках научно-исследовательских проектов Ташкентского государственного технического университета: №ОТ-Ф4-78 – «Разработка теоретических основ и регулярных методов синтеза адаптивных систем управления динамическими объектами на основе идентификационного подхода» (2017-2020 гг.) и №FL-9524115106 – «Совершенствование теории и создание концепции и методологии комплексной автоматизации технологических процессов» (2025–2029 гг.).

¹¹Бекмуратов Т.Ф. Систематизация задач интеллектуальных систем поддержки принятия решений // Проблемы информатики и энергетики. 2003. №4. – С.24-35.

¹²Марахимов А.Р., Игамбердиев Х.З., Юсупбеков А.Н., Сиддилов И.Х. Нечетко множественные модели и интеллектуальное управление технологическими процессами. – Т.: ТашГТУ, 2014. – 240 с.

¹³Игамбердиев Х.З., Севинов Ж.У., Зарипов О.О. Регулярные методы и алгоритмы синтеза адаптивных систем управления с настраиваемыми моделями. – Т.: ТашГТУ, 2014. – 160 с.

Целью исследования является разработка алгоритмов адаптивной фильтрации в системах управления динамическими объектами на основе анализа и обработки информации.

Задачи исследования:

системный анализ современного состояния и тенденций развития методов и алгоритмов адаптивной фильтрации в системах управления динамическими объектами;

разработка алгоритмов адаптивного оценивания систем управления динамическими объектами в условиях воздействия аддитивных шумов;

разработка алгоритмов адаптивной гибридной фильтрации с искусственной нейронной сетью в составе адаптивного фильтра;

разработка численно устойчивых по отношению к ошибкам округления вычислительных схем и численное решение реализации фильтра Калмана для задач управления динамическими объектами;

разработка итерационных и алгебраических алгоритмов вычисления коэффициента усиления стационарного фильтра Калмана;

практическая апробация разработанных алгоритмов и вычислительных схем устойчивого оценивания состояния при решении задачи синтеза адаптивной системы управления конкретным динамическим объектом.

Объектом исследования являются процессы управления динамическими объектами.

Предметом исследования являются алгоритмы динамической фильтрации состояния объектов управления.

Методы исследования. В процессе исследования использовались концепции системного анализа, теории адаптивных систем управления, динамической фильтрации, регуляризации, обработки информации и методы повышения надежности.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

разработаны алгоритмы адаптивной фильтрации для нелинейных систем с аддитивным шумом на основе концепций QR-декомпозиции и обновления коэффициента Холески и МНК, позволяющие улучшить самоадаптируемость фильтров в условиях коррелированности ошибок измерений и обеспечить сходимость этих оценок к истинным значениям;

разработаны алгоритмы адаптивной гибридной фильтрации с искусственной нейронной сетью в составе адаптивного фильтра, позволяющие обучать нейронную сеть и подстраивать весовые коэффициенты для процедур фильтрации под статистические характеристики измеряемых и наблюдаемых показателей;

предложена численно устойчивая по отношению к ошибкам округления вычислительная схема для решения задачи параметрической идентификации линейных систем при использовании градиентных методов оптимизации или методов ньютоновского типа, позволяющая повысить точность вычислений и надежность алгоритма оценивания;

модифицированы итерационные и алгебраические алгоритмы для расчета коэффициента усиления стационарного фильтра Калмана, позволяющие автономно вычислять коэффициент усиления или параметры динамического фильтра в установившемся режиме.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:
разработаны адаптивные алгоритмы фильтрации, позволяющие повысить точность вычисления параметров объекта, шумов и возмущений;
разработаны адаптивные гибридные алгоритмы фильтрации на основе искусственных нейронных сетей, обеспечивающие стабилизацию технологического режима процесса выделения пропан-бутановой смеси;
разработаны численно-устойчивые вычислительные схемы в отношении ошибок округления для решения задачи параметрической идентификации линейных систем, позволяющие повысить надёжность обработки информации и эффективность системы её анализа;
разработаны итерационные и алгебраические алгоритмы вычисления коэффициента усиления стационарного фильтра Калмана, позволяющие повысить точность расчёта параметров адаптивного регулятора.

Достоверность результатов исследования. Достоверность полученных результатов обеспечивается выполнением методически обоснованных теоретических выкладок; применением теоретически обоснованных концепций адаптивной фильтрации динамических объектов; использованием апробированных методов и алгоритмов современного автоматического управления и обработки информации; требуемой степенью сходимости предлагаемых методов и алгоритмов адаптивной фильтрации; полученными результатами теоретических и прикладных исследований и их взаимной согласованностью.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования заключается в разработке конструктивных методов и алгоритмов регулярной адаптивной фильтрации состояний динамических объектов управления, а также систем анализа информации.

Практическая значимость результатов исследований заключается в разработке математического и алгоритмического обеспечения задач адаптивной фильтрации и синтеза систем управления динамическими объектами, а также в разработке методов обработки информации. Разработанные методы и алгоритмы адаптивной фильтрации состояний динамических объектов управления и систем анализа информации могут найти широкое применение при построении функциональной структуры и автоматизации проектирования адаптивных систем управления производственными процессами.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов по разработке алгоритмов адаптивной фильтрации в системах управления динамическими объектами:

разработанные алгоритмы адаптивной фильтрации для нелинейных систем с аддитивным шумом на основе концепций QR-декомпозиции, обновления коэффициента Холецки и МНК внедрены в Шуртанском нефтегазодобывающем управлении АО «Узбекнефтегаз» (Справка АО «Узбекнефтегаз» №07-18-8-278 от 09 апреля 2026 г.). В результате повышается точность расчета параметров объекта, шума и возмущений;

разработанные алгоритмы адаптивной гибридной фильтрации с искусственной нейронной сетью в составе адаптивного фильтра внедрены в Шуртанском нефтегазодобывающем управлении АО «Узбекнефтегаз»

(Справка АО «Узбекнефтегаз» №07-18-8-278 от 09 апреля 2026 г.). В результате разработанные алгоритмы позволили стабилизировать технологический режим процесса выделения пропан-бутановой смеси;

разработанная численно устойчивая по отношению к ошибкам округления вычислительная схема для решения задачи параметрической идентификации линейных систем при использовании градиентных методов оптимизации или методов ньютоновского типа внедрены в Шуртанском нефтегазодобывающем управлении АО «Узбекнефтегаз» (Справка АО «Узбекнефтегаз» №07-18-8-278 от 09 апреля 2026 г.). Результат позволил повысить надежность обработки информации на основе компьютерных методов, а также эффективность системы анализа информации.

разработанные итерационные и алгебраические алгоритмы для расчета коэффициента усиления стационарного фильтра Калмана внедрены в Шуртанском нефтегазодобывающем управлении АО «Узбекнефтегаз» (Справка АО «Узбекнефтегаз» №07-18-8-278 от 09 апреля 2026 г.). В результате повысилась точность расчета параметров адаптивного регулятора.

Апробация результатов исследования. Теоретические и практические результаты исследования апробированы на 4 международных и 5 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 22 научные работы, из них 9 статей (7 - в республиканских и 2 – в зарубежных журналах) в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов. Также получены 3 свидетельства Агентства интеллектуальной собственности Республики Узбекистан о государственной регистрации программных продуктов для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 120 страницы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновываются актуальность и востребованность проведенного исследования, цель и задачи исследования, характеризуются объект и предмет, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, раскрываются научная и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику результатов исследования, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Анализ методов и алгоритмов фильтрации и средств обработки информации в системах управления»** описаны существующие алгоритмы адаптивной фильтрации и их эффективность, современное состояние и тенденции развития методов и алгоритмов обработки информации, а также цель и задачи исследования.

