

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/30.12.2019.T.03.02 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**NAVOIY DAVLAT KONCHILIK VA TEXNOLOGIYALAR
UNIVERSITETI**

LATIPOV SHAHRIYOR BAXTIYOROVICH

**PARAMETRIK NOANIQLIKLAR VA TASHQI G‘ALAYONLAR
MAVJUDLIGI SHAROITIDA ETALON MODELLI ADAPTIV
BOSHQARISH TIZIMLARINI SINTEZLASH ALGORITMLARI**

05.01.08 - Texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishlarni avtomatlashtirish va boshqarish

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

Toshkent – 2025

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Latipov Shahriyor Baxtiyorovich

Parametrik noaniqliklar va tashqi g'alayonlar mavjudligi sharoitida etalon modeli adaptiv boshqarish tizimlarini sintezlash algoritmlari..... 3

Латипов Шахриёр Бахтиёрович

Алгоритмы синтеза адаптивных систем управления с эталонной моделью в условиях параметрической неопределенности и наличия внешних возмущений..... 21

Latipov Shahryor Bakhtiyorovich

Algorithms for the synthesis of adaptive control systems with a reference model under conditions of parametric uncertainty and the presence of external disturbances.....39

E'lon qilingan ishlar ro'yxati

Список опубликованных работ

List of published works42

**TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.03/30.12.2019.T.03.02 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**NAVOIY DAVLAT KONCHILIK VA TEXNOLOGIYALAR
UNIVERSITETI**

LATIPOV SHAHRIYOR BAXTIYOROVICH

**PARAMETRIK NOANIQLIKLAR VA TASHQI G‘ALAYONLAR
MAVJUDLIGI SHAROITIDA ETALON MODELLI ADAPTIV
BOSHQARISH TIZIMLARINI SINTEZLASH ALGORITMLARI**

05.01.08 - Texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishlarni avtomatlashtirish va boshqarish

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

Toshkent – 2025

Falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2023.2.PhD/T3652 raqam bilan ro'yxatga olingan.

Dissertatsiya Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning veb-sahifasida (www.tdtu.uz) hamda «ZiyoNet» Axborot ta'lim portalida (www.ziynet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:	Botirov To'liqin Vafokulovich texnika fanlari doktori, dotsent
Rasmiy opponentlar:	Sevinov Jasur Usmonovich texnika fanlari doktori, professor Xusanov Suban Nurullayevich PhD, dotsent
Yetakchi tashkilot:	Toshkent kimyo-texnologiya instituti

Dissertatsiya himoyasi Toshkent davlat texnika universiteti huzuridagi DSc.03/30.12.2019.T.03.02 raqamli Ilmiy kengashning 2025-yil «15» 03 soat 10:00 dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100095, Toshkent shahri, Universitet ko'chasi, 2. Tel.: (99871) 246-46-00; faks: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

Dissertatsiya bilan Toshkent davlat texnika universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (7 raqam bilan ro'yxatga olingan). Manzil: 100095, Toshkent shahri, Universitet ko'chasi, 2. Tel.: (99871) 207-14-70.

Dissertatsiya avtoreferati 2025-yil «27» 02 kuni tarqatildi.
(2025-yil «12» 01 dagi 23 raqamli reyestr bayonnomasi).



N.R.Yusupbekov

Ilmiy darajalar beruvchi
Ilmiy kengash raisi,
t.f.d., professor, O'zR FA akademigi

U.F.Mamirov

Ilmiy darajalar beruvchi
ilmiy kengash ilmiy kotibi,
t.f.d., professor

X.Z.Igamberdiyev

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash
qoshidagi ilmiy seminar raisi,
t.f.d., professor, O'zR FA akademigi

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Jahonda soʻnggi vaqtlarda ishlab chiqarish va texnologik jarayonlar samaradorligini oshirishga, mavjud texnologiyalarni takomillashtirishga, shuningdek, murakkab dinamik obyektlarni adaptiv boshqarish tizimlarini ishlab chiqishga yoʻnaltirilgan innovatsion texnologiyalarni yaratishga alohida ahamiyat berilmoqda. Soʻnggi yillarda, obyektlarning dinamik xususiyatlariga mos ravishda turli funksional maqsadlar uchun adaptiv boshqarish algoritmlarini sintez qilish va etalon modellari asosida optimal boshqarish tizimlarini ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etmoqda. Boshqarish jarayonlarining murakkabligini va obyektlarning nomaʼlum yoki oʻzgarayotgan parametrlarini hisobga olgan holda, etalon modeli adaptiv boshqarish tizimlarini rivojlantirish va ularni samarali qoʻllash bugungi kunning dolzarb vazifalaridan biri hisoblanmoqda.

Jahonda ishlab chiqarish sanoatidagi texnologik jarayonlarni boshqarish tizimlari tomonidan ishlab chiqilayotgan boshqarish qonunlarining aniqligi, qaror qabul qilish jarayonining tezkorligi va turli xalaqitlar taʼsirida ham maqbul yechimni topib berishiga qaratilgan ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Bu borada, dinamik obyektlarni boshqarish tizimlarining turli xil gʻalayon taʼsirlarga moslashuvchanligini taʼminlash maqsadida etalon modeli adaptiv boshqarish tizimlarini ishlab chiqish, parametrik noaniqliklar sharoitida boshqariladigan obyektlarning holatini baholashga doir ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Mazkur tadqiqot yoʻnalishi doirasida, ayniqsa etalon modeli adaptiv boshqarish tizimlarini sintezlash usullari va algoritmlarini takomillashtirish, shuningdek, nomaʼlum parametrlar va tashqi gʻalayonlarga ega boʻlgan dinamik obyektlarni adaptiv barqarorlashtirish algoritmlarini ishlab chiqish muhim vazifalardan biridir.

Mamlakatimizda hozirgi kunda avtomatlashtirish va boshqarish sohasiga, xususan, turli texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishlarni avtomatlashtirish, energiya va resurs tejamkorligini taʼminlovchi, takomillashtirilgan boshqarish tizimlarini yaratishga alohida eʼtibor qaratilmoqda. 2022-2026-yillarga moʻljallangan “Yangi Oʻzbekistonning taraqqiyot strategiyasi toʻgʻrisida”gi Oʻzbekiston Respublikasi Prezidentining Farmonida «Sanoat tarmoqlarida yoʻqotishlarni kamaytirish va resurslarni ishlatish samaradorligini oshirish, innovatsion loyihalarni amalga oshirish uchun barcha yoʻnalishlarda keng imkoniyatlarni yaratish¹» boʻyicha qator vazifalar belgilab berilgan. Mazkur vazifalarni bajarish, xususan, parametrik noaniqliklar va tashqi gʻalayonlar mavjudligi sharoitida etalon modeli adaptiv boshqarish tizimlarini sintez qilish algoritmlarini yaratish muhim vazifalardan biri sanaladi.

Oʻzbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 12-oktyabrdagi PF-169-son «Sanoat va uning bazaviy tarmoqlarini jadal rivojlantirish boʻyicha qoʻshimcha chora-tadbirlar toʻgʻrisida»gi Farmoni, va 2019-yil 3-apreldagi PQ-4265-son «Kimyo sanoatini yanada isloh qilish va uning investitsiyaviy jozibadorligini oshirish chora-tadbirlari toʻgʻrisida»gi, 2018-yil 25-oktyabrdagi PQ-3983-son

¹ Oʻzbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60 «2022-2026-yillarga moʻljallangan yangi Oʻzbekistonning taraqqiyot strategiyasi toʻgʻrisida» Farmoni.

«O‘zbekiston Respublikasida kimyo sanoatini jadal rivojlantirish chora-tadbirlari to‘g‘risida»gi va 2022-yil 22-avgustdagi PQ-357-son «2022-2023-yillarda axborot-kommunikatsiya texnologiyalari sohasini yangi bosqichga olib chiqish chora-tadbirlari to‘g‘risida» Qarorlari 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 texnologiyalari rivojlanishining IV. «Axborotlashtirish va axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish» ustuvor yo‘nalishi doirasida bajarilgan.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Bevosita yondashuv mezonini asosida parametrik noaniqlik va tashqi g‘alayonlar sharoitidagi obyektlarni adaptiv boshqarish tizimlarini sintezlash algoritmlarini ishlab chiqish bo‘yicha o‘tkazilgan tadqiqotlarga tegishli bo‘lgan so‘nggi yillardagi adabiyotlarni tahlil qilish ushbu sohada bir qancha nazariy va amaliy natijalarga erishilganligini ko‘rsatadi. Adaptiv boshqarish tizimlari sohasida olib borilgan tadqiqotlar tufayli ko‘plab ilmiy ishlar nashr etilgan va ularning soni ortib bormoqda. Etalon modeli adaptiv boshqarish tizimlarining rivojiga ko‘plab xorijlik olimlar, jumladan Miroshnik I.V.²., Nikiforov V.O.²., Fradkov A.L.²., Aleksandrov A. G.³., Neymark Yu.I.⁴., Bronnikov A. M., Kruglov S. P.⁵., Sikunov A. M.⁶., Furtat I. B.⁷., Kotelnikov I.V.⁸., Eryomin E.L.⁹., va boshqalar hamda mamlakatimiz olimlaridan – Yusupbekov N.R.¹⁰., Bekmuratov T.F., Igamberdiyev X.Z.^{10,11,12}, Kamilov M.M., Ismailov M.A., Siddikov I.X., Zaripov O.O.¹¹., Sevinov J.U.¹¹., Mamirov O. F.¹⁰, Botirov T.V.¹² va boshqalar o‘zlarining ulkan hissalarini qo‘shishgan.

Biroq, ilmiy tadqiqotlar doirasining doimiy ravishda murakkablashishi va kengayishi sababli parametrik noaniqlik va tashqi g‘alayonlar sharoitidagi obyektlarni etalon modeli adaptiv boshqarish tizimlarini yangi samarali usullari va algoritmlarini ishlab chiqish talab etiladi. Bundan tashqari, etalon modeli adaptiv boshqarish tizimlarini sintezlash algoritmlarini ishlab chiqish maqsadga muvofiq,

² Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. – СПб: Наука, 2000.

³ А. Г. Александров, Адаптивное управление с эталонной моделью при внешних возмущениях, Автомат. и телемех., 2004, выпуск 5, 77–90.

⁴ Ю. И. Неймарк, Синтез и функциональные возможности квазиинвариантного управления, Автомат. и телемех., 2008, выпуск 10, 48–56.

⁵ А. М. Бронников, С. П. Круглов, “Упрощенные условия адаптируемости системы управления с идентификатором и эталонной моделью”, Автомат. и телемех., 1998, № 7, 107–117.

⁶ А. М. Цыкунов, “Алгоритмы робастного управления с компенсацией ограниченных возмущений”, Автомат. и телемех., 2007, №7, 103–115;

⁷ И. Б. Фуртат, П. А. Гущин, Алгоритм управления в условии насыщения сигнала управления и его производных, УБС, 2019, выпуск 77, 47–69.

⁸ Котельников, И. В., Теклина, Л. Г. (2014). Синтез линейных ММО-систем квазиинвариантного управления методами распознавания образов. Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского, (4-1), 388-393.

⁹ Еремин Е. Л., Никифорова Л. В., Пикуль З. Д., Теличенко Д. А. Комбинированный регулятор для структурно и параметрически неопределенного объекта с запаздыванием по управлению // Датчики и системы. - 2019. - № 10(240).

¹⁰ Yusupbekov N. R., Igamberdiev H. Z., Mamirov U. F. Stable algorithms for adaptive control and adaptation of uncertain dynamic objects based on reference models //CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – Т. 2965. – С. 296-302.

¹¹ Igamberdiyev, H. Z., Yusupbekov, A. N., Zaripov, O. O., & Sevinov, J. U. (2017). Algorithms of adaptive identification of uncertain operated objects in dynamical models. Procedia computer science, 120, 854-861.

¹² Igamberdiev H. Z., Botirov T. V. Algorithms for the synthesis of a neural network regulator for control of dynamic objects //World Conference Intelligent System for Industrial Automation. – Cham : Springer International Publishing, 2020. – С. 460-465.

bu esa murakkab dinamik tizimlarni boshqarish samaradorligini oshiradi. Quyida keltirib o‘tilganlardan ko‘rinaki, tashqi ta’sirlar va noaniq sharoitdagi dinamik obyektlarni adaptiv boshqarish sistemalarini sintezlashning samarali algoritmlarini takomillashtirish va yaratish yetarli darajada o‘rganilmagan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta’lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi. Dissertatsiya tadqiqoti Navoiy davlat konchilik va texnologiyalari universiteti ilmiy-tadqiqot ishlari rejalarning 11/2021-E-son “Navoiy kon-metallurgiya kombinatining markaziy kon boshqarmasidagi 5- va 7-sonli gidrometallurgiya zavodlarida raqamli texnologiyalar asosida texnologik jarayonlarni intellektual boshqarish tizimlarini ishlab chiqish”(2020- 2021), 01-01/28-1-sonli “NKMK AJ ehtiyojlari uchun yer osti kon ishlarida xodimlar xavsizligini ta’minlash avtomatlashtirilgan tizimini ishlab chiqish va joriy etish”(2024-2025) va 01-01/29-1-sonli “Ochiq kon ishlarida kon transporti komplekslarini intellektual boshqarish axborot tizimini ishlab chiqish”(2024-2025) mavzusidagi xo‘jalik shartnomasi doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi parametrik noaniqliklar va tashqi ta’sirlar mavjudligi sharoitida etalon modeli adaptiv boshqarish tizimlarini sintez qilish algoritmlarini ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

parametrik noaniqlik va tashqi g‘alayonlar mavjudligi sharoitida etalon modeli adaptiv boshqarish tizimlarini sintez qilish algoritmlarining rivojlanishini tizimli tahlil qilish;

parametrik noaniqlik sharoitida etalon modeli adaptiv boshqarish tizimini sintez qilish algoritmlarini ishlab chiqish;

timsollarni tanish usullarida etalon modeli kvazi-invariant chiziqli adaptiv boshqarish tizimlarini sintezlash;

etalon modeli chiziqli uzluksiz boshqarish tizimlarining moslashuvchanlik algoritmini ishlab chiqish;

tashqi chegaralangan g‘alayonlar va signalning to‘yinganlik sharoitida parametrlarning ixtiyoriy nisbiy noaniqlik darajasi bilan adaptiv boshqarish algoritmlarini sintez qilish;

parametrik noaniqliklar va tashqi g‘alayonlar mavjudligi sharoitida ishlab chiqilgan etalon modeli adaptiv boshqarish tizimlarini sintez qilish algoritmlarini amaliy qo‘llash.

Tadqiqotning obyekti. Tadqiqotning obyekti sifatida etalon modeli dinamik obyektlarni adaptiv boshqarish tizimlari olingan.

Tadqiqotning predmeti. Parametrik noaniqliklar va tashqi g‘alayonlar mavjudligi sharoitida etalon modeli adaptiv boshqarish tizimlarini sintezlash algoritmlari.

