

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.03/30.12.2019.Т.03.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ХОЛХОДЖАЕВ БОХОДИР АСАТУЛЛАЕВИЧ

**ТЕХНОЛОГИК ОБЪЕКТЛАРНИ БОШҚАРИШ СИСТЕМАЛАРИДА
НОАНИҚ КИРИШ ТАЪСИРЛАРИНИ ТУРГУН ТИКЛАШ
АЛГОРИТМЛАРИ**

**05.01.08 - Технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни
автоматлаштириш ва бошқариш**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2021

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Холходжаев Боходир Асатуллаевич

Технологик объектларни бошқариш системаларида ноаниқ кириш таъсирларини турғун тиклаш алгоритмлари3

Холходжаев Боходир Асатуллаевич

Алгоритмы устойчивого восстановления неопределенных входных воздействий в системах управления технологическими объектами21

Kholkhodjaev Bokhodir Asatullayevich

Algorithms for sustainable recovery of uncertain input impacts in control systems of technological objects39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works43

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМий ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.03/30.12.2019.Т.03.02 РАҚАМЛИ ИЛМий КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ХОЛХОДЖАЕВ БОХОДИР АСАТУЛЛАЕВИЧ

**ТЕХНОЛОГИК ОБЪЕКТЛАРНИ БОШҚАРИШ СИСТЕМАЛАРИДА
НОАНИҚ КИРИШ ТАЪСИРЛАРИНИ ТУРГУН ТИКЛАШ
АЛГОРИТМЛАРИ**

**05.01.08 - Технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни
автоматлаштириш ва бошқариш**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2021

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси хузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2017.2.PhD/T197 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент давлат техника университетидида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасида (www.tdtu.uz) ҳамда «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида (www.ziyo.net) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Игамбердиев Хусан Закирович
техника фанлари доктори, профессор, академик

Расмий оппонентлар:

Исмаилов Мирхалил Агзамович
техника фанлари доктори, профессор

Искандаров Зоҳид Эргашбасович
техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)

Етакчи ташкилот:

Навоий давлат қончилик институти

Диссертация химояси Тошкент давлат техника университети хузуридаги DSc.03/30.12.2019.T.03.02 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил «24» 11 соат 12⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин ~~027~~ рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (99871) 207-14-70.

Диссертация автореферати 2021 йил «12» 11 кунни тарқатилди.
(2021 йил «03» 11 даги 17 рақамли реестр баённомаси).



Н.Р.Юсупбеков

Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш раиси,
ф.д., профессор, академик

У.Мамиров

Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий котиби,
техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD), доцент

Севянов Ж.У.

Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раис ўринбосари,
т.ф.д., доцент

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда сўнги вақтларда технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни автоматлаштириш соҳасида юқори аниқликдаги бошқариш тизимларини ишлаб чиқиш ва такомиллаштиришга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Бу борада, технологик объектнинг ташқи таъсирлари ва параметрлари ҳақидаги априор ахборотнинг етарли эмаслиги, жорий ноаниқлик ва назорат қилинмайдиган ғалаёнларнинг мавжудлигида адаптив бошқариш тизимини синтезлаш масалаларини ҳал қилиш муҳим аҳамият касб этади. Шу жиҳатдан, ривожланган мамлакатларда назорат қилинмайдиган таъсирларни тиклаш процедуралари орқали адаптив бошқариш тизимини такомиллаштиришнинг усуллари ва алгоритмлари ишлаб чиқишга катта аҳамият берилмоқда.

Жаҳонда бошқариш объектларини назорат қилинмайдиган ўзгарувчан ташқи ва ички ғалаёнлари таъсири остида ишлайдиган юқори сифатли бошқариш системаларини яратиш бўйича кенг қамровли илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Технологик объектларни самарали бошқаришда номаълум ташқи ғалаён комбинацияланган бошқариш ёрдамида уларни тескари алоқа бўйича компенсациялаш масаласини вужудга келтиради. Шу жиҳатдан, ҳозирги вақтда сигналли адаптация концепцияларини амалга оширадиган адаптив бошқариш системаларини синтезлаш усуллари ва алгоритмларини такомиллаштиришга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Ҳозирги вақтда республикамызда автоматлаштириш ва бошқариш йўналишига, хусусан, турли технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни автоматлаштириш ва бошқаришда энергия ва ресурс тежамкорликни таъминловчи, такомиллашган бошқариш системаларини яратишга катта эътибор қаратилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «...иқтисодиётнинг энергия ва ресурс сарфини қисқартириш, ишлаб чиқаришга энергиятежамкор технологияларни жорий этиш, иқтисодиёт тармоқларидаги меҳнат унумдорлигини ошириш»¹ вазифалари белгилаб берилган. Шу нуқтаи-назардан динамик объектларни бошқариш системаларида номаълум кириш таъсирларини тиклашнинг самарали алгоритмларини яратиш жуда долзарб масала ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони ва 2017 йил 27 июлдаги ПҚ-3151-сон «Олий маълумотли мутахассислар тайёрлаш сифатини оширишда иқтисодиёт соҳалари ва тармоқлари иштирокини янада кенгайтириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги, 2018 йил 27 апрелдаги ПҚ-3682-сон «Инновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳаларни амалий жорий қилиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