Проблема управления динамическими объектами и комплексного решения задач, возникающих в процессе их функционирования, сохраняет свою актуальность на сегодняшний день. Потому что рациональное использование ограниченных ресурсов, наряду с прочностью, надежностью

системы и приемлемостью технологических затрат, достижение максимальной эффективности является естественной необходимостью. При этом организация процессов диагностирования на системном уровне связана со спецификой сложных объектов, их взаимодействием с внешними факторами, а также ограниченностью и противоречивостью имеющейся информации. Наряду с бурным развитием информационно-коммуникационных технологий увеличивается и число цифровых сигнальных процессоров и устройств на их основе. Это приводит к повышению качества обработки сигналов. Если передаточная функция фильтров заранее не определена точно или параметры изменяются в процессе эксплуатации, использование классических фильтров с фиксированными параметрами оказывается недостаточным. Решение этих задач позволяет разрабатывать адаптивные алгоритмы фильтрации в системах управления, что способствует повышению эффективности систем управления динамическими объектами.

Таким образом, основным направлением данного исследования является решение проблемы повышения точности и устойчивости систем управления динамическими объектами за счет применения методов адаптивной фильтрации в условиях неопределенности. Процесс создания таких алгоритмов требует глубокого теоретического анализа, численного моделирования, оптимизации параметров и оценки вычислительной сложности. При этом вычислительная эффективность предлагаемых подходов и возможность их реализации в условиях реального времени выделяются как одно из важных направлений научных исследований. В частности, эти факторы имеют решающее значение для надежной и эффективной работы автоматизированных систем управления динамическими объектами.

Во второй главе диссертации **«Разработка алгоритмов адаптивной фильтрации в системах управления динамическими объектами»** разработаны итерационные алгоритмы адаптивной фильтрации, а также предложены алгоритмы оценки объектов в условиях воздействия аддитивного шума. Разработаны устойчивые итерационные и регулярные алгоритмы оценки коэффициентов матричного усиления фильтра Калмана. Также предложены алгоритмы адаптивной гибридной фильтрации с искусственной нейронной сетью в составе адаптивного фильтра и численно устойчивые по отношению к ошибкам округления вычислительные схемы.

Рассмотрим линейную динамическую систему, представленную следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} x_{i+1} &= Ax_i + w_i, \\ z_i &= Hx_i + v_i, \end{aligned} \tag{1}$$

для $i \geq 0$, где x_i – n -мерный вектор состояния в момент времени i , z_i – m -мерный вектор измерения в момент времени i , A – $n \times n$ -мерная матрица перехода системы, H – $m \times n$ -мерная матрица выхода, w_i – шума объекта в момент времени i , а v_i – помехи измерения в момент времени i . Более того, $\{w_i\}$ и $\{v_i\}$ являются Гауссовыми случайными процессами со средним значением, равным нулю, с ковариационными матрицами Q и R соответственно.

Пусть уравнения, представляющие алгоритм оптимальной оценки фильтра Калмана, имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}\hat{x}_{i|i-1} &= A\hat{x}_{i-1|i-1}, \quad \hat{x}_{i|i} = \hat{x}_{i|i-1} + Ky_i, \quad y_i = z_i - H\hat{x}_{i|i-1}, \\ P &\stackrel{\Delta}{=} E\left\{\left[x_i - \hat{x}_{i|i-1}\right]\left[x_i - \hat{x}_{i|i-1}\right]^T\right\} = AP'A^T + \tilde{A}Q\tilde{A}^T, \\ P &\stackrel{\Delta}{=} E\left\{\left[x_i - \hat{x}_{i|i}\right]\left[x_i - \hat{x}_{i|i}\right]^T\right\} = (I - KH)P(I - KH)^T + KRK^T, \quad \hat{x}_{0|0} = \hat{x}_0, \quad P_{0|0} = P_0.\end{aligned}$$

Расчет ковариационных матриц ошибок прогнозирования и оценки выполняется следующим образом:

$$K_i = P_{i/i-1}H^T(HP_{i/i-1}H^T + R)^{-1}, \quad (2)$$

$$P_{i/i} = (I - K_iH)P_{i/i-1}, \quad (3)$$

$$P_{i+1/i} = Q + AP_{i/i}A^T,$$

где K_i – коэффициент усиления фильтра Калмана. В случае, когда $i \geq 0$ начальным условием является $P_{0/-1} = P_0$.

Рассмотрим подход к адаптивной фильтрации для нелинейных систем с аддитивным шумом. Алгоритм адаптивной оценки состоит из следующих этапов:

$$\begin{aligned}\hat{x}_0 &= E[x_0], \quad S_0 = chol\{E[(x_0 - \hat{x}_0)(x_0 - \hat{x}_0)^T]\}, \quad \sqrt{\hat{Q}_0} = S_0, \quad \sqrt{\hat{R}_0} = chol\{E[(z_0 - \hat{z}_0)(z_0 - \hat{z}_0)^T]\}, \\ \chi_{i-1} &= [\hat{x}_{i-1}, \hat{x}_{i-1} + \gamma S_{i-1} \hat{x}_{i-1} - \gamma S_{i-1}] \text{ da } i = 1, 2, \dots, \infty.\end{aligned}$$

Вычисляем квадратный корень из измеренной матрицы шума:

$$\begin{aligned}\hat{Z}_{i-1}^* &= h(\hat{\chi}_{i-1}), \quad \hat{z}_{i-1}^* = \sum_{k=0}^{2L} W_k^{(m)} \hat{Z}_{i-1,k}^*, \quad \tilde{z}_{i-1}^* = z_{i-1} - \hat{z}_{i-1}^*, \\ \sqrt{R^{**}} &= cholupdate\left\{\sqrt{1-d_i} \sqrt{\hat{R}_{i-1}}, |\tilde{z}_{i-1}^*|, d_i\right\}, \quad (4)\end{aligned}$$

$$\sqrt{R^*} = cholupdate\left\{\sqrt{R^{**}} \hat{Z}_{i-1|0:2L}^* - \hat{z}_{i-1}^*, -d_i W_k^{(c)}\right\}, \quad \sqrt{\hat{R}_i} = diag\left\{\sqrt{R^*}\right\},$$

где $\hat{\chi}_{i|i-1} = [\hat{x}_{i|i-1}, \hat{x}_{i|i-1} + \gamma S_{i|i-1} \hat{x}_{i|i-1} - \gamma S_{i|i-1}]$, $\hat{Z}_{i|i-1} = h(\hat{\chi}_{i|i-1})$, $\hat{z}_{i|i-1}^* = \sum_{k=0}^{2L} W_k^{(m)} \hat{Z}_{i|i-1,k}^*$, $\tilde{z}_{i-1}^* = z_{i-1} - \hat{z}_{i|i-1}^*$.