Tadqiqotning usullari. Dissertatsiya ishida tizimli tahlilning umumiy metodologiyasi, dinamik baholash va adaptiv boshqarish usullari qo‘llanilgan.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

etalon modeli adaptiv boshqarish tizimlarining ishonchliligi va aniqligini oshirishga imkon beruvchi parametrik noaniqliklar sharoitida sintezlash algoritmlari ishlab chiqilgan;

parametrik g'alayonlarni samarali qayta ishlab berish va real vaqtda zaruriy boshqarish sifatini ta'minlash imkonini beruvchi timsollarni tanish usullarida etalon modeli kvazi-invariant chiziqli adaptiv boshqarish tizimlarini sintezlash algoritmlari ishlab chiqilgan;

turli sharoitlarida ishlovchi tizimlarning egiluvchanligi va boshqarish samaradorligini oshirishga imkon beruvchi etalon modeli chiziqli uzluksiz boshqarish tizimlarining moslashuvchanlik algoritmlari ishlab chiqilgan;

murakkab shovqinli-signal sharoitida boshqarish tizimlarining barqarorligi va samaradorligini ta'minlovchi, tashqi chegaralangan g'alayonlar va signalning to'yinganlik sharoitida parametrlarning ixtiyoriy nisbiy noaniqlik darajasi bilan adaptiv boshqarish algoritmlari sintez qilingan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

formalinni ishlab chiqarishda formaldegid sintezning texnologik jarayonini avtomatlashtirish va adaptiv boshqarishning strukturaviy va funksional sxemalari ishlab chiqilgan;

jarayonlar borishining texnologik rejimini barqarorlashtirishga va ularning samaradorligini oshirishga imkon beruvchi texnik ta'minotga muvofiq holda formaldegid ishlab chiqarish texnologik jarayonining etalon modeli adaptiv boshqarish tizimi ishlab chiqilgan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi. Olingan tadqiqot natijalarining ishonchliligi uslubiy jihatdan asoslangan nazariy hisoblashlarning amalga oshirilishi, dinamik obyektlarni etalon modeli adaptiv boshqarishning nazariy asoslangan mezonlarining qo'llanilishi, zamonaviy avtomatik boshqarishning sinovdan o'tgan algoritmlarining ishlatilishi, nazariy hamda amaliy tadqiqotlarning olingan natijalari, ularning o'zaro muvofiqligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqotning ilmiy ahamiyati parametrik noaniqliklar hamda tashqi ta'sirlar mavjudligi sharoitlarida boshqarish jarayonlari sifatini oshirishga imkon beruvchi etalon modeli adaptiv boshqarish tizimlarini sintez qilish algoritmlarining yaratilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot ishining amaliy ahamiyati adaptiv boshqarishning turli masalalari uchun matematik, algoritmik ta'minotni ishlab chiqish hamda uzluksiz xarakterdagi texnologik jarayonlarni boshqarishda qo'llaniladigan adaptiv tizimlarning funksional strukturalarini yaratish va ularni loyihalash jarayonini avtomatlashtirishda keng qo'llanilishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Bevosita yondashuv mezonlari asosida dinamik obyektlarning adaptiv boshqarish tizimlarini sintez qilish bo'yicha olingan ilmiy tadqiqot natijalari asosida:

ishlab chiqilgan parametrik noaniqliklar va tashqi g'alayonlar mavjudligi sharoitida etalon modeli adaptiv boshqarish tizimlarini sintezlash algoritmlarining dasturiy ta'minoti "Navoiyazot" AJ da joriy qilingan ("O'ZKIMYOSANOAT" AJ ning 2024-yil 19-iyundagi 23-3-1960-son ma'lumotnomasi). Natijada, tizimning moslashish jarayolarini ishonchliligi va aniqligini oshirishga imkon bergan;

ishlab chiqilgan timsollarni tanish usullari asosida etalon modeli kvazi-invariant chiziqli adaptiv boshqarish tizimlarini sintezlash algoritmlarining dasturiy ta'minoti "Navoiyazot" AJ da joriy qilingan ("O'ZKIMYOSANOAT" AJ

ning 2024-yil 19-iyundagi 23-3-1960-son ma'lumotnomasi). Natijada, real vaqt rejimida talab etilgan boshqarish sifatini ta'minlash va parametrik g'alayonlarni samarali qayta ishlashga imkon bergan.

Tadqiqot natijalarining aprotatsiyasi. Ushbu tadqiqotning nazariy va amaliy natijalari 2 ta xalqaro va 5 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida ma'ruza qilindi va muhokamadan o'tkazilgan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha hammasi bo'lib 19 ta ilmiy ish qilingan, shulardan 8 ta ilmiy maqolalar bo'lib, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan tavsiya etilgan respublika jurnallarida 4 ta, xalqaro jurnallarda 4 ta chop etilgan. Shuningdek, EHM lar uchun dasturiy mahsulotlarga ro'yxatdan o'tgan 4 ta guvohnoma olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish, to'rtta bob, xulosa, dissertatsiya hajmi 102 betni tashkil etadi, jumladan foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurligi asoslangan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari shakllantirilgan, tadqiqot predmeti va obyekti ko'rsatilgan, tadqiqotning O'zbekiston Respublikasida fan va texnologiyalar rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi asoslangan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ishonchliligi asoslangan. Olingan tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarining amaliy qo'llanilishi, aprotatsiyasi, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning «**Etalon modeli adaptiv boshqarish tizimlarini sintez qilishning hozirgi holati va tizimli tahlili**» nomli birinchi bobida noaniqlik sharoitida etalon modeli bilan adaptiv boshqarish tizimlari, parametrik noaniqliklar va tashqi g'alayonlar mavjudligi sharoitida etalon modeli adaptiv boshqarish tizimlarini sintezlash algoritmlari, tadqiqotning maqsadi va vazifasining qo'yilishi keltirilgan.

Hozirgi vaqtda avtomatik boshqarish nazariyasining rivojlanishi boshqarish obyektlari va ularga ta'sir qiluvchi g'alayonlar haqidagi ma'lumotlarning noaniqligini hisobga oladigan masalani shakllantirish va yechish bilan tavsiflanadi. Amalda faqat boshqarish obyektining tartibi va uning matematik modeli tenglamasining tuzilishi ma'lum bo'lgan holatlar mavjud. Bunday holda, obyekt parametrlarining qiymatlari aniqlanmagan bo'ladi.

Bu holda masalani yechish boshqarish obyektining o'zgaruvchan ish sharoitlariga ham, aprior noaniqlik mavjud bo'lganiga moslashish qobiliyatiga ega bo'lgan tizimlarni ishlab chiqishni talab qiladi. Adaptiv boshqarish tizimlari uchun ishlab chiqilgan yondashuvlar, ularning ishlashi davomida boshqarish tuzilmasi va algoritm parametrlarini dinamik ravishda o'zgartirish orqali tizimning sifatini yuqori darajada oshirishga mo'ljallangan. Bunday holda, odatda, sozlanuvchan yoki etalon modeli adaptiv boshqarish tizimlari qo'llaniladi.

Adaptiv boshqarish tizimlarida etalon modellaridan foydalanishning o'ziga xos xususiyati - bu boshqarish va adaptatsiya maqsadlarining yagonaligi. Bu yerda ular bir xil xatti-harakati tizimning afzal qilingan xususiyatlarini aks ettiruvchi oldindan belgilangan etalon modeliga o'xshashligini ta'minlashga qaratilgan. Bunday yondashuv boshqarish va adaptatsiya maqsadlari o'rtasida yagonalikni yaratadi, bu o'ziga xos xususiyatdir.

Parametrik noaniqliklar va tashqi g'alayonlar bilan bog'liq dinamik obyektlar, adaptiv boshqarish tizimlarini sintez qilish uchun innovatsion algoritmlarni ishlab chiqishga yo'naltirilgan. Bu, to'g'ridan to'g'ri yondashuvning innovatsion konsepsiyalari asosida amalga oshiriladi. Biroq boshqarish vazifalarining o'zi diqqat markazida bo'lib, ushbu algoritmlarni sanoat ishlab chiqarish sohasidagi jarayonlarni avtomatlashtirish va boshqarish muammolarini yechishda samarali amalga oshirishga qodir bo'lgan intellektual hisoblash sxemalarini yaratish imkonini beradi.

Shunday qilib, ushbu holatlar noaniqlik sharoitida etalon modeli adaptiv boshqarish tizimlarini sintez qilish algoritmlarini yaratish zarurligini ko'rsatadi, bu doimiy o'zgaruvchan parametrlar va tashqi omillarning ta'siri sharoitida maksimal samaradorlikni ta'minlaydi, shuningdek, avtomatlashtirish hamda ishlab chiqarish jarayonlarini boshqarish tizimlaridagi masalalarni yechishning amaliy ahamiyatini oshiradi.

Dissertatsiyaning «**Parametrik noaniqliklar sharoitida etalon modeli adaptiv boshqarish tizimlarini sintezlash algoritmlarini ishlab chiqish**» nomli ikkinchi bobda Parametrik noaniqliklar sharoitida etalon modeli boshqarish tizimini sintezlash algoritmlari taklif qilingan. Timsolni tanish usulida etalon modeli kvazi-invariant chiziqli adaptiv boshqarish tizimlarini sintezlash algoritmlari ishlab chiqilgan.

Boshqarish obyekti va etalon model quyidagi ko'rinishda ifodalangan bo'lsin:

$$(p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n) y(t) = -u(t) + \xi(t) , \quad (1)$$

va

$$(p^n + b_1 p^{n-1} + \dots + b_{n-1} p + b_n) y_m(t) = r(t) , \quad (2)$$

bu yerda $a = (a_1, \dots, a_n)$ - boshqarish obyektining parametrlari, $u(t)$ - boshqaruvchi, $y(t)$ - chiqish koordinatasi, $\xi(t)$ - g'alayon, $y_m(t)$ - etalon modelning chiqishi, $r(t)$ - etalon modeliga kiruvchi ta'siri.

Boshqarish maqsadi:

$$|\Delta(t)| = |y(t) - y_m(t)| < \delta ,$$

bu yerda δ - berilgan aniqlik.

Boshqarish quyidagicha bo'lsin:

$$\mu u(t) = (p^{n-1} + d_1 p^{n-2} + \dots + d_{n-2} p + d_{n-1})(y - y_m) , \quad (3)$$

bu yerda $(d_1, \dots, d_{n-1}, \mu)$ - parametrlar vektori.

(1) va (3) ga asoslanib quyidagicha yozish mumkin:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{y}_1(t) = y_2(t), \\ \dots\dots\dots \\ \dot{y}_{n-1}(t) = y_n(t), \\ \dot{y}_n(t) = \sum_{i=1}^n b_{n+1} y_i(t) + r(t), \\ \dot{y}_{n+1}(t) = y_{n+2}(t), \\ \dots\dots\dots \\ \dot{y}_{2n-1}(t) = y_{2n}(t), \\ \dot{y}_{2n}(t) = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{d_{n-i}}{\mu} y_i(t) + \frac{1}{\mu} y_n(t) - \sum_{i=1}^{n-1} \left(a_{n+1-i} + \frac{d_{n-i}}{\mu} \right) y_{n+i}(t) - \left(a_1 - \frac{1}{\mu} \right) y_{2n}(t) + \xi(t). \end{array} \right. \quad (4)$$

$$|\Delta(t)| = |y_{n+1}(t) - y_1(t)| < \delta. \quad (5)$$

$\Omega = \{\omega = (a_1, \dots, a_n, d_1, \dots, d_{n-1}, \mu)\}$ parametr to‘plamidan Ω^* to‘plam sohasini aniqlaymiz.

Masalani yechish $\tilde{\Omega}^* \subseteq \Omega^*$ qism to‘plaming tavsifini topishdan iborat. Yechimning quyidagi variantini ko‘rib chiqamiz. Har bir (a_1, \dots, a_n) parametri uchun $(d_1, \dots, d_{n-1}, \mu)$ parametrlar to‘plami mavjud bo‘lsin.

$\tilde{\Omega}^*$ maydoni $A^* = \{a = (a_1, \dots, a_n)\}$ va $\varphi_i(\omega) = a_i, i = 1, \dots, n$ bilan aniqlangan silindrik to‘plam bo‘lishi kerak, shunda $\tilde{\Omega}^* = \{\omega \setminus (\varphi_i(\omega), \dots, \varphi_n(\omega)) \in A^*\}$ to‘plam quriladi.

Boshqarish obyekti quyidagi tenglamalar yordamida tasvirlangan bo‘lsin:

$$\begin{cases} A(p)x = -B(p)u + F(p)(\theta(t)) \\ y = C_y(p)x + D_y(p)u, \\ C(p)u = D(p)x, \end{cases} \quad (6)$$

bu yerda $A(p), B(p), F(p), C_y(p), D_y(p), C(p), D(p)$ - lar haqiqiy matritsaviy ko‘phadlar. $\theta(t) = \phi(t) + \xi(t)$ $\phi(t), \xi(t)$ signallari oldindan noma’lum va $\xi(t)$ o‘lchovsiz g‘alayon.

Etalon modelni quyidagicha tavsiflaymiz:

$$A_m(p)y_m(t) = F_m(p)\phi(t). \quad (7)$$

bu yerda $(\det A_m(p) \neq 0$ da $\text{Re } p \geq 0)$ $A_m(p), F_m(p)$ - ko‘phadlar.

Tizimni sintezlash uchun quyidagi talablar qo‘yilgan:

- $C^{-1}(p), A^{-1}(p)$ va $(A^{-1}(p) + B^{-1}(p) \times C^{-1}(p)D(p))^{-1}$ - matritsalar mavjud;
- $A^{-1}(p)B(p), A^{-1}(p) \times F(p)$ va $(A(p) + B(p) \times C^{-1}(p)D(p))^{-1}A(p)$

matritsalarining barcha koeffitsiyentlari to‘g‘ri ratsional funksiyalar bo‘lsin.

U holda yopiq tizim $(A(p) + B(p) \times C^{-1}(p)D(p))x(t) = F(p)\xi(t)$ turg‘un bo‘ladi.

Timsolni tanish usuliga asoslangan masalani yechish uchun $C(p), D(p)$ matritsalarini tashkil etuvchi ko‘phadlarning koeffitsiyentlarini Ω noma’lum parametrlar fazosi sifatida tanlaymiz. Ω^+ maydon quyidagi shartlar asosida tanlanadi $\Omega^+ \subseteq \Omega_0 \subseteq \Omega$, bu yerda Ω_0 - tizimning turg‘unlik sohasi.

Masalani timsollarni tanib olish usullari bilan yechish natijalari parametrlar sohasini qurishga, shuningdek, boshqaruv tizimining tu‘rgunlik shartlarini aniqlashga imkon beradi.

$\omega_0 \in \Omega_0$ parametr qiymatlarini aniqlash $\min \Lambda(\omega)$, $\Lambda(\omega) = \max(\operatorname{Re} \lambda,)$, $\Lambda(\omega) < 0$ minimallashtirish masalasini yechish orqali amalga oshiriladi.

$\omega^+ \in \tilde{\Omega}^+ \subseteq \Omega_0$ to'plamdan $\min_{\omega \in \Omega_0} F(\omega)$ masalani yechish uchun foydalaniladi, bunda $F(\omega) = \max_{t>T} \left\| \tilde{x}(t, \omega) \right\|$, $\tilde{x}(t, \omega)$ - ω ga bog'liq tizim yechimidir.

Minimallashtirish jarayoni $F(\omega) < \varepsilon$ shart bajarilgunga qadar davom etadi.

Olib borilgan ilmiy izlanishlar kvazi-invariant adaptiv boshqaruv tizimlarini qurishning yangi algoritmini ishlab chiqishda timsollarni tanib olish usulini qo'llash samarali ekanligini ko'rsatdi.

Dissertatsiyaning «**Tashqi g'alayonlarda etalon modeli adaptiv tizimlarni sintezlash algoritmlarini ishlab chiqish**» nomli uchinchi bobida tashqi g'alayonlarda etalon modeli adaptiv boshqarish, tashqi g'alayonlar sharoitida chiziqli tizimlarni boshqarish, etalon modeli chiziqli uzluksiz boshqarish tizimlarining moslashuvchanligini tahlil qilish algoritmlarini ishlab chiqish taklif qilingan. Tashqi chegaralangan g'alayonlar va signalning to'yinganlik sharoitida parametrlarning ixtiyoriy nisbiy noaniqlik darajasi bilan adaptiv boshqarish algoritmlari sintez qilingan.