¹ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг IV. «Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Технологик объектларни бошқариш системаларидаги номаълум кириш таъсирларини турғун тиклаш алгоритмларини ишлаб чиқиш бўйича ўтказилган тадқиқотларга тегишли бўлган, сўнгги йиллардаги илмий-техник адабиётлар таҳлили ушбу соҳада аҳамиятли даражадаги назарий ва амалий натижаларга эришилганлигидан дарак беради. Технологик объектларни бошқариш системаларидаги назорат қилинмайдиган кириш таъсирларини турғун тиклаш алгоритмлари муаммоларига бағишланган кўп сондаги ишлар нашр этилган, умумназарий мезонлар ишлаб чиқилган, ечилган амалий масалалар сони ортиб бормоқда. Ноаниқ таъсирларни тиклаш алгоритмларини куриш усулларининг ривожига кўплаб хорижлик олимлар, жумладан А.Jiang², С.А.Аникин³, А.А.Бобцов⁴, С.К.Коровин⁵, С.А.Краснова⁶, Б.Г.Майоров⁷, В.О.Никифоров⁸, Н.В.Прытков⁹, А.А.Пыркин⁴, В.А.Уткин⁶ ва бошқалар, ҳамда мамлакатимиз олимлари, жумладан Б.М.Азимов, Т.Ф.Бекмуратов, Ш.М.Гулямов, О.О.Зарипов¹⁰, Х.З.Игамбердиев¹⁰, А.Р.Марахимов¹¹, И.Х.Сиддиков¹¹, Н.Р.Юсупбеков¹² ва бошқалар ўзларининг улкан ҳиссаларини қўшишган.

Бироқ илмий-тадқиқот объектлари доирасининг кенгайиши ва доимий мураккаблашуви турли хил ҳалақит ва сигналли шароитларида номаълум кириш таъсирларини турғун тиклашнинг янги самарали усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқишни талаб этади. Шунингдек, матрицаларнинг сингуляр ёйилиш процедураси қолдиқни баҳолашнинг энг кичик усули асосида кириш таъсирларини турғун тиклаш алгоритмлари ҳам ўз ривожини талаб этмоқда.

Бундан ташқари псевдомурожаат ва вариацион тенгсизликлар, динамик филтрлаш усуллари концепциялари асосида тиклашнинг турғун

² Jiang A., Bimbo J., Goulder S., Liu H., Song X., Dasgupta P., Althoefer R., Nanayakkara Th. Adaptive Grip Control on an Uncertain Objects // 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, October 7-12, 2012, Vilamoura, Algarve, Portugal. –pp. 1161-1166.

³ Ананьев Б.И., Аникин С.А. Задача восстановления входных воздействий при коммуникационных ограничениях // Автомат и телемех., 2009. выпуск 7, –С. 73-84.

⁴ Бобцов А.А., Пыркин А.А. Адаптивное и робастное управление с компенсацией неопределенностей. Учебное пособие. – СПб.: НИУ ИТМО, 2013. –135 с.

⁵ Коровин С.К. Наблюдатели состояния для линейных систем с неопределенностью. Монография. –М.: Физматлит, 2007. –224 с.

⁶ Краснова С.А., Уткин В.А. Каскадный синтез наблюдателей состояния динамических систем. Ин-т проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН. –М.: Наука, 2006. – 272 с.

⁷ Майоров Б.Г. Восстановление сигнала в системах реального времени по равномерным выборкам с уменьшением интервала Найквиста // Системы и средства информатики, 2019. Т. 29. № 2. –С. 95-112.

⁸ Никифоров В.О. Адаптивное и робастное управление с компенсацией возмущений. - СПб.: Наука, 2003. - 281 с.

⁹ Прытков Н.В., Пережогин А.Л. Алгоритмы восстановления дискретных динамических систем с пороговыми функциями // Труды СПИИРАН. 2016 г. Вып. 6(49). –С. 66-70.

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

¹¹ Марахимов А.Р., Игамбердиев Х.З., Юсупбеков А.Н., Сидиков И.Х. Нечетко множественные модели и интеллектуальное управление технологическими процессами. –Т.: ТашГТУ, 2014. –240 с.

¹² Юсупбеков Н.Р., Нурмухамедов Ҳ.С., Зокиров С.Г. Кимёвий технология асосий жараён ва қурилмалари. –Т.: «Фан ва технология», 2015, 848 б.