Уравнения обновления измерений имеют следующий вид:

$$P_{(xz)i} = \sum_{k=0}^{2L} W_k^{(c)} (\hat{\chi}_{i|i-1,k} - \hat{x}_{i|i-1}) (\hat{Z}_{i|i-1,k} - \hat{z}_{i|i-1})^T, \quad S_{(z)i} = qr\left\{\left[\sqrt{W_1^{(c)}} (\hat{Z}_{i|i-1,1:2L} - \hat{z}_{i|i-1}) \sqrt{\hat{R}_i}\right]\right\},$$

$$S_{(z)i} = cholupdate\left\{[S_{(z)i}, \hat{Z}_{i|i-1,0} - \hat{z}_{i|i-1}, W_0^{(c)}]\right\}, \quad K_i = \frac{(P_{(xz)i} / S_{(z)i}^T)}{S_{(z)i}},$$

$$\hat{x}_i = \hat{x}_{i|i-1} + K_i \tilde{z}_i, \quad U = K_i S_{(z)i}, \quad S_{(z)i} = cholupdate\{S_{i|i-1}, U, -1\}.$$

Оцениваем квадратный корень из матрицы шума процесса следующим образом:

$$\begin{aligned}\sqrt{Q^{**}} &= cholupdate\left\{\sqrt{\hat{Q}_{i-1}}, |\hat{x}_i - \hat{x}_{i|i-1}|, d_i\right\}, \\ \sqrt{Q^*} &= cholupdate\left\{\sqrt{Q^{**}}, U, -d_i\right\}, \quad \sqrt{\hat{Q}_i} = diag\left\{diag\left(\sqrt{Q^*}\right)\right\}, \quad (5)\end{aligned}$$

где $d_i = (1-b)/(1-b^{i+1})$ и b – коэффициент забывания, обычно равен $0 < b < 1$. Среднее и ковариационные веса ($W_k^{(m)}$ и $W_k^{(c)}$) определяются по следующей формуле:

$$W_0^{(m)} = \frac{\lambda}{L+\lambda}, \quad W_0^{(c)} = \frac{\lambda}{L+\lambda} + 1 - \alpha^2 + \beta, \quad W_k^{(m)} = W_k^{(c)} = \frac{1}{2(L+\lambda)}, \quad k = 1, \dots, 2L,$$

где $\lambda = \alpha^2(L+\kappa)$ – параметр масштабирования.

Уравнения, представленные в выражениях (4) и (5), отличаются от стандартных уравнений. Эти уравнения повышают адаптивные возможности

фильтра. Разработанный адаптивный фильтр гарантирует положительную полуточность Q или R .

Для определения состояния динамических систем при наличии параметрической априорной неопределенности рассмотрим следующую линейную динамическую систему: $G_i = K_i H$, где G_i – несимметричная матрица размера $n \times n$.

Выводим следующее нелинейное итеративное уравнение для коэффициента усиления фильтра Калмана K_k :

$$\begin{aligned} K_{k+1} &= (QA^{-T}H^T R^{-1} + AK_k)[HQA^{-T}H^T R^{-1} + HS^{-1}A^{-T}H^T R^{-1} + HAK_k]^{-1} = \\ &= (C + DK_k)[L + BK_k]^{-1}, \end{aligned} \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} L &= HQA^{-T}H^T R^{-1} + HS^{-1}A^{-T}H^T R^{-1} = H(Q + S^{-1})A^{-T}H^T R^{-1}, \\ B &= HA, \quad C = QA^{-T}H^T R^{-1}, \quad D = A. \end{aligned} \quad (7)$$

Используя выражение (6), составим следующее нелинейное итеративное уравнение относительно коэффициента усиления фильтра Калмана K_k :

$$\begin{aligned} K_{k+1} &= (C + DK_k)[L + BK_k]^{-1} = c + l[K_k^{-1} + b]^{-1}d, \\ K_k &= Y_k X_k^{-1}, \quad Y_{k+1} X_{k+1}^{-1} = (C + DY_k X_k^{-1})[L + BY_k X_k^{-1}]^{-1} = (CX_k + DY_k)[LX_k + BY_k]^{-1}, \\ \begin{bmatrix} X_{k+1} \\ Y_{k+1} \end{bmatrix} &= \Phi \begin{bmatrix} X_k \\ Y_k \end{bmatrix}, \quad \Phi = \begin{bmatrix} L & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d^{-1} & d^{-1}b \\ cd^{-1} & cd^{-1}b + l \end{bmatrix}, \\ l &= D - CL^{-1}B, \quad b = L^{-1}B, \quad c = CL^{-1}, \quad d = L^{-1}, \quad K_0 = P_0 H^T [HP_0 H^T + R]^{-1}. \end{aligned}$$

K_k стремится к стационарному значению \tilde{K} , удовлетворяющему следующее уравнение: $\tilde{K} = c + a[\tilde{K}^{-1} + b]^{-1}d$.

Таким образом, используя $P_0 = 0$ в качестве начального условия, которое работает как в итеративном алгоритме, получим $K_0 = Y_0 X_0^{-1} = 0$. В результате получаем следующие нелинейные итерационные уравнения:

$$\begin{aligned} l_{k+1} &= l_k (I - c_k [I + b_k c_k]^{-1} b_k) l_k, \quad b_{k+1} = b_k + d_k [I + b_k c_k]^{-1} b_k l_k, \\ c_{k+1} &= c_k + l_k c_k [I + b_k c_k]^{-1} d_k, \quad d_{k+1} = d_k [I + b_k c_k]^{-1} d_k, \quad l_1 = l, \quad b_1 = b, \quad c_1 = c, \quad d_1 = d. \end{aligned}$$

Видно, что выражение $c_k = Y_{2^k} X_{2^k}^{-1} = K_{2^k}$ стремится к постоянному значению \tilde{K} . Используя параметры L, B, C, D в уравнении, приведенном в выражении (7), приходим к следующему результату:

$$\Phi = \begin{bmatrix} L & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} \\ W_{21} & W_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Lambda & 0 \\ 0 & \Lambda^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} \\ W_{21} & W_{22} \end{bmatrix}^{-1},$$

где Φ – $2n \times 2n$ -мерная матрица. После этого стационарный фильтр Калмана будет иметь следующий результат $\tilde{K} = W_{21} W_{11}^{-1}$.

Рассмотрим алгоритм расчета коэффициента усиления \tilde{K} стационарного фильтра Калмана:

$$x_{k+1/k+1} = (I - \tilde{K}H)Ax_{k/k} + \tilde{K}z_{k+1} = (I - \tilde{G})Ax_{k/k} + \tilde{K}z_{k+1}. \quad (8)$$

Как видно из выражения (8), параметры стационарного фильтра Калмана напрямую связаны с коэффициентом усиления фильтра Калмана. В частности, ковариация ошибки прогнозирования стационарного состояния может быть рассчитана с использованием коэффициента усиления стационарного состояния и определяется как:

$$\tilde{P}_p = [I - \tilde{K}H]^{-1} \tilde{K}RH[H^T H]^{-1}. \quad (9)$$

Действительно, из выражения (2) получаем $\tilde{K} = \tilde{P}_p H^T [H \tilde{P}_p H^T + R]^{-1}$, что, в свою очередь, приводит к следующему результату:

$$\begin{aligned} \tilde{K}(H \tilde{P}_p H^T + R) &= \tilde{P}_p H^T \Rightarrow \tilde{K} H \tilde{P}_p H^T + \tilde{K} R = \tilde{P}_p H^T \\ \Rightarrow \tilde{P}_p H^T - \tilde{K} H \tilde{P}_p H^T &= \tilde{K} R \Rightarrow (I - \tilde{K} H) \tilde{P}_p H^T = \tilde{K} R \\ \Rightarrow \tilde{P}_p H^T &= [I - \tilde{K} H]^{-1} \tilde{K} R \Rightarrow \tilde{P}_p H^T H = [I - \tilde{K} H]^{-1} \tilde{K} R H. \end{aligned}$$

Поскольку $rank(H) = n$, то матрица $H^T H$ является невырожденной; поэтому из последнего уравнения сразу же вытекает формула ковариации путем прогнозирования устойчивого состояния в выражении (9). Отсюда, согласно (3), ковариация ошибки оценки устойчивого состояния может быть вычислена через ковариацию ошибки прогнозирования устойчивого состояния: $\tilde{P}_e = [I - \tilde{K} H] \tilde{P}_p$. Этот алгоритм не требует хранения больших объёмов данных. Новое значение фильтрации может быть рассчитано в любой момент времени по мере поступления новых данных. Поэтому этот метод упрощает обработку данных в режиме реального времени и удобен для вычислений, программирования и реализации на компьютере.