Quyidagi umumiy ko'rinishda keltirilgan chiziqli uzluksiz boshqarish tizimining harakat tenglamasini ko'rib chiqamiz:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu, & x_0(t) = x_0, \\ y = Cx, & y_0(t) = y_0, \end{cases} \quad (8)$$

Etalon modelining tenglamalari quyidagi ko'rinishda tasvirlanadi:

$$\begin{cases} \dot{x}_m = A_m x_m + B_m u_m, & x_0(t) = x_0, \\ y_m = C_m x_m, & y_0(t) = y_0, \end{cases} \quad (9)$$

Boshqarish maqsadiga erishishni ta'minlaydigan boshqarish ta'siri quyidagi ko'rinishda quriladi:

$$u = B^+ [(A_m - A)x + B_m u_m]. \quad (10)$$

Erzbergerning zaruriy shartlarining bajarilishi B^+ psevdoteskari matritsasi bilan:

$$BB^+(A_m - A) = A_m - A, \quad BB^+B_m = B_m, \quad (11)$$

quyidagi ko'rinishda yozilishi mumkin:

$$\operatorname{rank} B = \operatorname{rank}(B, A_m - A) = \operatorname{rank}(B, B_m). \quad (12)$$

Adaptatsiya xatosi quyidagi vektor sifatida aniqlanadi:

$$e = x - x_m, \quad (13)$$

(8) va (9) ning birinchi tenglamalari hosilalari ayirmasidan va (10)dan foydalanib quyidagi shaklda ifodalanadi

$$\dot{e} = \dot{x} - \dot{x}_m = Ax + Bu - A_m x_m - B_m u_m,$$

yoki

$$\dot{e} = Ax + A_m x - Ax + B_m u_m - A_m x_m - B_m u_m, \quad (14)$$

(13) ga asoslangan holda (14) tenglama bir jinsli differensial tenglama sifatida ifodalanadi:

$$\dot{e} = A_m(x - x_m)$$

yoki:

$$\dot{e} - A_m e = 0. \quad (15)$$

(15) ga Laplas almashtirishini qo'llash orqali bir jinsli chiziqli tenglamalar sistemasi hosil bo'ladi:

$$\begin{pmatrix} p e_1(p) \\ p e_2(p) \\ \vdots \\ p e_m(p) \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e_1(p) \\ e_2(p) \\ \vdots \\ e_m(p) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix},$$

yoki

$$\begin{cases} e_1(p)(p - a_{11}) + e_2(p)a_{12} + \dots + e_m(p)a_{1m} = 0 \\ a_{21}e_1(p) + e_2(p)(p - a_{22}) + \dots + e_m(p)a_{2m} = 0 \\ \dots \\ a_{m1}e_1(p) + e_2(p)a_{m2} + \dots + e_m(p)(p - a_{mm}) = 0 \end{cases}. \quad (16)$$

Bir jinsli tenglamalar sistemasi hamma vaqt birgalikda (chunki $\text{rang}(A_m) = \text{rang}(F)$) va nolga teng bo'lgan (trivial)

$$e_1 = e_2 = \dots = e_m = 0, \quad (17)$$

yechimga ega.

Shunday qilib (17) munosabatlardan foydalanib, (15) tenglamaning yechimi $e(t)$ adaptatsiya xatosini topish mumkin.

Sozlash xatoligini quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$\Delta(t) \equiv 0 \quad (18)$$

(8), (9) va (10) ga asoslanib, tenglamani quyidagi ko'rinishda yozishimiz mumkin:

$$\begin{aligned} \dot{\Delta} &= \dot{y}_m - \dot{y} = C_m(A_m x_m + B_m u_m) - C(Ax + Bu) = \\ &= C_m A_m x_m + C_m B_m u_m - CAx - CBu = \\ &= C_m A_m x_m + C_m B_m u_m - CAx - CBB^+[(A_m - A)x + B_m u_m] = \\ &= -CAx - CA_m x + CAx - CB_m u_m + C_m A_m x_m + C_m B_m u_m, \end{aligned} \quad (19)$$

yoki

$$\dot{\Delta} + A_m \Delta = B_u u_m (C_m - C) \quad (20)$$

(20) hisobga olgan holda tenglama quyidagicha ifodalanishi mumkin:

$$\dot{\Delta} = A_m \Delta + u_m \Delta k_{u_m} \quad (21)$$

Lyapunovning umumiy kvadratik funksiyasini quyidagi ko'rinishda quramiz:

$$V(\Delta, \Delta k_{u_m}) = \frac{1}{2} [\Delta^2 + \lambda \Delta k_{u_m}^2]. \quad (22)$$

Ushbu funksiyaning vaqt bo'yicha hosilasi:

$$\dot{V}(\Delta, \Delta k_{u_m}) = \Delta \dot{\Delta} + \lambda \Delta k_{u_m} \Delta \dot{k}_{u_m}$$

ko'rinishga ega, bunda:

$$\Delta \dot{k}_{u_m} = -\text{sign}\left(\frac{1}{\lambda}\right) u_m \Delta. \quad (23)$$

(21) va (23) hisobga olgan holda quydagiga ega bo‘lamiz:

$$\begin{aligned} \dot{V}(\Delta, \Delta k_{u_m}) &= \Delta(A_m \Delta + u_m \Delta k_{u_m}) + \lambda \Delta k_{u_m} \Delta \dot{k}_{u_m} = A_m \Delta^2 + \Delta u_m \Delta k_{u_m} + \lambda \Delta k_{u_m} \Delta \dot{k}_{u_m} = \\ &= A_m \Delta^2 + \Delta u_m \Delta k_{u_m} + \lambda \Delta k_{u_m} \left(\text{sign}\left(\frac{1}{\lambda} u_m \Delta\right) \right) = -A_m \Delta^2. \end{aligned} \quad (24)$$

Tanlangan Lyapunovning kvadrat shaklidagi funksiyasi (22) sintezlangan boshqarish tizimi turg‘unligini ta’minlaydi. Barbalata lemmasiga ko‘ra $\dot{V} \rightarrow 0$ bo‘lsa va $t \rightarrow \infty$ da $\Delta(t) \rightarrow 0$ bo‘lsa, \dot{V} tekis uzluksiz bo‘ladi.

Shunday qilib, o‘zgaruvchilarning chegaralanganligi va $\Delta(t)$ boshqarish xatosining nolga yaqinlashishi A_m va λ ning ixtiyoriy musbat qiymatlari uchun bajariladi.

Boshqarish obyekti quyidagi tenglama bilan tavsiflansin:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + \xi(t), & x(0) = x_0 \\ y(t) = Cx(t) \end{cases} \quad (25)$$

Etalon model quyidagicha bo‘lsin:

$$\begin{cases} \dot{x}_m(t) = A_m x_m(t) + B_m r(t), & x_m(0) = x_{m0}, \\ y_m(t) = C_m x_m(t), \end{cases} \quad (26)$$

bu yerda A_m - Gurvisli, x_{m0} - boshlang‘ich shartlar.

Masalani yechish uchun quyidagi shartlar bajarilish zarur:

1. (A, B) juftlik boshqariladigan, (A, C) juftlik esa kuzatiladigan.
2. Chiqish signalining quyidagi boshlang‘ich shartlari qanoatlantirilishi zarur:

$$\left\| \{y(0), \dot{y}(0), \dots, y^{(n-1)}(0)\} \right\| \leq \bar{y}.$$

Boshqarishning maqsadi tizimning turg‘unligini ta’minlaydigan shartning bajarilishidan iborat.

$$|y(t) - y_m(t)| < \Delta, \quad (27)$$

bu yerda $\Delta > 0$.

Bunday holatda (25) va (26) tenglamalarni yuqori tartibli hosilalarga nisbatan yechib va o‘rniga qo‘yib:

$$y_m = x_1, \dot{y}_m = x_2, \dots, y_m^{(n-1)} = x_n, \quad (28)$$

$$y = x_{n+1}, \dot{y} = x_{n+2}, \dots, y^{(n-1)} = x_{2n} \quad (29)$$

quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2, \\ \dot{x}_2 &= x_3, \\ &\dots\dots\dots \\ \dot{x}_{n-1} &= x_n, \\ \dot{x}_n &= -b_n x_1 - b_{n-1} x_2 - \dots - b_1 x_n + r(t), \\ y_m &= x_1, \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned}
\dot{x}_{n+1} &= x_{n+2}, \\
\dot{x}_{n+2} &= x_{n+3}, \\
&\dots\dots\dots, \\
\dot{x}_{2n} &= \mu_0 u - a_n x_{n+1} - a_{n-1} x_{n+2} - \dots - a_1 x_{2n} + \xi(t), \\
y &= x_{n+1}.
\end{aligned}
\tag{31}$$

Berilgan (28)-(31) lardan foydalanib boshqarish xatoligini quyidagi shaklda ifodalaymiz:

$$|\Delta(t)| = |y(t) - y_m(t)| = |x_{n+1} - x_1| < \delta,$$

(25), (26) va (28) ni hisobga olgan holda, $\Delta(t)$ boshqarish xatoligi uchun quyidagi tenglamani yozamiz:

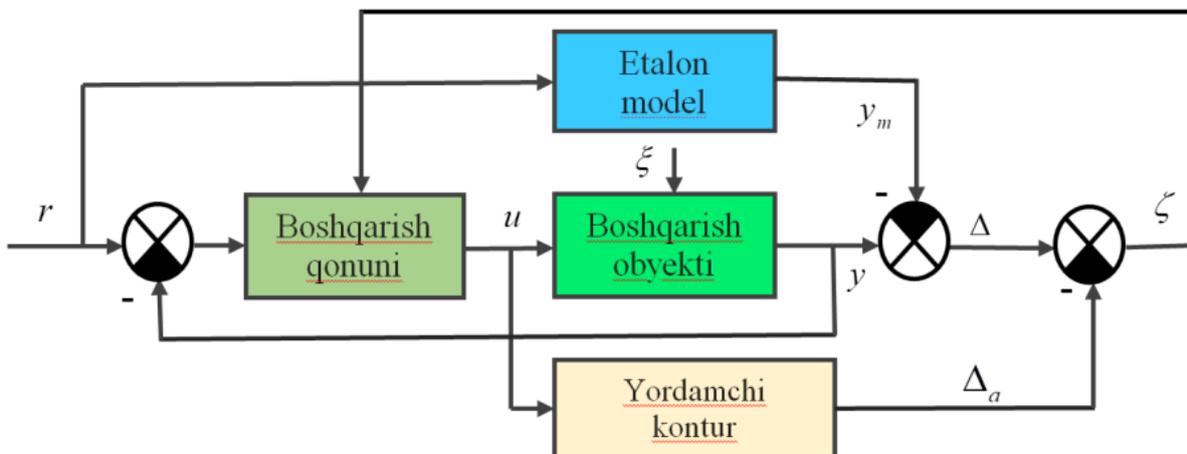
$$\begin{cases}
\Delta(t) = y(t) - y_m(t) = x_{n+1} - x_1, \\
\dot{\Delta}(t) = \dot{y}(t) - \dot{y}_m(t) = x_{n+2} - x_2, \\
\ddot{\Delta}(t) = \ddot{y}(t) - \ddot{y}_m(t) = x_{n+3} - x_3, \\
\dots\dots\dots \\
\Delta^{(n)}(t) = y^{(n)}(t) - y_m^{(n)}(t) = \dot{x}_{2n} - \dot{x}_n
\end{cases}
\tag{32}$$

$$\begin{aligned}
\Delta^{(n)}(t) &= \mu_0 u - a_n x_{n+1} - a_{n-1} x_{n+2} - \dots - a_1 x_{2n} + \xi(t) + b_n x_1 + b_{n-1} x_2 + \dots + b_1 x_n - r(t) = \\
&= \mu_0 u(t) + \xi(t) - r(t) - a_n y - a_{n-1} \dot{y} - \dots - a_1 y^{(n-1)} + b_n y_m + b_{n-1} \dot{y}_m + \dots + b_1 y_m^{(n-1)} + \\
&\quad + b_n y + b_{n-1} \dot{y} + \dots + b_1 y^{(n-1)} - b_n y - b_{n-1} \dot{y} - \dots - b_1 y^{(n-1)} = \\
&= \mu_0 u(t) + \xi(t) - r(t) - b_n \Delta(t) - b_{n-1} \dot{\Delta}(t) - \dots - b_1 \Delta^{(n-1)}(t) - \\
&\quad - y(a_n - b_n) - \dot{y}(a_{n-1} - b_{n-1}) - \dots - y^{(n-1)}(a_1 - b_1),
\end{aligned}
\tag{33}$$

(32) va (33) larni e'tiborga olib,

$$\Delta^{(n)}(t) + b_1 \Delta^{(n-1)}(t) + \dots + b_{n-1} \dot{\Delta}(t) + b_n \Delta(t) = \mu_0 u(t) + \mu_0 \psi(t), \tag{34}$$

bu yerda $\psi(t) = \xi(t) - r(t) - y(a_n - b_n) - \dot{y}(a_{n-1} - b_{n-1}) - \dots - y^{(n-1)}(a_1 - b_1)$ funksiyasi (25) obyektning parametrik va tashqi g'alayonlarini o'z ichiga oladi.



1- rasm. Etalon modeli adaptiv boshqarish tizimining strukturaviy sxemasi.

$\psi(t)$ funksiyasini hisoblash uchun yordamchi konturni kiritamiz (1-rasm):

$$\Delta_a^{(n)}(t) + b_1 \Delta_a^{(n-1)}(t) + \dots + b_{n-1} \dot{\Delta}_a(t) + b_n \Delta_a(t) = \mu_0 u(t), \quad (35)$$

bu yerda $\Delta_a(t)$.

(34) va (35) ni inobatga olgan holda

$$\zeta(t) = \Delta(t) - \Delta_a(t) \quad (36)$$

$$\zeta^{(n)}(t) + b_1 \zeta^{(n-1)}(t) + \dots + b_{n-1} \dot{\zeta}(t) + b_n \zeta(t) = \mu_0 \psi(t), \quad (37)$$

$$K_m(p) \zeta(t) = L_m(p) \psi(t), \quad (38)$$

(38) dan $\psi(t) = L_m^{-1} K_m(p) \zeta(t)$ ni olamiz. Uni (34) ga qo'yib va chiqish signalining hosilalarini o'lchash imkoniyati mavjud deb faraz qilgan holda, quyidagilarni olish mumkin:

$$u(t) = -L_m^{-1} K_m(p) \zeta(t), \quad (39)$$

$$\Delta^{(n)}(t) + b_1 \Delta^{(n-1)}(t) + \dots + b_{n-1} \dot{\Delta}(t) + b_n \Delta(t) = 0.$$

Demak, ko'rib chiqilayotgan boshqarish tizimi obyekt parametrlarining noaniqligi sharoitida ishlaydi. Ishlab chiqilgan algoritmda boshqarish obyektining chiqish hosilalarini o'lchash talab qilinmaydi, bu esa teskari konturni ishlash jarayonini soddalashtiradi.

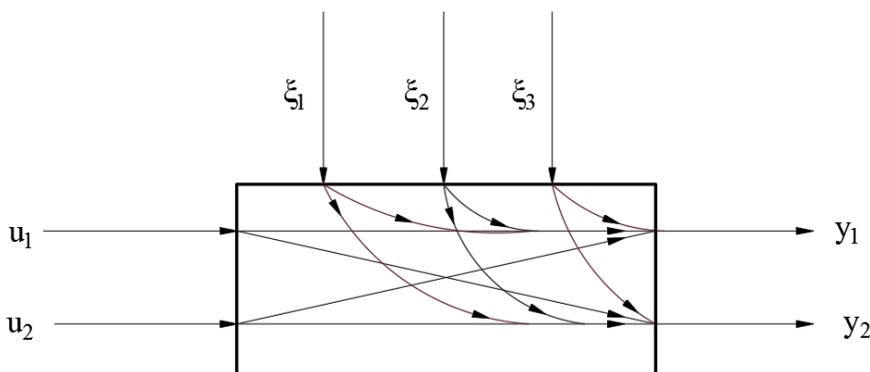
Dissertatsiyaning «**Ishlab chiqilgan adaptiv boshqarish algoritmlarini texnologik obyektlarda qo'llanilishi**» nomli to'rtinchi bobida ishlab chiqilgan parametrik noaniqliklar va tashqi g'alayonlar mavjudligi sharoitida etalon modeli adaptiv boshqarish tizimlarini sintezlash algoritmlarini formalin ishlab chiqarish texnologik jarayonida boshqarish va avtomatlashtirishda qo'llash natijalari keltirilgan.