алгоритмларини ишлаб чиқиш мақсадга мувофиқдир. Юқорида келтириб ўтилганлардан ноаниқ кириш таъсирларини тиклашнинг самарали алгоритмларини келгусида янада такомиллаштириш зарурияти келиб чиқади.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университети илмий-тадқиқот ишлари режаларининг № ЁФ-4-06 – «Созланувчи модели адаптив бошқариш системаларини синтезлашнинг мунтазам усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш» (2012-2013), №А-5-42 – «Априор ноаниқлик шароитида технологик объектларни автоматлаштирилган мониторинги ва бошқаришни интеллектуаллаштиришнинг дастурий инструментал воситаси» (2015-2017), №ОТ-Ф4-78 – «Идентификацион ёндашув асосида динамик объектларни адаптив бошқариш системалари синтезининг назарий асослари ва мунтазам усуллари ишлаб чиқиш» (2017-2020) мавзуларидаги лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади технологик объектларни бошқариш системаларидаги ноаниқ кириш таъсирларини турғун тиклаш алгоритмлари ва ҳисоблаш схемаларини ишлаб чиқиш ҳамда уларни амалий қўллашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

динамик объектларни бошқариш системаларида ноаниқ кириш сигналларини тиклаш назарияси ва усуллари ривожини тизимли таҳлил қилиш;

қолдиқни энг кичик баҳолаш усули ва матрицаларни сингуляр ёйиш процедураси асосида динамик бошқариш системаларида кириш сигналларини турғун тиклаш алгоритмларини ишлаб чиқиш;

псевдомурожаат ва вариацион тенгсизликлар концепциялари асосида кириш таъсирларини турғун тиклаш алгоритмларини ишлаб чиқиш;

динамик филтрлаш усуллари асосида кириш таъсирлари турғун тиклаш алгоритмларини ишлаб чиқиш;

коррелирланган объект шовқини шароитида динамик системаларнинг назорат қилинмайдиган кириш таъсирларини тиклаш алгоритмларини ишлаб чиқиш;

ноаниқлик шароитларида динамик системалардаги кириш таъсирларини тиклаш алгоритмларини ишлаб чиқиш;

ишлаб чиқилган ноаниқ сигналларни тиклаш алгоритмларини технологик объектларни бошқариш масалаларида қўллаш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида ноаниқ кириш таъсирлари шароитида технологик объектларни бошқариш системалари олинган.

Тадқиқотнинг предмети технологик объектларни бошқариш системаларида номаълум кириш таъсирларини турғун тиклаш усуллари ва алгоритмларидан иборат.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида тизимли таҳлил, идентификациялаш, баҳолаш, таъсирларни кузатиш қурилмаларини синтез қилиш, адаптив бошқариш ва ноқоррект қўйилган масалаларни ечиш усулларида фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

кириш маълумотларининг аниқлиги бўйича эквивалент синфдаги сигналларни тиклашнинг мунтазамлаштирилган алгоритмларини шакллантириш имконини бериши билан маълумларидан фарқ қилувчи қолдиқни энг кичик баҳолаш усули асосида номаълум сигналларни баҳолашнинг турғун алгоритмларини шакллантириш ва қуриш алгоритмлари ишлаб чиқилган;

қидирилаётган ечимларнинг яқинлашишига имкон берувчи маълумларидан фарқ қилиши билан ажралиб турувчи вариацион тенгсизликлар асосида динамик системаларнинг кириш таъсирларини турғун тиклаш алгоритмлари ишлаб чиқилган;

стохастик объектлар ҳолатини баҳолашда матрицани ағдартиш процедурасини барқарорлаштириш имкони берувчи динамик филтрлаш усуллари асосида бошқарилувчи тизимларда номаълум кириш таъсирларини турғун тиклаш алгоритмлари ишлаб чиқилган;

ғалаёнлар мавжудлигида кириш таъсирларини топиш аниқлигини ошириш имконини берувчи рекуррент типдаги бевосита сонли таҳлил усуллари ёрдамида ноаниқлик шароитида кириш таъсирларини тиклаш алгоритмлари ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

нормал иш шароитида саноат тажрибаси натижалари асосида қозон қурилмасининг математик тавсифи ишлаб чиқилган ва ғалаёнли таъсирларни шакллантириш амалга оширилган;

“ҳаво сарфи – аэроаралашма ҳарорати” канали орқали қозон қурилмасининг параметрларини автоматлаштириш ва адаптив бошқаришнинг структуравий ва функционал схемалари ишлаб чиқилган;