Рассмотрим случай, требующий одновременной оценки параметров и состояний процессов в линейных динамических системах. Динамические изменения состояний системы выражаются в виде рекуррентных уравнений, основанных на следующих вспомогательных параметрах состояния:

$$\begin{aligned} \hat{\alpha}_{i+1} &= \tilde{\mathfrak{R}}_{i+1,i,u}^T \hat{\alpha}_i + K_{i+1} \left[z_{i+1} - H(Y_{i+1}) \tilde{\mathfrak{R}}_{i+1,i,u}^T \hat{\alpha}_i \right], \\ K_{i+1} &= P(\Delta \alpha_{i+1|i}) H^T (Y_{i+1}) \left[H(Y_{i+1}) P(\Delta \alpha_{i+1|i}) H^T (Y_{i+1}) + V_{\eta(i+1)} \right]^{-1}, \\ P(\Delta \alpha_{i+1|i}) &= \tilde{\mathfrak{R}}_{i+1,i,u} P(\Delta \alpha_i) \tilde{\mathfrak{R}}_{i+1,i,u}^T \times + \tilde{A}_i V_{\xi(i)} \tilde{A}_i^T, \\ P(\Delta \alpha_i) &= [E - K(Y_{i+1}) H(Y_{i+1})] P(\Delta \alpha_{i+1|i}), \end{aligned}$$

где $\hat{\alpha}_{i+1}$ и $\hat{\alpha}_i$ – векторы вспомогательных параметров состояния на следующем ($i+1$) и предыдущем (i) шагах процесса смены состояний; $\tilde{\mathfrak{R}}_{i+1,i,u}^T$ – транспонированная матрица, содержащая одношаговые переходные вероятности для описания процесса смены состояний в рамках цепи Маркова.

Учитывая специфику рассматриваемой проблемы, в процессе гибридной адаптивной фильтрации нейронных сетей для получения вспомогательных параметров состояний системы, то есть оценочных значений элементов векторного столбца $\hat{\alpha}_{i+1}^N$ можно выделить следующие основные этапы:

$$\begin{aligned} \hat{\alpha}_{i+1|i} &= \tilde{\mathfrak{R}}_{i+1,i,u}^T \hat{\alpha}_i^N; \hat{Z}_{i+1|i} = H(Y_{i+1}) \hat{\alpha}_{i+1|i}, \hat{\alpha}_{i+1}^N = K^N(\hat{\alpha}_{i+1|i}, Z_{i+1}, E_{i+1}), \\ Z_{i+1} &= \left[z_{i+1}^T, z_i^T, \dots, z_{i-m_z+1}^T \right]^T; E_{i+1} = \left[\varepsilon_{i+1}^T, \varepsilon_i^T, \dots, \varepsilon_{k-m_\varepsilon+1}^T \right]^T, \\ \varepsilon_{i+1} &= Z_{i+1} - \hat{Z}_{i+1|i} = Z_{i+1} - H(Y_{i+1}) \hat{\alpha}_{i+1|i}, \\ R &= (m_z + 1)M + (m_\varepsilon + 1)M + M = (m_z + m_\varepsilon + 3), \\ Y_{i+1} &= \left[y_{1(i+1)}, y_{2(i+2)}, \dots, y_{R(i+1)} \right]^T = \left[\hat{\alpha}_{i+1|i}^T, Z_{i+1}^T, E_{i+1}^T \right]^T, \end{aligned}$$

Адаптивные гибридные фильтры обеспечивают быстрый отклик системы и оптимизацию параметров в реальном времени:

$$P_m^N(\Delta \alpha_i) = \frac{1}{S} \sum_{k=1}^S [(e_{m(i)}^{(k)}) - (e_{m(i)}^{(k)})^T] = \frac{1}{S} \sum_{k=1}^S [(\alpha_{m(i)}^{(k)} - \hat{\alpha}_{m(i)}^N)(\alpha_{m(i)}^{(k)} - \hat{\alpha}_{m(i)}^N)^T].$$

Рекуррентный алгоритм оценки вектора состояния с помощью искусственной нейронной сети имеет следующий вид:

$$\hat{\alpha}_i = \hat{\alpha}_{i/i-1} + K_i(\hat{\lambda}_i - h_i[\hat{\alpha}_{i/i-1}]), \quad \hat{\alpha}_{i/i-1} = B_{i-1}\hat{\alpha}_{i-1}, \quad K_i = C_i^{-1}H_i^T C_{\lambda i}, \\ C_i^{-1} = (C_{i/i-1} + H_i^T C_{\lambda i} H_i)^{-1}, \quad C_{i/i-1}^{-1} = B_{i-1}^{-1} C_{i-1}^{-1} B_{i-1}^T + Q_{i-1},$$

где $h_i[\hat{\alpha}_{i/i-1}]$ – пересчет прогнозируемой оценки вектора состояния, $\hat{\alpha}_{i/i-1}$ – прогнозируемая оценка вектора состояния, $\hat{\lambda}_i$ – вектор измерения.

Обучаемая искусственная нейронная сеть в составе адаптивных фильтров адаптируется к статистическим характеристикам, полученным в результате наблюдения и измерения линейных и нелинейных переменных параметров объектов управления. В результате весовые коэффициенты автоматически оптимизируются в процессе фильтрации, что повышает точность и устойчивость системы управления.

На рис.1 показаны ошибки (а) оценки элементов вектора состояния с использованием классического фильтра Калмана (ККФ) и разработанного интегрированного алгоритма (ИЧА), а также ошибки (б) оценки элементов матрицы состояния. Эти результаты позволяют сравнить точность оценки и устойчивость алгоритмов.

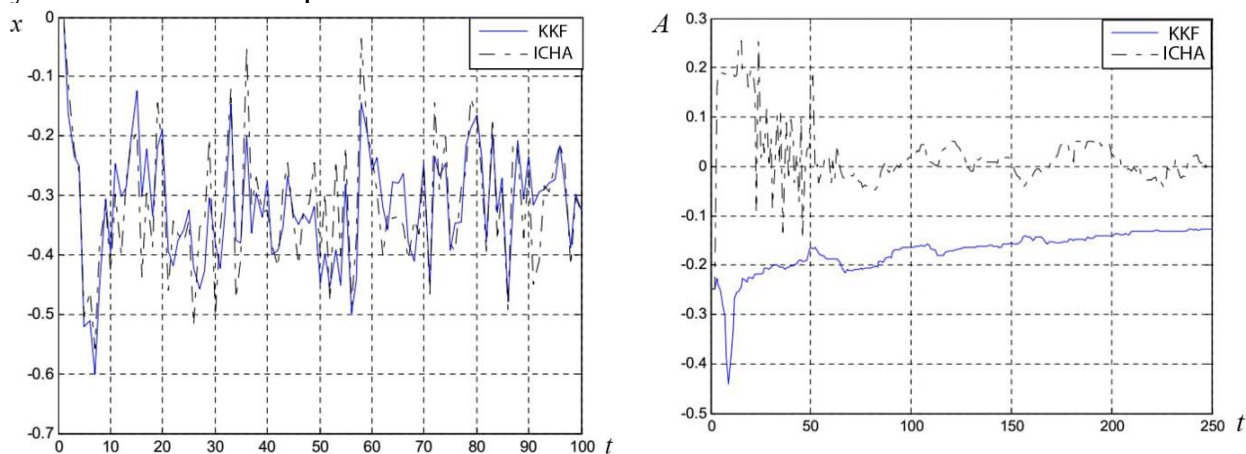


Рис. 1. Ошибки (а) оценки элементов вектора состояния с использованием классического фильтра Калмана (ККФ) и разработанного интегрированного алгоритма (ИЧА), а также ошибки (б) оценки элементов матрицы состояния.