Formalin ishlab chiqarish jarayonini tadqiq qilish obyekt sifatida "Navoiyazot" AJning kontaktli apparati tanlangan (o'rnatilgan bosim 0,06MPa). Jarayonni baholash va nazorat qilishda muhim ahamiyatga ega bo'lgan o'zgaruvchilar quyidagilarni o'z ichiga oladi (2-rasm):

1. Boshqaruvchi parametrlar: $U = (u_1, u_2)$, bu yerda u_1 - metanol sarfi; u_2 - dutyo sarfi.

2. Boshqariladigan parametrlar: $Y = (y_1, y_2)$, bu yerda y_1 - spirtli havo muhitidagi havo-metanol nisbati, y_2 - kontaktli aparat trubchatkasidagi harorat.

3. Nazorat qilinmaydigan g'alayonli ta'sirlar: $W = (\xi_1, \xi_2, \xi_3)$, bu yerda ξ_1 - xomashyo tarkibining og'ishi; ξ_2 - katalizator faolligi va selektivligining pasayishi; ξ_3 - issiqlik tashuvchining entalpiyasi va issiqlik yo'qotishlari.



2-rasm. Boshqarish obyektining strukturaviy sxemasi

Formalin ishlab chiqarish texnologik jarayonining chiziqli matematik modeli quyidagicha ko‘rinishga ega:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \\ y(t) = Cx(t), \end{cases}$$

Bu yerda $A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -a_2 & -a_1 \end{pmatrix}$, $B = \begin{pmatrix} 0 \\ \mu \end{pmatrix}$, $C = (1 \ 0)$.

Bunda $x = [x_1, x_2]^T$ - holat vektori, $y = [y_1, y_2]^T$ - chiqish vektori, $u = [u_1, u_2]^T$ - boshqaruvchi vektor va $\xi(t) = [\xi_1, \xi_2, \xi_3]^T$ - nazorat qilinmaydigan tashqi g‘alayonlar, bunda $|\xi(t)| \leq \bar{\xi}$, $\bar{\xi}$ - ma’lum kattalik.

Shunda parametrlarning o‘ziga xos qiymatlarini almashtirgandan so‘ng, tizim modeli quyidagicha yoziladi:

$$\begin{cases} \ddot{y}_1(t) + a_2^1 \dot{y}_1(t) + a_1^1 y_1(t) = \mu_1 u_1(t) \\ \ddot{y}_1(t) + a_2^2 \dot{y}_1(t) + a_1^2 y_1(t) = \mu_2 u_2(t) \\ \ddot{y}_2(t) + a_2^3 \dot{y}_2(t) + a_1^3 y_2(t) = \mu_3 u_1(t) \\ \ddot{y}_2(t) + a_2^4 \dot{y}_2(t) + a_1^4 y_2(t) = \mu_4 u_2(t) \end{cases}$$

Ushbu yondashuvning imkoniyatini ko‘rsatish uchun formalin ishlab chiqarishdagi kontakt apparatining tadqiqot natijalarini ko‘rib chiqamiz.

Kontaktli apparat trubchatkasidagi harorat $n=2$ tartibli chiziqli tenglama bilan tavsiflanadi:

$$(p^2 + a_1 p + a_2)y(t) = -u(t) + \xi(t).$$

Etalon model quyidagi ko‘rinishda tasvirlanadi:

$$(p^2 + 2p + 1)y_m(t) = 2 + 2 \sin t.$$

Tashqi g‘alayonlarning ta’siri ostida $\xi(t) = c \sin t$, $y_1(0) = y_2(0) = 0$, $y_3(0) = y_4(0) = 1$ va $\delta = 0.01$, $D^* = 0.99$ ko‘rinishida - sintez qilingan boshqarish qonuni quyidagi ko‘rinishga ega:

$$\mu u(t) = (p + d_1)(y - y_m),$$

Ushbu ikkita sohani tanib olish vazifasini ketma-ket yechish natijasida quyidagilarni yozish mumkin:

$$S_1 = \begin{bmatrix} 2.245 \leq a_1 \leq 7.142 \\ 0.112 \leq a_2 \leq 5.917 \\ 1.090 \leq d_1 \leq 2.167 \\ 0.011 \leq \mu \leq 1.154 \end{bmatrix}, \quad S_2 = \begin{bmatrix} 2.252 \leq a_1 \leq 3.340 \\ 0.092 \leq a_2 \leq 0.452 \\ 1.090 \leq d_1 \leq 2.167 \\ 0.025 \leq \mu \leq 0.029 \end{bmatrix}.$$

Bu yerda S_1 - tizimning turg‘unlik sohasi, S_2 - boshqarish maqsadlarini amalga oshiruvchi parametrlar sohasi. S_1 ishonchlilik $D = 0.99$ bilan 100 namunadan tanlanadi, S_2 esa $D = 0.98$ ishonchlilik bilan 60 namunadan tanlanadi.

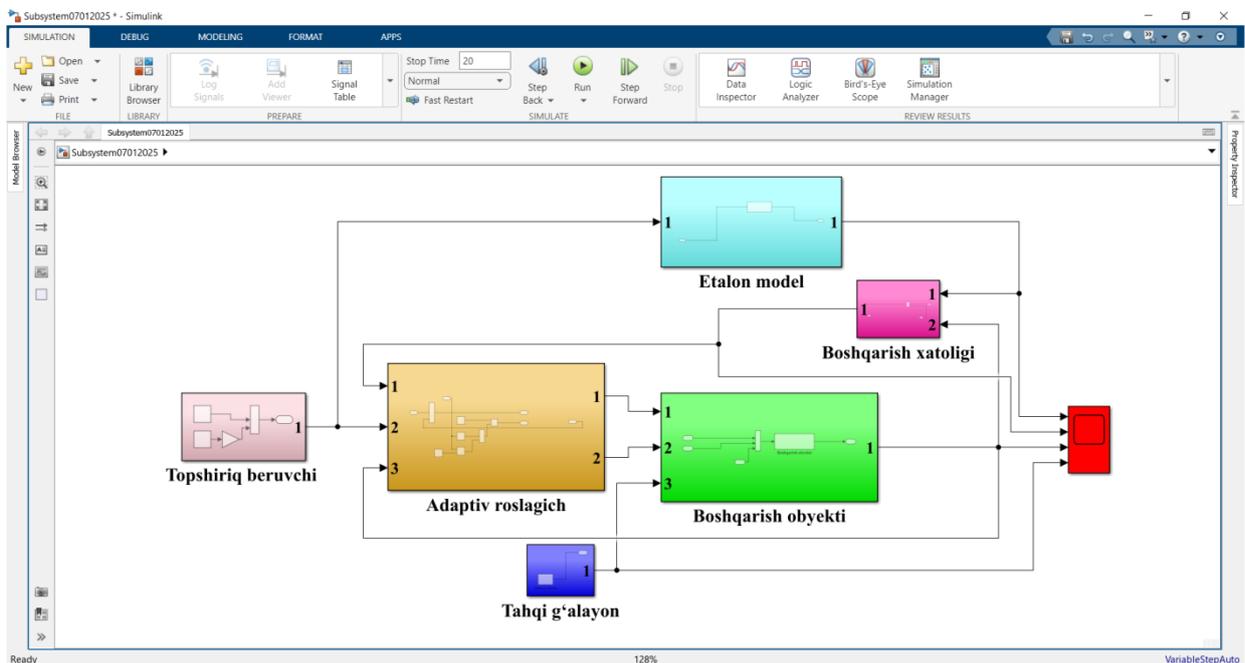
O‘tkazilgan tajribalar asosida quyidagilarni olamiz:

$$\begin{cases} \ddot{y}_1(t) + 3,331\dot{y}_1(t) + 0,156y_1(t) = 0,109u_1(t) \\ \ddot{y}_1(t) + 3,213\dot{y}_1(t) + 0,567y_1(t) = 0,129u_2(t) \\ \ddot{y}_2(t) + 2,357\dot{y}_2(t) + 1,194y_2(t) = 0,2321u_1(t) \\ \ddot{y}_2(t) + 5,452\dot{y}_2(t) + 1,996y_2(t) = 0,135u_2(t) \end{cases}$$

Natijalar shuni ko'rsatadiki, eng muhim kanal $u_1 \rightarrow y_2$ «metanol oqimi - kontakt apparati trubkasidagi harorat» hisoblanadi. Bu kanal eng katta kuchlanish koeffitsiyenti va eng kichik inersiyaga ega bo'lgani bilan ta'riflanadi. Shu sababli formalin olish jarayonini boshqarish tizimini sintez qilishda boshqaruvchi parametr - metanol sarfi asosida amalga oshiramiz.

Modelning monandligini aniqlash uchun modelning chiqish o'zgaruvchisi va qoldiqning dispersiyasi hisoblab chiqildi. Ushbu ma'lumotlarga asoslanib, biz $F_{noz} = 28,8$ ga teng bo'ladigan nazariy Fisher mezonini aniqlaymiz.

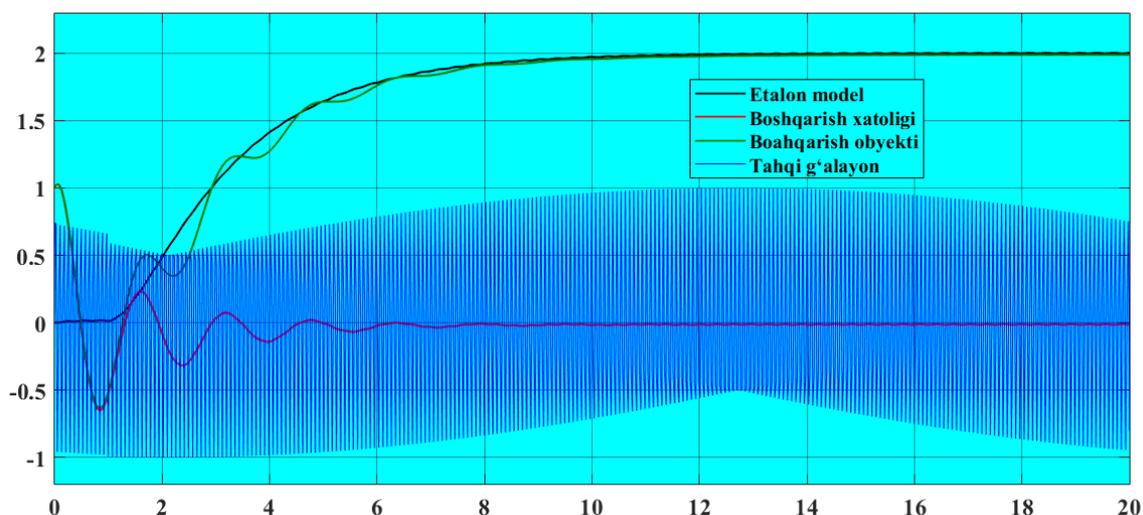
Hisoblangan F_{naz} Fisher kriteriysining nazariy qiymati va $F_{jadval}(\alpha, k_1, k_2)$ jadval qiymati bilan sholishtiriladi, agar $F_{naz} > F_{jadval}$ shartni qanoatlantirsa, model monand bo'ladi. Bu yerda α - kritik qiymat (odatda $\alpha = 0,01$), erkinlik darajalari $k_1 = m$ va $k_2 = n - m - 1$. $n = 100$ va $m = 4$ bo'lgan holatda $F_{jadval} = 3,56$ ga teng bo'ladi. Shunday qilib, $F_{naz} = 28,8 > F_{jadval} = 3,56$ bo'lganligi uchun model monand.



3-rasm. MATLAB/Simulinkda boshqarishning ost tizim strukturaviy sxemasi

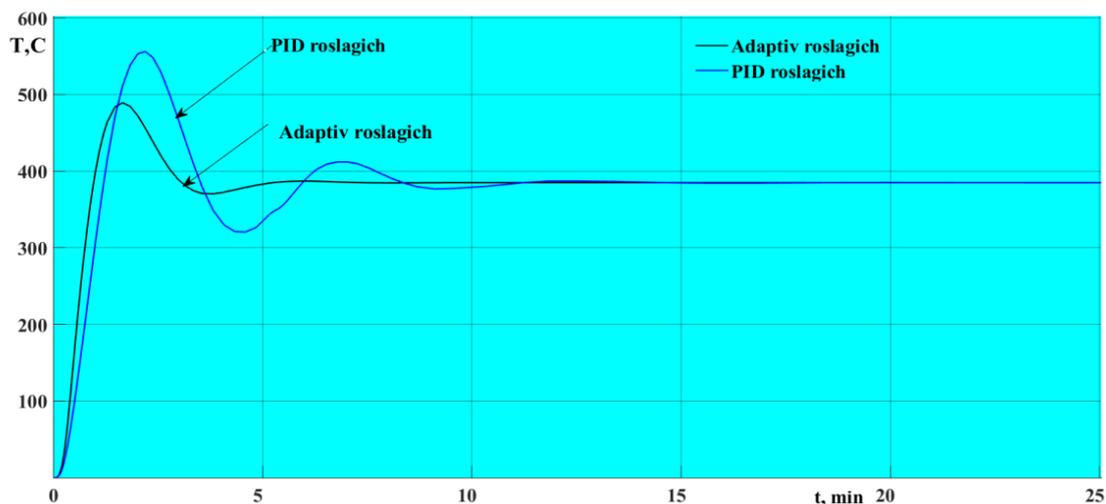
Ushbu kuzatuv masalasida obyektning $y(t)$ chiqishi etalon modelning $y_m(t)$ chiqishini belgilangan aniqlik bilan kuzatishi kerak (3-rasm).

4-rasmdan ko'rinib turibdiki $\xi(t)$ tashqi ta'sir Amplitudasi bo'yicha yetarlicha muhim.



4-rasm. $\xi(t)$ bilan kuzatish grafiği

5-rasmda Klassik PID-rostlagich tizimi va adaptiv boshqarish tizimini modellashtirish natijalari qiyoslanadi.



5-rasm. Boshqarish tizimini o'tish xarakteristikallari

Kontaktli apparatdagi harorat $385-390^{\circ}\text{C}$ bo'lganda adaptiv boshqarish tizimining vaqti mavjud boshqarish tizimining rostlash vaqtidan 6 minut kam ekanligi aniqlandi. Shuningdek, metanolning solishtirma sarfi $2\div 3\%$ ga kamayadi va xomashyoni tejash imkonini beradi. Bu esa adaptiv boshqarish tizimi klassik PID-rostlagich boshqarish tizimiga nisbatan kengroq imkoniyatlarga ega ekanligini bildiradi.

XULOSA

Dissertatsiyada tizimli tahlil, adaptiv boshqarish tizimlari nazariyasi, matematik modellash va tajriba natijalarini qayta ishlash usullari asosida parametrik noaniqliklar va tashqi g'alayonlar mavjudligi sharoitida etalon modeli adaptiv boshqarish tizimlarini sintezlash algoritmlari ishlab chiqildi.