Результаты показывают, что разработанный алгоритмический подход, реализованный с использованием адаптивных гибридных алгоритмов фильтрации искусственных нейронных сетей, значительно улучшает точность оценки, стабильность и вычислительную эффективность системы по сравнению с классическим фильтром Калмана, что обеспечивает простоту практического применения в системах управления динамическими объектами.

Также разработана численно устойчивая по отношению к ошибкам округления вычислительная схема для решения задачи параметрической идентификации линейных систем при использовании градиентных методов оптимизации или методов Ньютоновского типа, позволяющая повысить точность вычислений и надежность алгоритма оценивания.

В третьей главе диссертации «**Разработка систем обработки информации и управления процессом выделения пропан-бутановой смеси**» проведен анализ динамического процесса как объекта управления, разработана его математическая модель, синтезирована система управления и

обработки информации процессом выделения пропан-бутановой смеси, а также разработаны системы повышения надежности и анализа информации на основе компьютерных методов обработки информации.

В качестве основных показателей, характеризующих процесс выделения пропан-бутановой смеси, рассматривались следующие величины: управляющие параметры: $u=(u_1, u_2)$, где u_1 – представляет собой температуру на входе, а u_2 – представляет собой расход исходной газовой смеси; выходные параметры: $y=(y_1, y_2)$, где y_1 – представляет массовую долю пропана на выходе, а y_2 – представляет температуру продукта.

Ниже на основе экспериментальных методов исследования представлены динамические характеристики процесса выделения пропан-бутановой смеси по основным каналам реакции:

$$W_{11} = \frac{0.017}{461.10s^2 + 36.7s + 1} e^{-5s} \text{ (для случая } u_1 \rightarrow y_1 \text{);}$$

$$\tilde{x}_{k+1} = \begin{bmatrix} -0.0796 & -0.0022 \\ 1.0000 & 0 \end{bmatrix} \tilde{x}_k + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u_k, \quad (10)$$

$$W_{12} = \frac{0.006}{912.4s^2 + 53.1s + 1} e^{-5s} \text{ (для случая } u_1 \rightarrow y_2 \text{);}$$

$$\tilde{x}_{k+1} = \begin{bmatrix} -0.0582 & -0.0011 \\ 1.0000 & 0 \end{bmatrix} \tilde{x}_k + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u_k, \quad (11)$$

$$W_{21} = \frac{0.19}{234s^2 + 29s + 1} e^{-5s} \text{ (для случая } u_2 \rightarrow y_1 \text{);}$$

$$\tilde{x}_{k+1} = \begin{bmatrix} -0.1239 & -0.0043 \\ 1.0000 & 0 \end{bmatrix} \tilde{x}_k + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u_k, \quad (12)$$

$$W_{22} = \frac{0.0029}{698.3s^2 + 50.6s + 1} e^{-5s} \text{ (для случая } u_2 \rightarrow y_2 \text{);}$$

$$\tilde{x}_{k+1} = \begin{bmatrix} -0.0725 & -0.0014 \\ 1.0000 & 0 \end{bmatrix} \tilde{x}_k + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u_k. \quad (13)$$

Анализ динамических моделей, представленных в (10) - (13), показывает, что наиболее значимым каналом рассматриваемого объекта является канал $u_2 \rightarrow y_1$, т.е. канал «начальный расход газовой смеси - массовая доля пропана на выходе». Это связано с тем, что канал имеет наибольший коэффициент усиления и наименьшую инерцию. Поэтому синтез системы управления процессом извлечения пропан-бутановой смеси осуществляем на основе расхода исходной газовой смеси в качестве параметра управления.

Разработана математическая модель динамического процесса разделения пропан-бутановой смеси с учетом фазового равновесия, массы и теплопроводности. Проведенное численное моделирование показало правильное описание процессов и позволило определить оптимальные режимы работы колонны.

Значение коэффициента сходимости в адаптивном алгоритме выбирается с учетом баланса между двумя основными характеристиками – скоростью адаптации и точностью фильтрации. Постоянная времени адаптации T_{LMS} обратно пропорциональна коэффициенту сходимости. Поэтому для сокращения времени адаптации необходимо использовать большие значения μ данного коэффициента:

$$\mu[nT_d] = \begin{cases} \mu_0, & 0 \leq nT_d < t^*, \\ \mu_1, & t^* \leq nT_d < T_s, \end{cases}$$

$$\mu_0 = \alpha^{-1} \lambda_{\max}, \quad \mu_1 = \alpha \lambda_{\min}, \quad t^* \Rightarrow \frac{d\xi[nT_d]}{dT_d} \geq h, \quad \xi[nT_d] = B \exp(-nT_d / T_{LMS}),$$

$$\mu[n] = \begin{cases} \alpha^{-1} \lambda_{\max}, & \frac{d\xi[nT_d]}{dT_d} < h, \\ \alpha \lambda_{\min}, & \frac{d\xi[nT_d]}{dT_d} \geq h. \end{cases}$$

где μ_0, μ_1 – коэффициенты сходимости, λ_{\max} va λ_{\min} – собственные значения корреляционной матрицы, $\xi[nT_d]$ – среднеквадратическая ошибка, h – пороговое значение, B – постоянная величина, T_s – интервал стационарности.

На основании проведенных исследований разработана функциональная схема адаптивной системы управления процессом выделения пропан-бутановой смеси (рис.2).

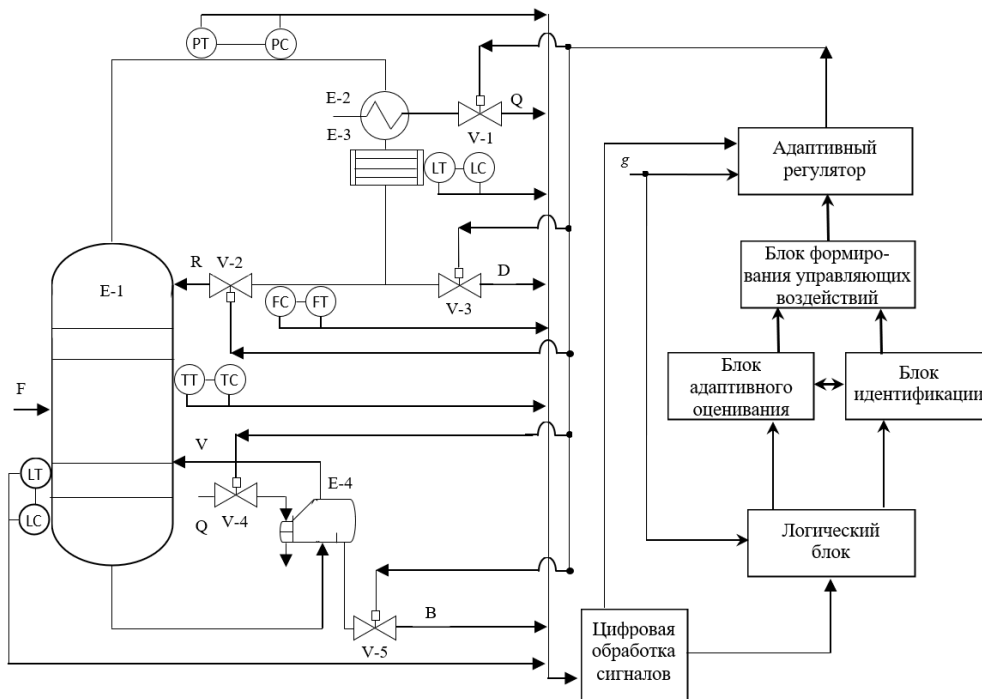


Рис. 2. Функциональная схема адаптивной системы управления процессом выделения пропан-бутановой смеси

Рассмотрим систему управления процессом разделения пропан-бутановой смеси. В рамках задачи синтеза предложено применение фильтра Калмана к контуру управления и внедрение обратной связи по управляющим воздействиям (рис.3).

Таким образом, представленный целостный подход к синтезу системы управления, основанный на совместном применении фильтра Калмана и обратной связи к управляющим воздействиям, позволяет обеспечить высокую точность и стабильную работу системы в условиях внешних и внутренних воздействий. В связи с этим целесообразным является рассмотрение алгоритма имитационного моделирования надёжности системы управления (рис.4).

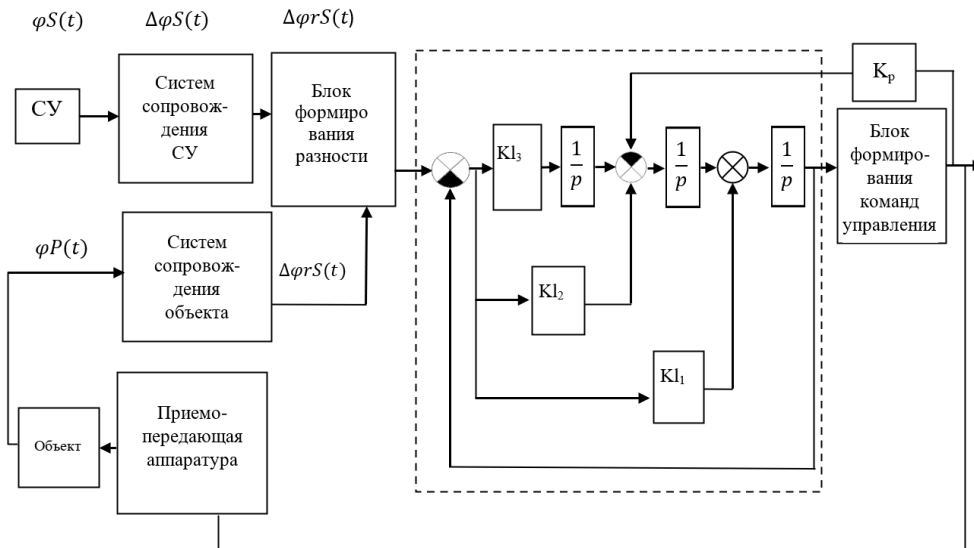


Рис.3. Принципиальная схема системы управления процессом выделения пропан-бутановой смеси.

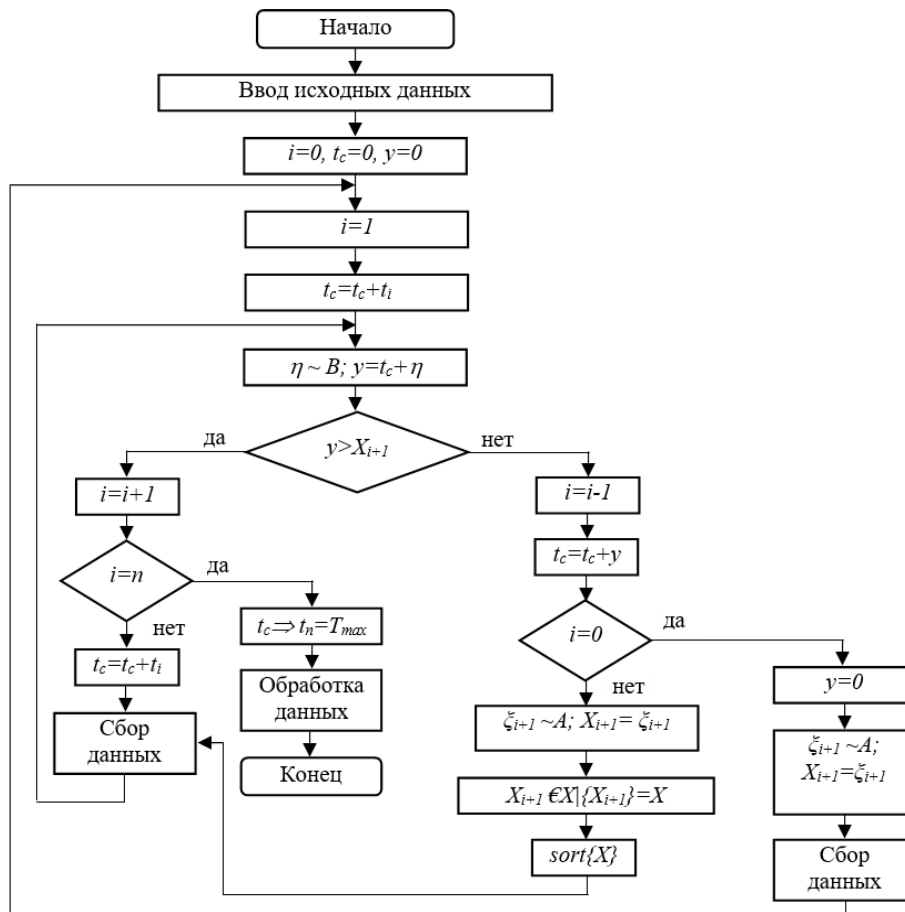


Рис. 4. Блок-схема имитационной модели для оценки надежности системы.

Анализ показал, что результаты, полученные методом имитационного моделирования, обладают высокой степенью соответствия расчётным данным (рис.5). Представленные зависимости демонстрируют наибольшее значение стационарной надёжности системы.

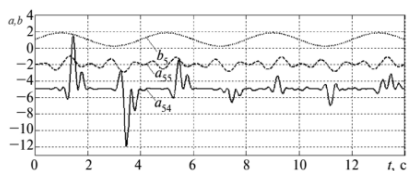


Рис.5, а. Графики изменения параметров в объекте управления.

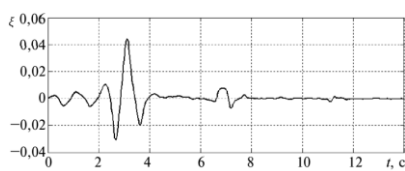


Рис.5, б. Динамика изменения ошибки.

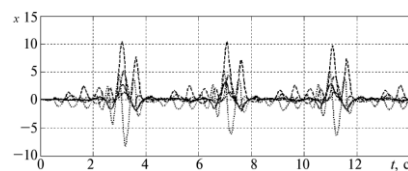


Рис.5, в. Процесс настройки параметра вектора состояний объекта.

Проведенный численный анализ показал, что разработанная имитационная модель обеспечивает высокую точность построения аналитической модели системы, что позволяет использовать ее в случаях, когда определение стационарных вероятностей состояний системы с использованием точных аналитических выражений затруднительно или представляется невозможным. С целью обеспечения надежной и бесперебойной работы систем управления проведены анализ и исследование их устойчивости. Анализ показал, что использование комплексных методов обработки информации, включающих адаптивную фильтрацию, статистический анализ и современные вычислительные технологии, обеспечивает комплексное повышение надежности информационных систем. Такой подход не только снижает вероятность сбоев и ошибок, но и позволяет системам адаптироваться к изменяющимся условиям эксплуатации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе разработаны алгоритмы адаптивной фильтрации в системах управления динамическими объектами с использованием концепции системного анализа, теории адаптивных систем управления, методов динамической фильтрации, регуляризации, обработки информации и повышения надежности.