Tadqiqotlar natijasida quyidagi ilmiy natijalarga erishildi:

1. Noaniqlik sharoitida etalon modeli adaptiv boshqarish tizimlarini sintezlash algoritmlari ishlab chiqilgan. Algoritmlar obyektning dinamik xususiyatlarini barqarorlashtirish va tizimning chiqishi etalon modelining chiqishiga mos kelishini ta'minlaydigan chiziqli rostlagichni qurishga imkon beradi.

2. Parametrik noaniqlik sharoitida etalon modeli adaptiv boshqarish tizimlarini sintez qilish algoritmlari ishlab chiqilgan. Ushbu algoritmlar etalon modeli adaptiv boshqarish tizimining ishonchliligi va aniqligini oshirishga imkon bergan.

3. Timsolni tanish usulda etalon modeli kvazi-invariant chiziqli adaptiv boshqarish tizimlarini sintez qilish algoritmlari ishlab chiqilgan. Ishlab chiqilgan algoritm parametrik g'alayonlarni samarali qayta ishlash va real vaqtda zaruriy boshqarish sifatini ta'minlashga imkon beradi.

4. Etalon modeli chiziqli uzluksiz boshqarish tizimlarining moslashuvchanligini tahlil qilish algoritmlari ishlab chiqilgan. Taklif qilingan algoritm turli sharoitlarda ishlovchi tizimlarni boshqarish samaradorligi va egiluvchanligini oshirishga imkon beradi.

5. Tashqi chegaralangan g'alayonlar va signal to'yinganligi mavjudligi sharoitida ixtiyoriy nisbiy parametrlar noaniqligida adaptiv boshqarish algoritmi sintez qilingan. Ishlab chiqilgan algoritm murakkab shovqinli-signallarni boshqarish tizimlarining barqarorligi va samaradorligini ta'minlash hamda ixtiyoriy nisbiy parametrlar noaniqligida adaptiv boshqarishga imkon beradi.

6. Taklif etilgan parametrik noaniqliklar va tashqi g'alayonlar mavjudligi sharoitida etalon modeli adaptiv boshqarish tizimlarini sintezlash algoritmlari asosida formalin ishlab chiqarish texnologik jarayonini adaptiv boshqarish tizimi ishlab chiqilgan. Kontaktli apparatdagi harorat 385-390°C bo'lganda adaptiv boshqarish tizimining vaqti mavjud boshqarish tizimining rostlash vaqtidan 6 minut kam ekanligi aniqlandi. Shuningdek, metanolning solishtirma sarfi 2÷3% ga kamayadi, bu esa xom ashyoni tejash imkonini beradi.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12.2019.Т.03.02
ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ
ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ**

**НАВОИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

ЛАТИПОВ ШАХРИЁР БАХТИЁРОВИЧ

**АЛГОРИТМЫ СИНТЕЗА АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С
ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛЮ В УСЛОВИЯХ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И НАЛИЧИЯ ВНЕШНИХ ВОЗМУЩЕНИЙ**

**05.01.08 - Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами**

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

Ташкент – 2025

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за №В2023.2.PhD/Т3652.

Диссертация выполнена в Навоийском государственном горно-технологическом университете.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице (www.tdtu.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyo.net).

Научный руководитель: **Ботиров Тулкин Вафокулович**
доктор технических наук, доцент

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

Хусанов Субан Нуруллаевич
PhD., доцент

Ведущая организация: **Ташкентский химико-технологический институт**

Защита диссертации состоится «15» 03 2025 года в 10⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.T.03.02 при Ташкентском государственном техническом университете (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрировано № 7) (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: 246-03-41).

Автореферат диссертации разослан «27» 02 2025 года.
(реестр протокола рассылки № 23 от «12» 01 2025 года)



И.Р.Юсупбеков
Председатель Научного совета
по присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор, академик АН РУз

У.Ф.Мамиров
Ученый секретарь Научного совета
по присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор

Х.З.Игамбердиев
Председатель научного семинара
при Научном совете по присуждению ученых степеней,
д.т.н., профессор, академик АН РУз

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В последнее время в мире уделяется особое внимание созданию инновационных технологий, направленных на повышение эффективности производственно-технологических процессов, совершенствованию существующих технологий, а также разработке адаптивных систем управления сложными динамическими объектами. В последние годы актуальными стали вопросы синтеза алгоритмов адаптивного управления различного функционального назначения в соответствии с динамическими характеристиками объектов и разработка систем оптимального управления на основе эталонных моделей. Учитывая сложность процессов управления и неизвестные или изменяющиеся параметры объектов, разработка моделей адаптивных систем управления и их эффективное применение считаются одними из актуальных задач современности.

В мире ведутся научные исследования, направленные на повышение точности законов управления разрабатываемых систем управления технологическими процессами и производствами в обеспечении оперативности процесса принятия решений и поиска оптимального решения под воздействием различных возмущений. В этом направлении проводятся исследования, посвященные разработке эталонно-модельных адаптивных систем управления с целью обеспечения адаптивности систем управления динамическими объектами к различным возмущающим воздействиям, а также оценке состояния управляемых объектов в условиях параметрической неопределенности. В рамках данного исследовательского направления одной из важных задач является совершенствование методов и алгоритмов синтеза эталонно-модельных адаптивных систем управления, а также разработка алгоритмов адаптивной стабилизации динамических объектов с неизвестными параметрами и внешними возмущениями.

В нашей стране, в настоящее время, особое внимание уделяется сфере автоматизации и управления, в частности, созданию усовершенствованных систем управления, обеспечивающих автоматизацию различных технологических процессов и производств, а также сбережения энергии и ресурсов. В новой Стратегии развития Узбекистана на период 2022-2026 годов, подчеркнута важность «Снижения потерь в отраслях промышленности и повышение эффективности использования ресурсов, внедрение современных механизмов поддержки исследований и инновационных инициатив»¹. Одной из важнейших задач является, в частности, создание алгоритмов синтеза стандартных моделей адаптивных систем управления при наличии параметрических неопределенностей и внешних возмущений.

Данное диссертационное исследование в определенной степени способствует выполнению задач, предусмотренных в указах Президента Республики Узбекистан № УП-169 «О дополнительных мерах по ускоренному развитию промышленности и ее базовых отраслей» от 12 октября 2023 года, а

¹ Указ Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28 января 2022 года «О стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы».

также постановлениями № ПП-4265 «О мерах по дальнейшему реформированию и повышению инвестиционной привлекательности химической промышленности» от 3 апреля 2019 года, № ПП-3983 «О мерах по ускоренному развитию химической промышленности Республики Узбекистан» от 25 октября 2018 года, и № ПП -357 «О мерах по поднятию на новый уровень сферы информационно-коммуникационных технологий в 2022-2023 годах» от 22 августа 2022 года, а также других нормативно-правовых актов, относящихся к данной деятельности.

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

Степень изученности проблемы. По критерию прямого подхода анализ литературы последних лет, связанной с исследованиями по разработке алгоритмов синтеза адаптивных систем управления объектами в условиях параметрической неопределенности и внешних возмущений, показывает, что теоретические и практические результаты в этой области достигнуто много положительных результатов. Благодаря исследованиям, проводимым в области адаптивных систем управления, опубликовано множество научных работ и их количество увеличивается. Многие зарубежные ученые, в числе которых можно назвать Мирошника И.В., Никифорова В.О., Фрадкова А.Л.², Александрова А.Г.³, Неймарка Ю.И.⁴, Круглова С.П.⁵, Цыкунова А. М.⁶, Фуртата И.Б.⁷, Котельникова И.В.⁸, Еремина Е.Л.⁹, и др., а также отечественных ученых – Юсупбекова Н. Р.¹⁰, Бекмуратова Т.Ф., Игамбердиева Х.З.^{10,11,12}, Камилова М.М., Исмаилова М.А., Сиддикова И.Х., Зарипова О.О.¹¹, Севинова Ж.У.¹¹, Мамирова Ё.Ф.¹⁰, Ботирова Т.В.¹² и др, внесли большой вклад в развитие адаптивных систем управления.

Однако, в связи с постоянным усложнением и расширением объема научных исследований, необходима разработка новых эффективных методов и

² Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. – СПб: Наука, 2000.

³ А. Г. Александров, Адаптивное управление с эталонной моделью при внешних возмущениях, Автомат. и телемех., 2004, выпуск 5, 77–90.

⁴ Ю. И. Неймарк, Синтез и функциональные возможности квазиинвариантного управления, Автомат. и телемех., 2008, выпуск 10, 48–56.

⁵ А. М. Бронников, С. П. Круглов, «Упрощенные условия адаптируемости системы управления с идентификатором и эталонной моделью», Автомат. и телемех., 1998, № 7, 107–117.

⁶ А.М. Цыкунов, «Алгоритмы робастного управления с компенсацией ограниченных возмущений», Автомат. и телемех., 2007, №7, 103–115;

⁷ И.Б. Фуртат, П.А. Гуцин, Алгоритм управления в условии насыщения сигнала управления и его производных, УБС, 2019, выпуск 77, 47–69.

⁸ Котельников, И.В., Теклина, Л.Г. (2014). Синтез линейных ММО-систем квазиинвариантного управления методами распознавания образов. Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского, (4-1), 388-393

⁹ Еремин Е.Л., Никифорова Л.В., Пикуль З.Д., Теличенко Д.А. Комбинированный регулятор для структурно и параметрически неопределенного объекта с запаздыванием по управлению // Датчики и системы. - 2019. - № 10(240).

¹⁰ Yusupbekov N. R., Igamberdiev H. Z., Mamirov U. F. Stable algorithms for adaptive control and adaptation of uncertain dynamic objects based on reference models //CEUR Workshop Proceedings. – 2021. – Т. 2965. – С. 296-302.

¹¹ Igamberdiyev, H.Z., Yusupbekov, A.N., Zaripov, O.O., & Sevinov, J.U. (2017). Algorithms of adaptive identification of uncertain operated objects in dynamical models. Procedia computer science, 120, 854-861.

¹² Igamberdiev H.Z., Botirov T.V. Algorithms for the synthesis of a neural network regulator for control of dynamic objects //World Conference Intelligent System for Industrial Automation. – Cham : Springer International Publishing, 2020. – С. 460-465.

алгоритмов синтеза адаптивных систем управления объектами с эталонными моделями в условиях параметрической неопределенности и внешних возмущений. Кроме того, желательно разработать алгоритмы синтеза типовых моделей адаптивных систем управления, что позволит повысить эффективность управления сложными динамическими системами. Из изложенного ниже видно, что совершенствование и создание эффективных системных алгоритмов синтеза адаптивных систем управления динамическими объектами в неопределенных условиях изучены недостаточно.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках научно-исследовательских проектов Навоийского государственного горно-технологического университета по следующим темам: №11/2021-Э на тему «Разработка интеллектуальной системы управления технологическими процессами в металлургических заводах №5 и №7 Центрального рудоуправления НГМК на базе цифровых технологий (2020-2021); №01-01/28-1 на тему «Разработка и внедрение автоматизированной системы обеспечения безопасности работников при подземных горных работах для нужд АО «НГМК»» (2024-2025); №01-01/29-1 «Разработка информационной системы интеллектуального управления горнотранспортными комплексами при открытых горных работах» (2024-2025), которые выполняются в рамках хозяйственного договора.

Цель исследования: разработка алгоритмов синтеза адаптивных систем управления с эталонной моделью в условиях параметрической неопределенности и наличия внешних возмущений.

Задачи исследования:

системный анализ современного состояния и проблем синтеза адаптивных систем управления с эталонной моделью в условиях параметрической неопределенности и наличия внешних возмущений;

построение алгоритмов синтеза адаптивных систем управления с эталонной моделью в условиях параметрической неопределенности;

разработка алгоритмов синтеза адаптивных систем квазиинвариантного управления с эталонными моделями методами распознавания образов;

разработка алгоритма анализа адаптируемости непрерывных систем управления с эталонной моделью;

синтез алгоритмов адаптивного управления с произвольной относительной степенью неопределенности параметров в условиях наличия внешних ограниченных возмущений и сигнала насыщения;

практическое применение алгоритмов синтеза адаптивных систем управления с эталонной моделью, разработанных в условиях параметрических неопределенностей и внешних возмущений.

Объектом исследования являются системы адаптивного управления динамическими объектами с эталонными моделями.

Предметом исследования являются алгоритмы синтеза адаптивных систем управления с эталонными моделями в условиях параметрической неопределенности и наличия внешних возмущений.

Методы исследования. В диссертационной работе использованы общая методология системного анализа, динамического оценивания и адаптивного управления.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

разработаны алгоритмы синтеза в условиях параметрической неопределенности, позволяющие повысить надежность и точность адаптивных систем управления с эталонной моделью;

разработаны алгоритмы синтеза адаптивных систем квазиинвариантного управления с эталонными моделями на основе методов распознавания образов, позволяющие эффективно отрабатывать параметрические возмущения и обеспечивать желаемое качество управления в реальном времени;

разработаны алгоритмы адаптивности для линейных непрерывных систем управления с эталонной моделью, обеспечивающие достижение желаемого движения системы и способствующие повышению эффективности и гибкости управления при различных условиях функционирования системы;

синтезированы алгоритмы адаптивного управления с произвольной относительной степенью неопределенности параметров в условиях наличия внешних ограниченных возмущений и сигнала насыщения, обеспечивающие стабильность и эффективность системы управления в сложных помехо-сигнальных условиях.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработаны структурно-функциональные схемы автоматизации и адаптивного управления технологическим процессом синтеза формальдегида в производстве формалина;

в соответствии с техническим обеспечением, позволяющим стабилизировать технологический режим процессов и повысить их эффективность, разработана адаптивная система управления процессом производства формальдегида.

Достоверность результатов исследования. Достоверность полученных результатов исследования обеспечивается выполнением методически обоснованных теоретических выкладок; применением теоретически обоснованных концепций адаптивного управления динамическими объектами на основе прямого подхода; использованием апробированных методов и алгоритмов современной теории автоматического управления; требуемой степенью сходимости предлагаемых методов и алгоритмов адаптивного управления; полученными результатами теоретических и прикладных исследований и их взаимной согласованностью.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования объясняется созданием алгоритмов синтеза моделей адаптивных систем управления, позволяющих повысить качество процессов управления при наличии параметрических неопределенностей и внешних воздействий.

Практическая значимость работы обуславливается разработкой математического и алгоритмического обеспечения различных задач

адаптивного управления, а также применением функциональных структур адаптивных систем, используемых при управлении непрерывными технологическими процессами и автоматизации процесса их проектирования.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов синтеза адаптивных систем управления динамическими объектами на основе концепций прямого подхода:

разработано программное обеспечение алгоритмов синтеза адаптивных систем управления с эталонной моделью в условиях параметрической неопределенности, позволяющее повысить надежность и точность процедуры адаптации, внедренное на АО «Навоiazот» (Справка АО «УЗКИМЁСАНОАТ» №23-3-1960 от 19 июня 2024 года);

разработано программное обеспечение алгоритмов синтеза адаптивных систем квазиинвариантного управления с эталонными моделями на основе методов распознавания образов, позволяющее эффективно отрабатывать параметрические возмущения и обеспечивать желаемое качество управления в реальном времени, внедренное на АО «Навоiazот» (Справка АО «УЗКИМЁСАНОАТ» №23-3-1960 от 19 июня 2024 года).

Апробация результатов исследования. Теоретические и практические результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на 2 международных и 5 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. Всего по теме диссертации опубликовано 19 научных работ, из них 8 научных статей, в том числе 4 в республиканских и 4 в зарубежных журналах, рекомендованных ВАК РУз для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, получены 4 свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, объем диссертации составляет 102 страницы, а также списка использованной литературы и приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, выявлены объект и предмет исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыты научная и практическая значимость этих результатов, приведены перечень внедрений в практику результатов исследования, список апробаций результатов работы, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе «Современное состояние и задачи синтеза адаптивных систем управления с эталонной моделью» рассмотрены: задача систематического анализа развития методов построения и синтеза адаптивных систем управления динамическими объектами, формализация задач исследования, анализ проблемных ситуаций адаптивного управления с эталонной моделью в условиях неопределенности и наличия внешних

возмущений, постановка цели и задачи исследования.