В итоге получены следующие научные результаты:

1. Разработаны итерационные алгоритмы адаптивной фильтрации в системах управления динамическими объектами, а также предложены алгоритмы адаптивной фильтрации для нелинейных систем с аддитивным шумом на основе концепций QR-декомпозиции, обновления коэффициента Холески и МНК, позволяющие улучшить самоадаптируемость фильтров в условиях коррелированности ошибок измерений и обеспечить сходимость этих оценок к истинным значениям.
2. Модифицированы итерационные и алгебраические алгоритмы для расчета коэффициента усиления стационарного фильтра Калмана, позволяющие автономно вычислять коэффициент усиления или параметры динамического фильтра в установившемся режиме.
3. Разработаны регулярные алгоритмы оценивания коэффициента усиления фильтра Калмана, которые обеспечивают возможность использования приближенных вычислительных процедур для снижения вычислительной сложности и ориентированы на оценивание лишь тех компонент вектора состояния, которые поддаются непосредственному измерению.

4. Предложены алгоритмы адаптивной гибридной фильтрации с искусственной нейронной сетью в составе адаптивного фильтра, позволяющие обучать нейронную сеть и подстраивать весовые коэффициенты для процедур фильтрации под статистические характеристики измеряемых и наблюдаемых показателей.
5. Разработана численно устойчивая по отношению к ошибкам округления вычислительная схема для решения задачи параметрической идентификации линейных систем при использовании градиентных методов оптимизации или методов Ньютоновского типа, позволяющая повысить точность вычислений и надежность алгоритма оценивания.
6. Предложены численные алгоритмы реализации фильтра Калмана для задач управления динамическими объектами, обеспечивающие необходимую точность при оценке состояния процесса, при этом эффективность фильтра в основном определяется шумом объекта и интенсивностью измерительных помех.
7. Разработана математическая модель динамического процесса выделения пропан-бутановой смеси с учетом фазового равновесия, массопереноса и теплопереноса, численное моделирование которой подтвердило ее адекватность и определило оптимальные режимы работы колонны.
8. Проведен синтез системы управления и обработки информации процесса разделения пропан-бутановой смеси, основанной на совместном использовании фильтра Калмана и обратной связи по управляющим воздействиям, позволяющей обеспечить высокую точность и стабильную работу системы в условиях внешних и внутренних возмущений.
9. Разработаны системы анализа информации на основе компьютерных методов обработки информации и методы повышения их надежности, включающие адаптивную фильтрацию, статистический анализ и современные вычислительные технологии и обеспечивающие комплексное повышение надежности информационных систем.
10. На основе разработанных алгоритмов синтеза предложены системы обработки информации и управления процессом разделения пропан-бутановой смеси. Ожидаемый годовой экономический эффект от реализации предложенных результатов составил 243,04 млн. сумов. Предлагаемые системы обеспечивают стабилизацию технологического режима процесса разделения пропан-бутановой смеси, повышают точность расчёта параметров адаптивных регуляторов, а также повысить надёжность обработки информации и эффективность системы её анализа.

**SCIENTIFIC COUNCIL (DSc.09/2025.27.12.T.01.03)
FOR THE AWARD OF ACADEMIC DEGREES
AT TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES**

TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY

ZARIPOVA SHAKHLO OLIMOVNA

**ADAPTIVE FILTERING ALGORITHMS IN DYNAMIC OBJECT
CONTROL SYSTEMS**

05.01.02 – Systems analysis, control and information processing

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

The theme of the Doctor of Philosophy (PhD) dissertation is registered with the Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under number №B2025.3.PhD/T5875.

The dissertation has been prepared at Tashkent State Technical University.

The Abstract of dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed on the web-page of Scientific Council (www.tuit.uz) and Information and Educational Portal «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Scientific Advisor: **Sevinov Jasur Usmonovich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Official Opponents: **Nurmukhamedov Tolaniddin Ramziddinovich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Seytov Aybek Jumabayevich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Leading Organization: **National University of Uzbekistan**

The defense of the dissertation will take place on «10» June 2026 at 14⁰⁰ o'clock at the meeting of the Scientific Council DSc.09/2025.27.12.T.01.03 for awarding academic degrees at Tashkent University of Information Technologies (address: 100084, Tashkent, Amir Temur Avenue, 108; Tel: (99871) 238-64-43; e-mail: ilmiy_kengash@tuit.uz).

The dissertation can be accessed at the Information Resource Center of Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi (registration number: 422) (Address: 100084, Tashkent, Amir Temur Avenue, 108; Tel.: (99871) 238-64-70).

Abstract of dissertation sent out on «22» May 2026 year.
(mailing report №22, on «22» May 2026 year).



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 Scientific Council
on awarding scientific degrees,
Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences

N.O. Rakhimov
Chairman of the Scientific Seminar of the
Scientific Council on awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research is to develop adaptive filtering algorithms in dynamic object control systems, as well as to improve reliability and information analysis systems based on information processing methods.

The object of the research work is control processes of dynamic objects.

The subject of the research is adaptive filtering algorithms in control systems of dynamic objects.

Research methods. The research used concepts of systems analysis, theory of adaptive control systems, dynamic filtering, regularization, information processing and reliability enhancement methods.

The scientific novelty of the dissertation research is as follows:

adaptive filtering algorithms for nonlinear systems with additive noise have been developed based on the concepts of QR decomposition, updating the Cholesky coefficient, and least squares, which make it possible to improve the self-adaptability of filters in conditions of correlated measurement errors and ensure the convergence of these estimates to true values;

algorithms for adaptive hybrid filtering with an artificial neural network as part of the adaptive filter have been developed, allowing for training the neural network and adjusting the weighting coefficients for filtering procedures to the statistical characteristics of the measured and observed indicators;

a numerically stable computational scheme with respect to rounding errors is proposed for solving the problem of parametric identification of linear systems using gradient optimization methods or Newton-type methods, which makes it possible to increase the accuracy of calculations and the reliability of the estimation algorithm;

iterative and algebraic algorithms for calculating the gain of a stationary Kalman filter have been modified, allowing for autonomous calculation of the gain or parameters of a dynamic filter in steady-state mode.

Implementation of the research results. Based on the obtained scientific results on the development of adaptive filtering algorithms in dynamic object control systems:

the developed adaptive filtering algorithms for nonlinear systems with additive noise based on the concepts of QR decomposition, updating the Cholesky coefficient, and least squares have been implemented in the Shoʻrtan Oil and Gas Production Department of Uzbekneftgaz JSC (Reference of “Oʻzbekneftgaz” JSC No. 07-18-8-278 dated April 09, 2026). As a result, the accuracy of calculating the parameters of the object, noise and disturbances increases;

the developed algorithms of adaptive hybrid filtration with an artificial neural network as part of an adaptive filter have been implemented in the Shoʻrtan Oil and Gas Production Department of Uzbekneftgaz JSC (Reference of “Oʻzbekneftgaz” JSC No. 07-18-8-278 dated April 09, 2026). As a result, the developed algorithms made it possible to stabilize the technological regime of the propane-butane mixture separation process;

a computational scheme developed numerically stable with respect to rounding errors for solving the problem of parametric identification of linear systems using gradient optimization methods or Newtonian-type methods has been implemented in the Sho‘rtan Oil and Gas Production Department of Uzbekneftgaz JSC (Reference of “O‘zbekneftgaz” JSC No. 07-18-8-278 dated April 09, 2026). The result made it possible to increase the reliability of information processing based on computer methods, as well as the effectiveness of the information analysis system;

the developed iterative and algebraic algorithms for calculating the gain coefficient of the stationary Kalman filter have been implemented in the Sho‘rtan Oil and Gas Production Department of Uzbekneftgaz JSC (Reference of “O‘zbekneftgaz” JSC No. 07-18-8-278 dated April 09, 2026). As a result, the accuracy of calculating the parameters of the adaptive controller has increased.

The structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, three chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 120 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (Часть I; Part I)

1. Sevinov J.U., Zaripova Sh.O. Adaptive hybrid filtering algorithms with an artificial neural network as part of an adaptive filter // Bulletin of TUIT: Management and Communication Technologies, №3s(47), 2024. - doi:<https://doi.org/10.34920/icdgpdt.47>. (05.00.00, №31)
2. Sevinov J.U., Zaripova Sh.O. A computational scheme numerically stable with respect to rounding errors for solving the problem of parametric identification of linear systems // Bulletin of TIUT, №4(72), 2024. -pp.17-24. (05.00.00, №31)
3. Зарипова Ш.О. Динамик бoшқарув obьектларини замонавий modellashtirishda adaptiv filtlarning qo‘llanilishi // Innovatsion texnologiyalar, №2(54), 2024. – 82-87 б. (05.00.00, №38)
4. Sevinov J.U., Zaripova Sh.O. A stable iterative algorithm for estimating the elements of the matrix gain of a Kalman filter // Technical science and innovation, №3(17), 2023. – pp.99-103. (05.00.00, №16)
5. Севинов Ж.У., Зарипова Ш.О. Регулярные алгоритмы оценивания коэффициента усиления фильтра Калмана // Вестник ТУИТ, №4(68), 2023. -с.39-47. (05.00.00, №31)
6. Zaripova Sh.O. Algorithms for control of dynamic objects based on adaptive filtering methods // Eurasian Scientific Herald, Volume 17, February, 2023. -pp.30-35. (12, Index Copernicus, IF 8,225)
7. Зарипова Ш.О. Динамик obьектлар ҳолатини баҳолашда рақамли филтрлаш алгоритмлари // Innovatsion texnologiyalar, №1(45), 2022. – 40-44 б. (05.00.00, №38)
8. Севинов Ж.У., Зарипова Ш.О. Идентификацион ёндашув асосида бошқариш obьектларининг ҳолатини адаптив баҳолаш алгоритмлари // Innovatsion texnologiyalar, №1(41), 2021. – 40-45 б. (05.00.00, №38)
9. Sevinov J.U., Zaripov O.O., Zaripova Sh.O. The algorithm of adaptive estimation in the synthesis of the dynamic objects control systems // International Journal of Advanced Science and Technology, Vol. 29, No. 5s, 2020. - pp. 1096-1100. (3, Scopus, IF=3.0)

II бўлим (Часть II; Part II)

10. Sevinov J.U., Zaripova Sh.O. Stable algorithms for adaptive estimation of Kalman filter gain in systems by dynamic objects // Proceedings International Scientific and Practical Conference «Resource-saving technologies in the mineral-industrial mega-complex in conditions of sustainable economy development», March, Almaty, 2024. – pp.532-535.
11. Sevinov J.U., Zaripova Sh.O. Iterative algorithm for estimating the elements of the matrix gain of a Kalman filter // International scientific journal «Science and Innovation», Special issue: "Modern problems and prospects of development of energy supply of digital technology facilities", March, Tashkent, 2024. -pp.398-401.
12. Зарипова Ш.О. Саноат корхоналарида объектлар ҳолатини баҳолашда рақамли филтрлаш алгоритмлари // “Yangi O‘zbekistonda islohotlarni amalga oshirishda zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalaridan foydalanish” mavzusidagi Xalqaro ilmiy-amaliy konferensiyani ilmiy maqolalar to‘plami, 27-29-oktabr, 2021-yil, Andijon, - 445-447 b.
13. Зарипова Ш.О. Динамик бошқариш объектлар ҳолатини баҳолашнинг иқтисодий самарадорлигини ошириш // «Инновацион иқтисодиёт: муаммо, таҳлил ва ривожланиш истиқболлари» Халқаро илмий-амалий анжуман тезислар тўплами, 20-21-май 2021-йил, Қарши, -265-267 б.
14. Севинов Ж.У., Зарипова Ш.О. Ноаниқлик шароитидаги бошқарув объектлар ҳолатини баҳолаш алгоритмлари ва дастурий таъминоти // «Инновацион техника ва технологияларнинг қишлоқ хўжалиги – озиқ-овқат тармоғидаги муаммо ва истиқболлари» мавзусидаги Халқаро илмий-техник анжумани илмий ишлар тўплами, Тошкент, 2020. – 515-516 б.
15. Севинов Ж.У., Зарипова Ш.О. Динамик бошқариш объектлар ҳолатини баҳолашнинг адаптив алгоритмлари ва дастурий таъминоти // “Ижтимоий соҳаларни рақамлаштиришда инновацион технологияларнинг ўрни ва аҳамияти” мавзусида Республика илмий-техник анжумани маърузалар тўплами, Қарши, 2020. –239-240 б.
16. Севинов Ж.У., Зарипова Ш.О. Бошқариш объектлари ҳолатини адаптив баҳолашнинг идентификацион ёндашув асосидаги мунтазам алгоритмлари // «Инновацион техника ва технологияларнинг муаммо ва истиқболлари» мавзусидаги Республика илмий ва илмий-техник анжумани илмий ишлар тўплами, Тошкент, 2019. – 323-325 б.
17. Севинов Ж.У., Зарипова Ш.О. Динамик бошқариш объектлар ҳолатини баҳолашнинг адаптив алгоритмлари // «Таълим сифатини оширишда инновацион таълим технологияларининг ўрни: муаммо ва ечимлар» мавзусида Республика миқёсида илмий-амалий конференция материаллари тўплами, Наманган, 2019. – 84-85 б.
18. Севинов Ж.У., Зарипова Ш.О. Алгоритмы оценивания состояния объектов в задачах синтеза адаптивных систем управления // «Қайта тикланувчи энергия манбалари ва барқарор атроф-муҳит физикаси»

- мавзусида Республика миқёсида илмий-техник анжумани материаллари тўплами, Қарши, 2019. – 342-343 б.
- 19.Зарипова Ш.О., Севинов Ж.У. Технологик объектлар ҳолатини баҳолашда рақамли филтрлаш алгоритмлари // «Фан ва техника тараққиётида интеллектуал ёшларнинг ўрни» мавзусидаги Республика илмий-техникавий анжумани маърузалар тўплами, Тошкент, 2019. – 124-126 б.
 - 20.Севинов Ж.У., Мамиров У.Ф., Зарипова Ш.О. Динамик тизимлар ҳолатини адаптив баҳолаш масаласининг дастурий таъминоти // ЕНМ uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risidagi guvohnoma, DGU 08544, 17.04.2020 y.
 - 21.Sevinov J.U., Zaripova Sh.O. Kalman filtrining kuchaytirish koeffitsientini baholash uchun dasturiy ta'minoti // ЕНМ uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risidagi guvohnoma, DGU 36615, 03.04.2024 y.
 - 22.Sevinov J.U., Zaripova Sh.O. Dinamik obyektlarning boshqaruv tizimlarini adaptiv filtrlash uchun dasturiy ta'minot // ЕНМ uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risidagi guvohnoma, DGU 36616, 03.04.2024 y.

Avtoreferat «Texnika fanlari va innovatsiyalar» jurnali tahririyatida tahrirdan o'tkazilib, o'zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlar o'zaro muvofiqlashtirildi.

Bosmaxona litsenziyasi:



9338

Bichimi: 84x60 ¹/₁₆. «Times New Roman» garniturası.
Raqamli bosma usulda bosildi.
Shartli bosma tabog'i: 4. Adadi 100 dona. Buyurtma № 31/25.

Guvohnoma № 851684.
«Tipograff» MCHJ bosmaxonasida chop etilgan.
Bosmaxona manzili: 100011, Toshkent sh., Beruniy ko'chasi, 83-uy.