Развитие теории автоматического управления на современном этапе характеризуется постановкой и решением задач, учитывающих неоднозначность наших знаний об объектах управления и воздействующих на них возмущениях. На практике встречаются случаи, когда известны только порядок объекта управления и структура уравнения его математической модели. При этом значения параметров объекта становятся неопределенными.

Решение задач в данном случае требует разработки систем, которые имеют свойство адаптироваться как к изменяющимся условиям работы объекта управления, так и к тому, что в математическом определении которого присутствует априорная неопределенность. В теории адаптивных систем управления в процессе их функционирования формируются подходы, направленные на улучшение характеристик системы посредством изменения структуры управления и настройки параметров алгоритмов.

В адаптивных системах управления, использующих эталонные модели, имеется интеграция целей управления и адаптации. В отличие от систем идентификационного подхода, где эти цели могут различаться, здесь они совпадают и направлены на обеспечение схожести поведения системы с заранее заданной эталонной моделью, отражающей предпочтительные характеристики системы. Этот подход создает единство между целями управления и адаптации, что представляет собой уникальную особенность.

Эти выводы дают понятие об основе концепций прямого подхода, ориентированных на разработку алгоритмов синтеза адаптивных систем управления, предназначенных для линейных динамических объектов с параметрическими неопределенностями и воздействиями внешних возмущений. Однако сама задача управления стоит в центре внимания и это обуславливает создание интеллектуальных вычислительных схем, способных эффективно воплощать эти алгоритмы в решениях задач автоматизации и управления технологическими процессами в сфере промышленного производства.

Таким образом, отмеченные обстоятельства указывают на необходимость создания алгоритмов синтеза адаптивных систем управления с эталонными моделями в условиях неопределенности, обеспечивая максимальную эффективность в условиях постоянно меняющихся параметров и воздействия внешних факторов, а также практической реализации в решении задач в системах автоматизации и управления технологическими процессами производств.

Во второй главе диссертации «Разработка алгоритмов синтеза адаптивных систем управления с эталонной моделью в условиях параметрической неопределенности» приведены особенности использования эталонных моделей в условиях параметрической неопределенности, а также синтеза алгоритмов адаптивных систем квазиинвариантного управления с эталонными моделями.

Пусть объект управления и эталонная модель описываются в следующем виде:

$$(p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n) y(t) = -u(t) + \xi(t) \quad (1)$$

и

$$(p^n + b_1 p^{n-1} + \dots + b_{n-1} p + b_n) y_m(t) = r(t), \quad (2)$$

где $a = (a_1, \dots, a_n)$ - параметры объекта управления, $u(t)$ - управление, $y(t)$ - выходная координата, $\xi(t)$ - возмущение, $r(t)$ - входной сигнал эталонной модели, $y_m(t)$ - выходной сигнал эталонной модели.

Цель управления:

$$|\Delta(t)| = |y(t) - y_m(t)| < \delta,$$

где δ - заданная точность.

Управление выбирается в виде:

$$\mu u(t) = (p^n + d_1 p^{n-1} + \dots + d_{n-2} p + d_{n-1})(y - y_m). \quad (3)$$

где $(d_1, \dots, d_{n-1}, \mu)$ - вектор параметров.

На основе (1) и (3) можно записать

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{y}_1(t) = y_2(t), \\ \dots\dots\dots \\ \dot{y}_{n-1}(t) = y_n(t), \\ \dot{y}_n(t) = \sum_{i=1}^n b_{n+1} y_i(t) + r(t), \\ \dot{y}_{n+1}(t) = y_{n+2}(t), \\ \dots\dots\dots \\ \dot{y}_{2n-1}(t) = y_{2n}(t), \\ \dot{y}_{2n}(t) = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{d_{n-i}}{\mu} y_i(t) + \frac{1}{\mu} y_n(t) - \sum_{i=1}^{n-1} \left(a_{n+1-i} + \frac{d_{n-i}}{\mu} \right) y_{n+i}(t) - \left(a_1 - \frac{1}{\mu} \right) y_{2n}(t) + \xi(t). \\ |\Delta(t)| = |y_{n+1}(t) - y_1(t)| < \delta. \end{array} \right. \quad (4)$$

Определим область Ω^* , в пространстве параметров $\Omega = \{\omega = (a_1, \dots, a_n, d_1, \dots, d_{n-1}, \mu)\}$.

Задача состоит в том, чтобы найти описание подмножества $\tilde{\Omega}^* \subseteq \Omega^*$ параметров. Рассмотрим следующие варианты решения. Пусть для параметров (a_1, \dots, a_n) объекта управления имеется область параметров $(d_1, \dots, d_{n-1}, \mu)$, соответствующая управляющей функции.

$\tilde{\Omega}^*$ должна быть цилиндрическим множеством, которое определяется как $A^* = \{a = (a_1, \dots, a_n)\}$ и $\varphi_i(\omega) = a_i, i = 1, \dots, n, \tilde{\Omega}^* = \{\omega \mid (\varphi_i(\omega), \dots, \varphi_n(\omega)) \in A^*\}$.

Будем описывать объект управления следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} A(p)x = -B(p)u + F(p)(\theta(t)) \\ y = C_y(p)x + D_y(p)u, \\ C(p)u = D(p)x, \end{cases} \quad (6)$$

где $p = d/dt, A(p), B(p), F(p), C_y(p), D_y(p), C(p), D(p)$ - матричные действительные полиномы. $\theta(t) = \phi(t) + \xi(t)$, $\phi(t)$, $\xi(t)$ заранее неизвестные сигналы, причем возмущение $\xi(t)$ неизмеримо.

Эталонная модель имеет вид

$$A_m(p)y_m(t) = F_m(p)\phi(t). \quad (7)$$

Здесь $(\det A_m(p) \neq 0 \text{ при } \operatorname{Re} p < 0)$, $A_m(p), F_m(p)$ - многочлены.

Для реализации разрабатываемой системы управления рассмотрим

следующие условия:

- $C^{-1}(p), A^{-1}(p)u(A^{-1}(p) + B^{-1}(p) \times C^{-1}(p)D(p))^{-1}$ должны существовать;
- матрицы $A^{-1}(p)B(p), A^{-1}(p) \times F(p)$ и $(A(p) + B(p) \times C^{-1}(p)D(p))^{-1}A(p)$ должны быть правильными рациональными функциями;
- $(A(p) + B(p) \times C^{-1}(p)D(p))x(t) = F(p)\xi(t)$ должны быть устойчивыми.

Применяя метод распознавания образов в качестве пространства признаков, выберем пространство неопределенных параметров Ω , состоящих из коэффициентов матрицы $C(p), D(p)$. Область Ω^+ выбирается из условий $\Omega^+ \subseteq \Omega_0 \subseteq \Omega$, где Ω_0 - область устойчивости системы.

Результаты решений задачи методами распознавания позволяют построить область параметров, а также определить условия устойчивости системы управления.

Определение значений параметров $\omega_0 \in \Omega_0$ основывается на решении задачи минимизации $\min \Lambda(\omega)$, $\Lambda(\omega) = \max(\operatorname{Re} \lambda)$, $\Lambda(\omega) < 0$.

$\omega^+ \in \Omega^+ \subseteq \tilde{\Omega}^+$ используется для решения задачи $\min_{\omega \in \Omega_0} F(\omega)$,
 $F(\omega) = \max_{t > T} \left\| \tilde{x}(t, \omega) \right\|$, $\tilde{x}(t, \omega)$ - решение системы, зависящий от параметров ω .

Процесс минимизации продолжается до выполнения условий $F(\omega) < \varepsilon$.

Проведенные исследования показали, что использование метода распознавания образов оказывается эффективным при разработке алгоритма построения квазиинвариантных адаптивных систем управления.

В третьей главе диссертации «Разработка алгоритмов синтеза адаптивных систем с эталонной моделью при внешних возмущениях» приводятся результаты анализа адаптируемости линейных систем управления с эталонной моделью, синтеза алгоритма адаптивного управления объектами с параметрической неопределенностью, возмущениями и насыщением входного сигнала.

Рассмотрим уравнение движения линейной непрерывной системы управления, представленное в общем виде следующим образом:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu, & x_0(t) = x_0, \\ y = Cx, & y_0(t) = y_0, \end{cases} \quad (8)$$

Уравнения эталонной модели описываются в виде

$$\begin{cases} \dot{x}_m = A_m x_m + B_m u_m, & x_0(t) = x_0, \\ y_m = C_m x_m, & y_0(t) = y_0, \end{cases} \quad (9)$$

Управляющее воздействие, обеспечивающее достижение цели управления, строится в следующем виде:

$$u = B^+ [(A_m - A)x + B_m u_m], \quad (10)$$

с псевдообратной матрицей B^+ при необходимом выполнении условий Эрзбергера

$$BB^+(A_m - A) = A_m - A, \quad BB^+B_m = B_m, \quad (11)$$

и они могут быть записаны в виде

$$\operatorname{rank} B = \operatorname{rank}(B, A_m - A) = \operatorname{rank}(B, B_m). \quad (12)$$

Ошибка адаптации определяется как вектор:

$$e = x - x_m. \quad (13)$$

(8) и (9) с помощью разности производных первых уравнений и (10) принимает форму

$$\dot{e} = \dot{x} - \dot{x}_m = Ax + Bu - A_m x_m - B_m u_m,$$

или

$$\dot{e} = Ax + A_m x - Ax + B_m u_m - A_m x_m - B_m u_m. \quad (14)$$

Уравнение (14) представляет собой однородное дифференциальное уравнение, основанное на (13):

$$\dot{e} = A_m (x - x_m)$$

или

$$\dot{e} - A_m e = 0. \quad (15)$$

Система однородных линейных уравнений формируется путем применения преобразования Лапласа к (15):

$$\begin{pmatrix} p e_1(p) \\ p e_2(p) \\ \vdots \\ p e_m(p) \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e_1(p) \\ e_2(p) \\ \vdots \\ e_m(p) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}$$

или

$$\begin{cases} e_1(p)(p - a_{11}) + e_2(p)a_{12} + \dots + e_m(p)a_{1m} = 0 \\ a_{21}e_1(p) + e_2(p)(p - a_{22}) + \dots + e_m(p)a_{2m} = 0 \\ \dots \\ a_{m1}e_1(p) + e_2(p)a_{m2} + \dots + e_m(p)(p - a_{mm}) = 0 \end{cases}. \quad (16)$$

Система однородных уравнений всегда совместна (поскольку $\text{rang}(A_m) = \text{rang}(F)$) и имеет нулевое (тривиальное) решение

$$e_1 = e_2 = \dots = e_m = 0. \quad (17)$$

Таким образом, использование соотношений (15) и (17) дает новые решения уравнения для ошибки адаптации $e(t)$.

Ошибка настройки запишем в виде:

$$\Delta(t) \equiv 0. \quad (18)$$

На основании (8), (9) и (10) можно написать уравнение

$$\begin{aligned} \dot{\Delta} &= \dot{y}_m - \dot{y} = C_m (A_m x_m + B_m u_m) - C(Ax + Bu) = \\ &= C_m A_m x_m + C_m B_m u_m - CAx - CBu = \\ &= C_m A_m x_m + C_m B_m u_m - CAx - CB B^+ [(A_m - A)x + B_m u_m] = \\ &= -CAx - CA_m x + CAx - CB_m u_m + C_m A_m x_m + C_m B_m u_m, \end{aligned} \quad (19)$$

или

$$\dot{\Delta} + A_m \Delta = B_u u_m (C_m - C). \quad (20)$$

Исходя из (20), можно представить уравнение в виде

$$\dot{\Delta} = A_m \Delta + u_m \Delta k_{u_m}. \quad (21)$$

В качестве функции Ляпунова можно рассмотреть выражение в

квадратичной форме

$$V(\Delta, \Delta k_{u_m}) = \frac{1}{2} [\Delta^2 + \lambda \Delta k_{u_m}^2]. \quad (22)$$

Производная от функции Ляпунова имеет вид:

$$\dot{V}(\Delta, \Delta k_{u_m}) = \Delta \dot{\Delta} + \lambda \Delta k_{u_m} \Delta \dot{k}_{u_m},$$

здесь

$$\Delta \dot{k}_{u_m} = -\text{sign}\left(\frac{1}{\lambda}\right) u_m \Delta. \quad (23)$$

Исходя из уравнений (21) и (23) можно получить:

$$\begin{aligned} \dot{V}(\Delta, \Delta k_{u_m}) &= \Delta (A_m \Delta + u_m \Delta k_{u_m}) + \lambda \Delta k_{u_m} \Delta \dot{k}_{u_m} = A_m \Delta^2 + \Delta u_m \Delta k_{u_m} + \lambda \Delta k_{u_m} \Delta \dot{k}_{u_m} = \\ &= A_m \Delta^2 + \Delta u_m \Delta k_{u_m} + \lambda \Delta k_{u_m} \left(\text{sign}\left(\frac{1}{\lambda}\right) u_m \Delta \right) = -A_m \Delta^2. \end{aligned} \quad (24)$$

Выбранная функция Ляпунова в квадратичной форме (22) обеспечивает устойчивость синтезированной системы управления.

\dot{V} равномерно непрерывна, исходя из леммы Барбалата, можно видеть, что $\dot{V} \rightarrow 0$ и в результате $\Delta(t) \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$.

Таким образом, ограниченность переменных и сходимости цели управления $\Delta(t) \rightarrow 0$ гарантируется при любых положительных значениях λ и A_m .

Пусть объект управления описывается уравнением:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + \xi(t), & x(0) = x_0, \\ y(t) = Cx(t), \end{cases} \quad (25)$$

Зададим эталонную модель в виде

$$\begin{cases} \dot{x}_m(t) = A_m x_m(t) + B_m r(t), & x_m(0) = x_{m0}, \\ y_m(t) = C_m x_m(t), \end{cases} \quad (26)$$

здесь A_m - является гурвицевым, x_{m0} - начальное условие.

Для решения задачи должны выполняться следующие условия:

1. Матрицы (A, B) управляемыми и матрицы (A, C) должны быть наблюдаемыми;

2. Выходной параметр должен удовлетворять следующим начальным условиям:

$$\left| \{y(0), \dot{y}(0), \dots, y^{(n-1)}(0)\} \right| \leq \bar{y}.$$

Цель управления состоит в выполнении условий, обеспечивающих устойчивость системы

$$|y(t) - y_m(t)| < \Delta, \quad (27)$$

где $\Delta > 0$.

В этом случае, разрешив уравнение (25) и (26) относительно старшей производной и положив

$$y_m = x_1, \dot{y}_m = x_2, \dots, y_m^{(n-1)} = x_n, \quad (28)$$

$$y = x_{n+1}, \dot{y} = x_{n+2}, \dots, y^{(n-1)} = x_{2n}, \quad (29)$$

получим

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2, \\ \dot{x}_2 &= x_3, \\ &\dots\dots\dots \\ \dot{x}_{n-1} &= x_n, \end{aligned} \tag{30}$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_n &= -b_n x_1 - b_{n-1} x_2 - \dots - b_1 x_n + r(t), \\ y_m &= x_1, \\ \dot{x}_{n+1} &= x_{n+2}, \\ \dot{x}_{n+2} &= x_{n+3}, \\ &\dots\dots\dots \end{aligned} \tag{31}$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_{2n} &= \mu_0 u - a_n x_{n+1} - a_{n-1} x_{n+2} - \dots - a_1 x_{2n} + \xi(t), \\ y &= x_{n+1}. \end{aligned}$$

Учитывая (28) - (31), запишем ошибку управления в следующем виде

$$|\Delta(t)| = |y(t) - y_m(t)| = |x_{n+1} - x_1| < \delta.$$

Принимая во внимание (25), (26) и (28), составим уравнение для ошибки $\Delta(t)$ в виде:

$$\begin{cases} \Delta(t) = y(t) - y_m(t) = x_{n+1} - x_1, \\ \dot{\Delta}(t) = \dot{y}(t) - \dot{y}_m(t) = x_{n+2} - x_2, \\ \ddot{\Delta}(t) = \ddot{y}(t) - \ddot{y}_m(t) = x_{n+3} - x_3, \\ \dots\dots\dots \\ \Delta^{(n)}(t) = y^{(n)}(t) - y_m^{(n)}(t) = \dot{x}_{2n} - \dot{x}_n \end{cases} \tag{32}$$

$$\begin{aligned} \Delta^{(n)}(t) &= \mu_0 u - a_n x_{n+1} - a_{n-1} x_{n+2} - \dots - a_1 x_{2n} + \xi(t) + b_n x_1 + b_{n-1} x_2 + \dots + b_1 x_n - r(t) = \\ &= \mu_0 u(t) + \xi(t) - r(t) - a_n y - a_{n-1} \dot{y} - \dots - a_1 y^{(n-1)} + b_n y_m + b_{n-1} \dot{y}_m + \dots + b_1 y_m^{(n-1)} + \\ &\quad + b_n y + b_{n-1} \dot{y} + \dots + b_1 y^{(n-1)} - b_n y - b_{n-1} \dot{y} - \dots - b_1 y^{(n-1)} = \\ &= \mu_0 u(t) + \xi(t) - r(t) - b_n \Delta(t) - b_{n-1} \dot{\Delta}(t) - \dots - b_1 \Delta^{(n-1)}(t) - \\ &\quad - y(a_n - b_n) - \dot{y}(a_{n-1} - b_{n-1}) - \dots - y^{(n-1)}(a_1 - b_1), \end{aligned} \tag{33}$$

Перепишем (32) и (33) в виде системы

$$\Delta^{(n)}(t) + b_1 \Delta^{(n-1)}(t) + \dots + b_{n-1} \dot{\Delta}(t) + b_n \Delta(t) = \mu_0 u(t) + \mu_0 \psi(t), \tag{34}$$

здесь $\psi(t) = \xi(t) - r(t) - y(a_n - b_n) - \dot{y}(a_{n-1} - b_{n-1}) - \dots - y^{(n-1)}(a_1 - b_1)$ состоит из параметрического и внешнего возмущения (25).

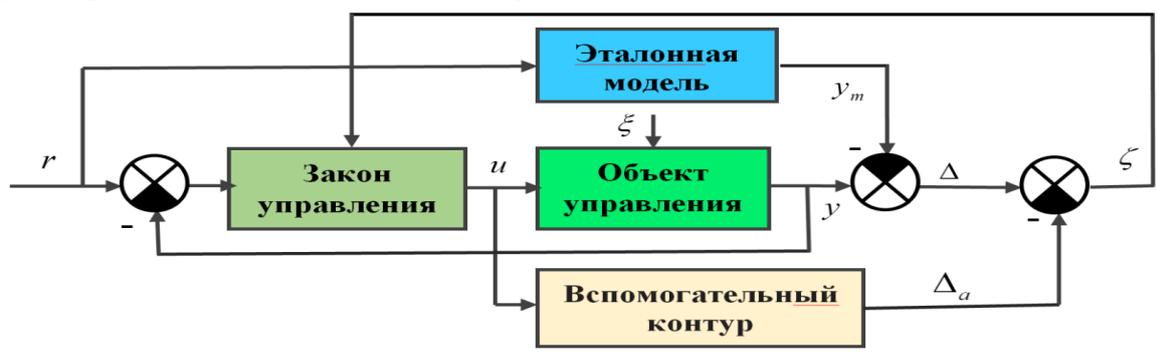


Рис.1. Структурная схема адаптивной системы управления на основе эталонной модели.

Для расчета $\psi(t)$ добавим вспомогательный контур (рис.1):

$$\Delta_a^{(n)}(t) + b_1 \Delta_a^{(n-1)}(t) + \dots + b_{n-1} \dot{\Delta}_a(t) + b_n \Delta_a(t) = \mu_0 u(t), \quad (35)$$

где $\Delta_a(t)$.

С учетом (34) и (35)

$$\zeta(t) = \Delta(t) - \Delta_a(t) \quad (36)$$

$$\zeta^{(n)}(t) + b_1 \zeta^{(n-1)}(t) + \dots + b_{n-1} \dot{\zeta}(t) + b_n \zeta(t) = \mu_0 \psi(t). \quad (37)$$

$$K_m(p) \zeta(t) = L_m(p) \psi(t), \quad (38)$$

Из (38) имеем $\psi(t) = L_m^{-1} K_m(p) \zeta(t)$. Подставляя его в (34) и предполагая, что производные выходного сигнала доступны измерению, можно получить:

$$u(t) = -L_m^{-1} K_m(p) \zeta(t), \quad (39)$$

$$\Delta^{(n)}(t) + b_1 \Delta^{(n-1)}(t) + \dots + b_{n-1} \dot{\Delta}(t) + b_n \Delta(t) = 0.$$

Следовательно, рассматриваемая система управления является работоспособной в условиях неопределенности параметров объекта.

В разработанном алгоритме не требуется измерять выходные производные объекта управления, что упрощает процесс работы обратного контура.

В четвертой главе диссертации «Применение разработанных алгоритмов адаптивного управления к технологическому объекту» приведены результаты применения синтезированных алгоритмов адаптивных систем управления на основе эталонных моделей в технологических процессах производства формалина.

В качестве объекта исследования для процесса производства формалина выбран контактный аппарат АО «Навоизот» (установочное давление 0,06 МПа). Переменные играющие важную роль в оценке и контроле процесса включают в себя (рис.2):

1. Управляющие параметры: $U = (u_1, u_2)$, где u_1 - расход метанола; u_2 - расход дутья.

2. Управляемые параметры: $Y = (y_1, y_2)$, где y_1 - соотношение воздух - метанол в спиртовой воздушной среде, y_2 - температура в трубке контактного аппарата.

3. Неконтролируемые возмущающие воздействия: $W = (\xi_1, \xi_2, \xi_3)$, здесь ξ_1 - отклонение состава сырья; ξ_2 - снижение активности и селективности катализатора; ξ_3 - энтальпия теплоносителя и теплопотери.

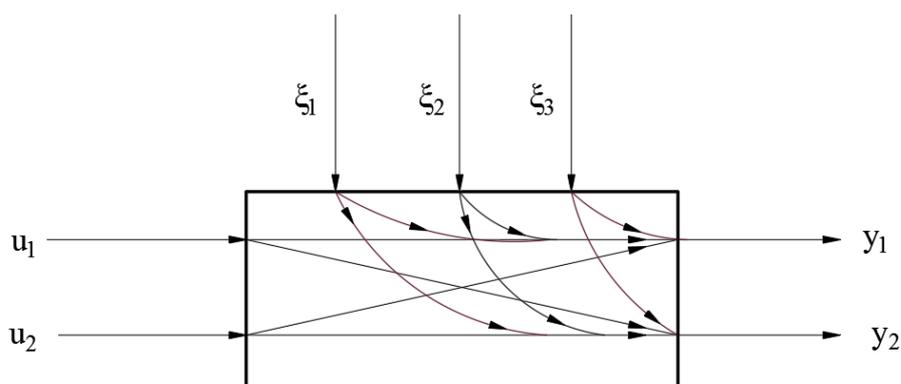


Рис. 2. Структурная схема объекта управления

Линейная математическая модель технологического процесса производства формалина выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + \xi(t), \\ y(t) = Cx(t), \end{cases}$$

где $A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -a_2 & -a_1 \end{pmatrix}$, $B = \begin{pmatrix} 0 \\ \mu \end{pmatrix}$, $C = (1 \ 0)$.

здесь $x = [x_1, x_2]^T$ – вектор состояния, $y = [y_1, y_2]^T$ – выходной вектор, $u = [u_1, u_2]^T$ – управляющий вход и $\xi(t) = [\xi_1, \xi_2, \xi_3]^T$ – неконтролируемые внешние возмущения, причем $|\xi(t)| \leq \bar{\xi}$, $\bar{\xi}$ – известная величина.

Тогда, после замены параметров собственными значениями, модель системы записывается следующим образом:

$$\begin{cases} \ddot{y}_1(t) + a_2^1 \dot{y}_1(t) + a_1^1 y_1(t) = \mu_1 u_1(t) \\ \ddot{y}_1(t) + a_2^2 \dot{y}_1(t) + a_1^2 y_1(t) = \mu_2 u_2(t) \\ \ddot{y}_2(t) + a_2^3 \dot{y}_2(t) + a_1^3 y_2(t) = \mu_3 u_1(t) \\ \ddot{y}_2(t) + a_2^4 \dot{y}_2(t) + a_1^4 y_2(t) = \mu_4 u_2(t) \end{cases},$$

Чтобы показать возможность данного подхода, рассмотрим результаты исследования контактного аппарата в производстве формалина. Трубчатый контактный аппарат описывается линейным уравнением $n = 2$ порядка:

$$(p^2 + a_1 p + a_2)y(t) = -u(t) + \xi(t).$$

Пусть эталонная модель описывается в следующем виде:

$$(p^2 + 2p + 1)y_m(t) = 2 + 2 \sin t.$$

При воздействии внешних возмущений в виде $\xi(t) = c \sin t$, $y_1(0) = y_2(0) = 0$, $y_3(0) = y_4(0) = 1$ и $\delta = 0.01$, $D^* = 0.99$ – выражение синтезированного управления имеет следующий вид

$$\mu u(t) = (p + d_1)(y - y_m).$$

В результате последовательного решения задачи распознавания этих двух полей можно написать:

$$S_1 = \begin{bmatrix} 2.245 \leq a_1 \leq 7.142 \\ 0.112 \leq a_2 \leq 5.917 \\ 1.090 \leq d_1 \leq 2.167 \\ 0.011 \leq \mu \leq 1.154 \end{bmatrix}, S_2 = \begin{bmatrix} 2.252 \leq a_1 \leq 3.340 \\ 0.092 \leq a_2 \leq 0.452 \\ 1.090 \leq d_1 \leq 2.167 \\ 0.025 \leq \mu \leq 0.029 \end{bmatrix},$$

здесь S_1 – область устойчивости системы, S_2 – область параметров, выполняющих цели управления. S_1 выбирается из 100 образцов с достоверностями $D = 0.99$, а S_2 выбирается из 60 образцов с достоверностями $D = 0.98$.

На основе экспериментальных данных получим:

$$\begin{cases} \ddot{y}_1(t) + 3,331 \dot{y}_1(t) + 0,156 y_1(t) = 0,109 u_1(t) \\ \ddot{y}_1(t) + 3,213 \dot{y}_1(t) + 0,567 y_1(t) = 0,129 u_2(t) \\ \ddot{y}_2(t) + 2,357 \dot{y}_2(t) + 1,194 y_2(t) = 0,232 \mu u_1(t) \\ \ddot{y}_2(t) + 5,452 \dot{y}_2(t) + 1,996 y_2(t) = 0,135 \mu u_2(t) \end{cases}.$$

Результаты показывают, что наиболее значимым каналом является $u_1 \rightarrow y_2$

«расход метанола – температура в трубке контактного аппарата». Этот канал характеризуется наибольшим коэффициентом натяжения и наименьшей инерцией. Поэтому синтез системы управления процессом получения формалина будем осуществлять на основе управляющего параметра – расхода метанола.

Для определения адекватности модели были вычислены дисперсия выходной переменной модели и остатка. На основе этих данных определяем теоретический критерий Фишера $F_{теор} = 28,8$.

Табличное значение $F_{табл}(\alpha, k_1, k_2)$ при исходных данных (обычно $\alpha = 0,01$), $k_1 = m$ и $k_2 = n - m - 1$ степенях свободы будет равно 3,56.

Итак, $F_{теор} = 28,8 > F_{табл} = 3,56$ означает, что модель адекватно описывает процесс.

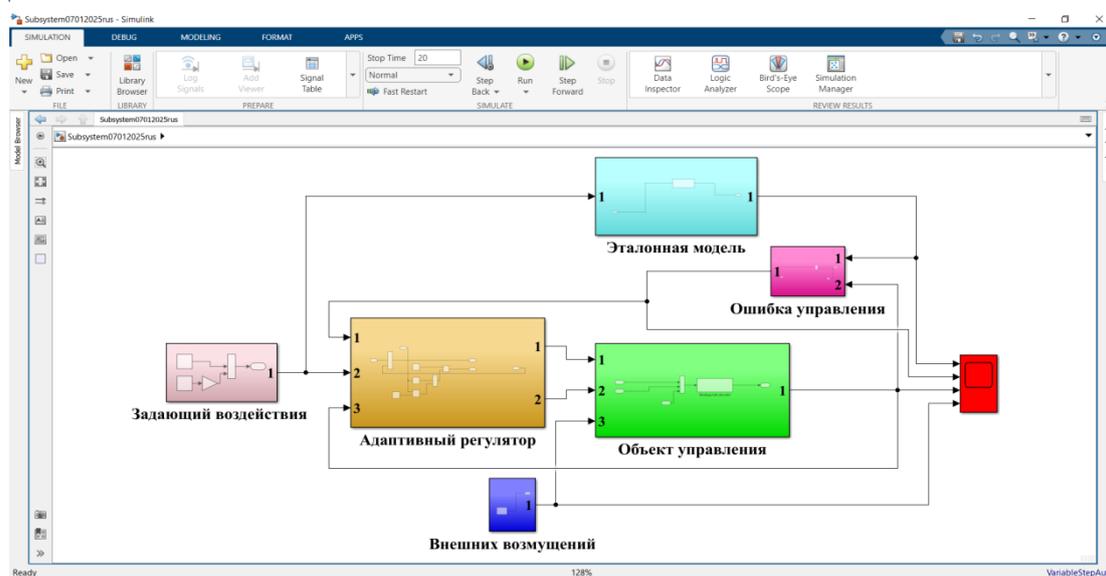


Рис.3. Структурная схема подсистемы управления в MATLAB/Simulink

Данная задача относится к классам задач слежения, $y(t)$ должна с заданной точностью отслеживать $y_m(t)$ выход эталонной модели (рис.3).

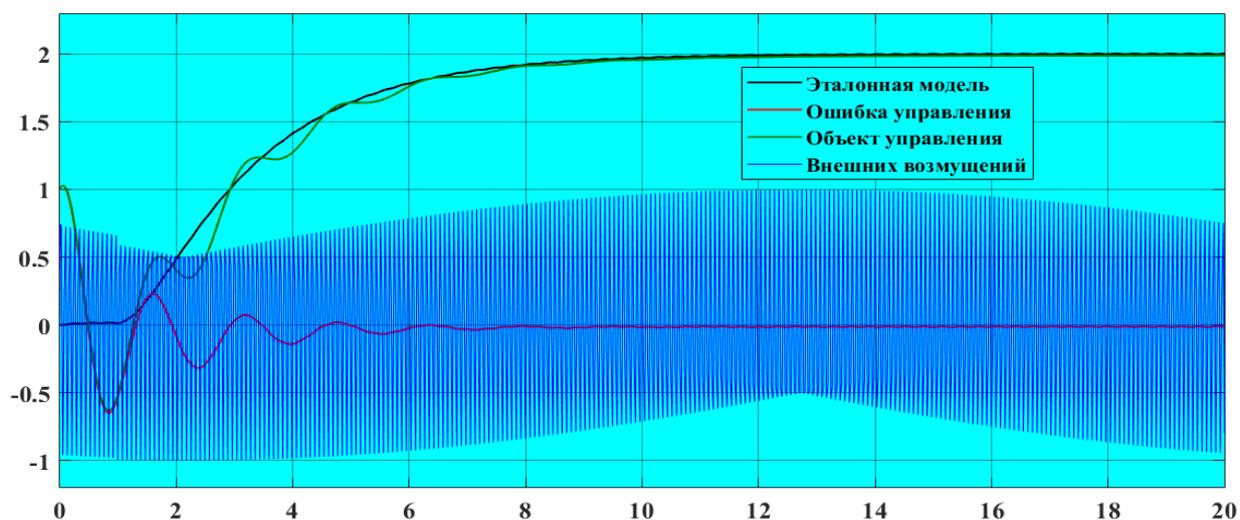


Рис.4. График слежения с $\xi(t)$.

Из рис.4 видно, что возмущающее воздействие $\xi(t)$ достаточно значимо по амплитуде.

На рис.5 приведены характеристики соответствующих выходов разработанной адаптивной системы управления и существующей системы управления на основе PID - регулятора.

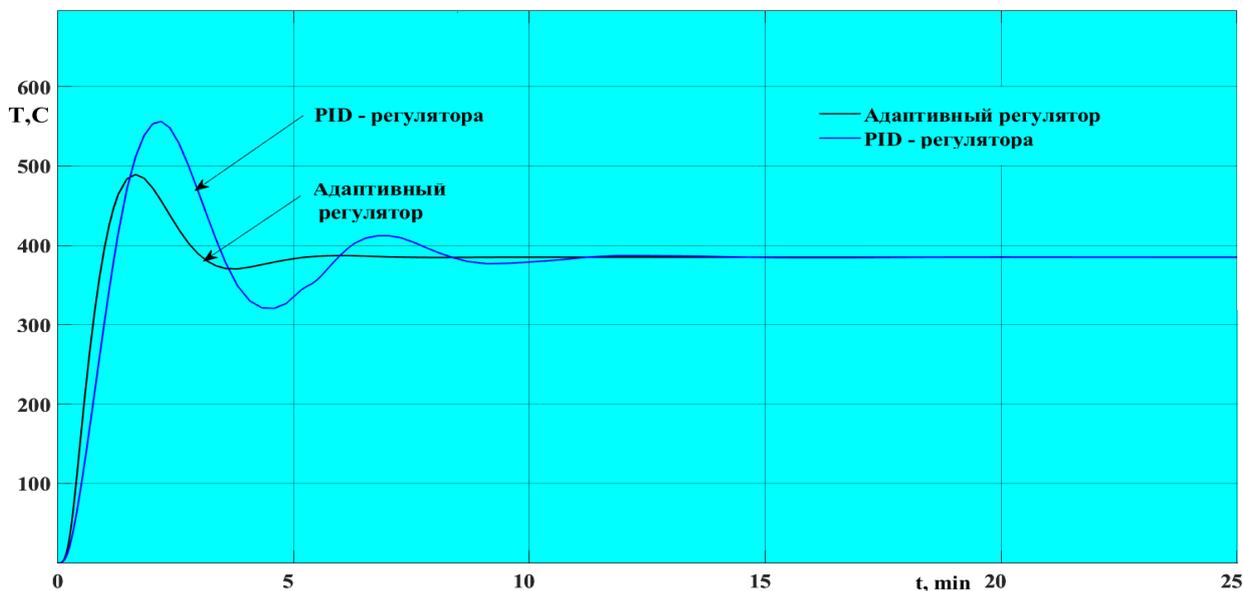


Рис.5. Переходные характеристики систем управления.

Установлено, что при температуре 385-390°C в контактном аппарате время переходного процесса в адаптивной системе управления на 6 мин. меньше времени регулирования в существующей системе управления. Удельный расход метанола снижается на 2÷3%, что дает экономию исходного сырья. Это означает, что адаптивная система управления имеет более широкие возможности, чем система управления с классическим PID – регулятором.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основе методов теории системного анализа, теории адаптивных систем управления, математического моделирования и обработки результатов экспериментов разработаны алгоритмы синтеза адаптивных систем управления на основе эталонных моделей в условиях параметрической неопределенности и при внешних возмущающих воздействиях.

В итоге исследований были достигнуты следующие научные результаты:

1. Разработаны алгоритмы синтеза адаптивной системы управления на основе эталонной модели в условиях неопределенности. Алгоритмы позволяют построить линейный регулятор, который стабилизирует динамические свойства объекта и обеспечивает соответствие выходных данных системы выходным данным эталонной модели.

2. Разработаны алгоритмы синтеза в условиях параметрической неопределенности, позволяющие повысить надежность и точность адаптивных систем управления с эталонной моделью.

3. Разработаны алгоритмы синтеза адаптивных систем квазиинвариантного управления с эталонными моделями на основе методов распознавания образов, позволяющие эффективно обрабатывать параметрические возмущения и обеспечивать желаемое качество управления в реальном времени.

4. Разработаны алгоритмы адаптируемости для линейных непрерывных систем управления с эталонной моделью, обеспечивающие достижение желаемого движения системы и способствующие повышению эффективности и гибкости управления при различных условиях функционирования системы.

5. Предложен алгоритм адаптивного управления с произвольной относительной степенью неопределенности параметров при наличии ограниченных возмущающих воздействий, обеспечивающий стабильность и эффективность системы управления при сложных помехо - сигнальных условиях.

6. На основе алгоритмов синтеза систем адаптивного управления с эталонной моделью в условиях наличия параметрических неопределенностей и внешних возмущений разработана система адаптивного управления технологическим процессом производства формалина. Установлено, что при температуре 385-390°C в контактном аппарате время переходного процесса в адаптивной системе управления на 6 мин. меньше времени регулирования в существующей системе управления. При этом удельный расход метанола снижается на 2-3%, что приводит к экономии исходного сырья.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.03/30.12.2019.T.03.02 ON THE
ADMISSION OF SCIENTIFIC DEGREES AT THE
TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

NAVOI STATE UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY

LATIPOV SHAHRIYOR BAXTIYOROVICH

**ALGORITHMS FOR SYNTHESIS OF ADAPTIVE CONTROL SYSTEMS
WITH A REFERENCE MODEL UNDER CONDITIONS OF
PARAMETRIC UNCERTAINTY AND THE PRESENCE OF EXTERNAL
DISTURBANCES**

05.01.08 - Automation and control of technological processes and manufactures

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

Tashkent – 2025

The theme of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under number №B2023.2.PhD/T3652.

The dissertation was completed at the Navoi State University of Mining and Technology.

The abstract of dissertation is posted in three languages (uzbek, russian, english (resume)) is placed on the web-page of Scientific Council (www.tdtu.uz) and Information and Educational Portal «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Scientific adviser: **Botirov Tulkin Vafokulovich**
Doctor of technical sciences, associate professor,

Official opponents: **Sevinov Jasur Usmonovich**
Doctor of technical sciences, Professor

Khusanov Suban Nurullaevich
PhD., associate professor

Leading organization: **Tashkent Institute of Chemical Technology**

Defense of dissertation will take place in «15» 03 2025 at 10⁰⁰ o'clock at a meeting of the scientific council DSc.03/30.12.2019.T.03.02 at the Tashkent state technical university (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (99871) 246-46-00; fax: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

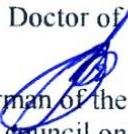
The doctoral dissertation could be reviewed at the Information-resource center of Tashkent state technical university (registration number 7). (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (99871) 207-14-70)

Abstract of the dissertation distributed «27» 02 2025 year.
(mailing report № 23 on «12» 01 2025 year).




N.R. Yusupbekov
Chairman of scientific council
on awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences, professor, academician
of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

U.F. Mamirov
Scientific secretary of scientific council,
on awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences, professor


H.Z. Igamberdiev
Chairman of the academic seminar under the
Scientific Council on awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences, professor, academician
of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

INTRODUCTION (abstract to PhD dissertation)

The aim of the research work development of algorithms for the synthesis of adaptive control systems with a reference model under conditions of parametric uncertainty and the presence of external disturbances.

The objects of the research work are adaptive control systems for dynamic objects with reference models.

The scientific novelty of the research work:

algorithms for synthesizing model reference adaptive control systems under conditions of parametric uncertainties have been developed, enabling improved reliability and accuracy.

algorithms for synthesizing model reference quasi-invariant linear adaptive control systems based on pattern recognition methods have been developed, allowing for effective processing of parametric disturbances and ensuring the required control quality in real-time.

adaptation algorithms for model reference linear continuous control systems have been developed, enhancing the flexibility and efficiency of systems operating under various conditions.

adaptive control algorithms have been synthesized to ensure the stability and efficiency of control systems under conditions of complex noisy signals, external bounded disturbances, and signal saturation, with arbitrary relative levels of parameter uncertainty.

Implementation of the research results: Based on the scientific research results obtained for synthesizing adaptive control systems for dynamic objects using direct approach criteria:

The developed software for synthesizing model reference adaptive control systems under conditions of parametric uncertainties and external disturbances was implemented at Navoiazot JSC (Certificate of UZKIMYOSANOAT JSC No. 23-3-1960, dated June 19, 2024). As a result, it enhanced the reliability and accuracy of the system's adaptation processes.

The software for synthesizing model reference quasi-invariant linear adaptive control systems based on the developed pattern recognition methods was implemented at Navoiazot JSC (Certificate of UZKIMYOSANOAT JSC No. 23-3-1960, dated June 19, 2024). This enabled ensuring the required control quality in real-time and effectively processing parametric disturbances.

Structure and volume of the dissertation: The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, the volume of the dissertation is 102 pages, as well as a list of references and applications.

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

I bo'lim (Часть I; Part I)

1. Yusupbekov N.R., Botirov T.V., Latipov Sh.B. Vazn funksiyalaridan foydalanish asosidagi etalon modeli adaptiv boshqarish algoritmlari // “Fan va texnologiyalar taraqqiyoti” ilmiy – texnikaviy jurnal. Buxoro, 2020, №2. – B.120-124. (05.00.00; №24)

2. Botirov T. V., Latipov S. B., Buranov B. M. Mathematical modelling of technological process in formalin production //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – Т. 2094. – №. 2. – С. 022052. (3, Scopus)

3. Igamberdiev X. Z., Botirov T. V., Latipov S. B. Formalization of the problems of synthesizing adaptive control systems with reference models // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2022. – Т. 2388. – №. 1. – С. 012051. (3, Scopus)

4. Botirov T.V., Latipov Sh. B. Uzluksiz texnologik jarayonlarini adaptiv boshqarish tizimlarini sintezlash algoritmlari va matemematik modellari // “Fan va texnologiyalar taraqqiyoti” Ilmiy - texnikaviy jurnal. Buxoro, 2022, №1. B. 104-108. (05.00.00; №24)

5. Botirov T., Latipov Sh., Khusanov Z. Adaptability analysis of linear continuous control systems with reference model //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Т. 417. – С. 05015. (3, Scopus)

6. Botirov T.V., Latipov Sh.B. Kvazi-invariant etalon modeli chiziqli adaptiv boshqarish tizimlari namunalarni tanish usullari orqali sintezlash // “Fan va texnologiyalar taraqqiyoti” Ilmiy - texnikaviy jurnal. Buxoro, 2023, №4 B.159-163. (05.00.00; №24)

7. Latipov Sh.B. Parametrik noaniqlik sharoitida etalon modeli adaptiv boshqaruv tizimi // Muhandislik sohasidagi ilg'or texnologiyalar. Navoiy, Vol.1(13), Yanvar - mart, 2024. DOI 10.24412/2181-1431-2024-1-37-42.

8. Botirov, T., Latipov, S., Baqoyev, H., Xashimova, F., Botirov, U. Algorithms for adaptive control with limited disturbance compensation // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – Т. 525. – С. 05023. (3, Scopus)

II bo'lim (Часть II; Part II)

9. Игамбердиев Х.З., Ботиров Т.В., Латипов Ш.Б., Арипов К.М. Задача синтеза адаптивных систем управления с эталонными моделями в условия внешних возмущения / Международная конференция Комплексное инновационное развитие Зарафшанского региона:Достижения, Проблемы и Перспективы. Навои. 27-28 октябрь, 2022.С. 171-175.

10. Ботиров Т.В., Латипов Ш.Б., Ражбов Х. Б. Синтез интервального самонастраивающегося регуляторов в адаптивных систем управления. / Международной научно-практической конференции, 25 январ, 2022. – Пенза: Россия – С. 58-59.

11. Latipov Sh. B., Akmalov S. A. Uzluksiz texnologik jarayonlarining matematik modellari / Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti. Iqtidorli talabalar va magistrantlarning respublika ilmiy-amaliy anjumani. Fan va texnika taraqqiyotida yoshlar, 8-noyabr, 2022. Navoiy: O‘zbekiston. 20-22. betlar.

12. Latipov Sh. B. Tashqi g‘alayonlar mavjudligi sharoitida etalon modeli boshqarish tizimlarini sintezlash algoritmlari // IQRO ilmiy jurnali. Toshkent. 2023 №1. 222–226-betlar.

13. Latipov Sh.B. Formalin ishlab chiqarish texnologik jarayonining matematik modelini ishlab chiqish / Zarafshon vohasini kompleks innovatsion rivojlantirish yutuqlari, muammolari va istiqbollari xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallari Navoi. 18-19 aprel, 2024. 99-100 betlar.

14. Latipov Sh. B. Obyektning dinamikasi va g‘alayonlarining kompensatsiyasiga asoslangan adaptiv boshqarish tizimini sintezlash algoritmlari //Models and methods in modern science International scientific-online conference. Fransiya. 8-may, 2024. №.7. – C. 22-26 betlar.

15. Latipov Sh. B., Odilov S. H. Noaniqlik sharoitida etalon modeli adaptiv tizimlarni sintezlash / Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti. Iqtidorli talabalar va magistrantlarning III respublika ilmiy-amaliy anjumani. Fan va texnika taraqqiyotida yoshlar, 10-oktyabr, 2024. Navoiy: O‘zbekiston. 532-533. betlar.

16. Latipov Sh. B., Xalilov A.J. Sterjenning yuqori tartibli ko‘p o‘zgaruvchili xususiy hosilali bir jinsli bo‘lmagan issiqlik tarqalish tenglamasining analitik va grafik yechimini Grin funksiyasi yordamida topish dasturi. EHM uchun yaratilgan dasturning ro‘yxatdan o‘tkazilayotgan to‘g‘risidagi guvohnoma. № DGU 23756, 31.03.2023y.

17. Latipov Sh. B. Berilgan sifat ko‘rsatkichlari asosida boshqarish algoritmgga mos etalon modelni tuzish. EHM uchun yaratilgan dasturning ro‘yxatdan o‘tkazilayotgan to‘g‘risidagi guvohnoma № DGU 28520, 27.10.2023y.

18. Latipov Sh. B. Etalon modeli kvazi-invariant chiziqli adaptiv boshqarish tizimlarini namunalarni tanish usuli orqali sintezlash uchun dastur. EHM uchun yaratilgan dasturning ro‘yxatdan o‘tkazilayotgan to‘g‘risidagi guvohnoma № DGU 34450, 04.03.2024 y.

19. Latipov Sh. B., Tog‘ayev F. Y. Formalin ishlab chiqarish jarayonida metanol sarfini o‘zgartirish hisobiga kontaktli aparatdagi haroratni roslash uchun dasturiy ta‘minot. EHM uchun yaratilgan dasturning ro‘yxatdan o‘tkazilayotgan to‘g‘risidagi guvohnoma № DGU 38545, 23.05.2024 y.

Avtoreferat “Technical science and innovation” 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: 2,5. Adadi 100 dona. Buyurtma № 8/25.

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