жараёнларнинг технологик режимларини барқарорлаштириш ва унинг самарадорлигини ошириш имконини берувчи тегишли техник таъминот билан “ҳаво сарфи – аэроаралашма ҳарорати” канали орқали қозон қурилма-сининг параметрларини бошқаришнинг адаптив системаси таклиф этилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончилиги услубий жиҳатдан асосланган назарий ҳисоб-китобларни амалга оширилиши, ҳолатни адаптив баҳолашнинг назарий асосланган концепцияларини қўлланилиши, замонавий автоматик бошқариш назариясининг синовдан ўтган усул ва алгоритмларини ишлатилиши, адаптив бошқаришнинг таклиф этилган усул ва алгоритмларини талаб даражасида яқинлиги, назарий ва амалий тадқиқот натижалари ва уларнинг ўзаро мувофиқлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти технологик объектларни бошқариш системаларидаги ноаниқ кириш таъсирларини турғун тиклашнинг конструктив алгоритмларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти псевдомурожаат ва вариацион тенгсизликлар концепцияси, динамик филтрлаш усуллари, қолдиқни энг кичик баҳолаш усули ва матрицаларни сингуляр ёйиш

процедуралари асосида динамик бошқариш системаларидаги кириш сигналларини турғун тиклашни математик ва алгоритмик таъминотини ишлаб чиқиш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Технологик объектларни бошқариш системаларидаги ноаниқ кириш таъсирларини турғун тиклаш якунида олинган натижалар асосида:

қолдикни энг кичик баҳолаш усули асосида ноаниқ сигналларни турғун баҳолаш алгоритмларини шакллантириш ва қуриш алгоритмлари «Навоий ИЭС» АЖда жорий қилинган («Иссиқлик электр станциялари» АЖнинг 2020 йил 29 декабрдаги 02-20/3360-сон маълумотномаси). Натижада, “ҳаво сарфи – аэроаралашма ҳарорати” канали орқали қозон қурилмасининг кириш маълумотлари аниқлиги бўйича эквивалент синфида сигналларни тиклашни мунтазамлаштирилган алгоритмларини шакллантириш имконини берган;

мунтазамлаштиришнинг операторли усули ёрдамида вариацион тенгсизликлар асосида динамик системаларнинг кириш таъсирларини турғун тиклаш алгоритмлари «Навоий ИЭС» АЖда жорий қилинган («Иссиқлик электр станциялари» АЖнинг 2020 йил 29 декабрдаги 02-20/3360-сон маълумотномаси). Натижада, алгоритмлар қидирилаётган ечимларнинг яқинлашишини таъминлашга ва ростлагич параметрларини ҳисоблаш аниқлигини ошириш имконини берган;

динамик филтрлаш усуллари асосида бошқариш тизимларида номаълум кириш сигналларини турғун тиклаш алгоритмлари «Навоий ИЭС» АЖда жорий қилинган («Иссиқлик электр станциялари» АЖнинг 2020 йил 29 декабрдаги 02-20/3360-сон маълумотномаси). Натижада, алгоритмлар объект параметрлари бузилганда ҳолат векторининг рост баҳосини топиш аниқлигини ошириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Ушбу тадқиқот натижалари 5 та халқаро ва 1 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокама қилинган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 14 та илмий иш, шулардан 6 таси – Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссияси тавсия этган илмий нашрлардаги мақолалар, жумладан, 2 таси хорижий журналларда нашр этилган. Шунингдек, ЭҲМлар учун дастурий маҳсулотларга Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигидан рўйхатдан ўтган 2 та гувоҳнома олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 111 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари, объект ва предмети тавсифланган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги асосланган, тадқиқотнинг

илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, тадқиқот натижаларини апробацияси, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Технологик объектларни бошқариш системаларидаги номаълум кириш таъсирларни турғун тиклаш масала ва алгоритмлари**» деб номланган биринчи бобида технологик жараёнлар ва таъсирларни кузатиш қурилмаларининг хусусиятлари, динамик объектларни бошқариш системаларидаги кириш таъсирларни тиклаш алгоритмлари, тадқиқот мақсади ва вазифаларининг қўйилиши келтирилган.

Ҳозирги кунда динамик бошқариш тизимларида номаълум сигналларни тиклаш алгоритмларини яратиш саволларига кўпроқ эътибор берилмоқда.

Кўриб чиқиладиган масаланинг аҳамиятига қарамай, ҳозирги вақтда априор ноаниқлик шароитларида сигналли мослашув билан адаптив системаларни синтез қилиш ва номаълум кириш таъсирларини тиклаш бўйича ягона илмий асосланган методология ҳали тўлиқ ишлаб чиқилмаган. Буни шу билан изоҳлаш мумкинки, адаптив инвариант системалар синтезининг кўпгина масалалари ёмон шартланган бўлиб, бунда кўп ҳолларда бошланғич маълумотларнинг ўзгаришларига нисбатан изланаётган ечимларнинг турғунлик шартлари талабларга жавоб бермайди. Бунда адаптив инвариант системаларни қуришда мунтазам баҳолаш усуллари ва алгоритмларидан фойдаланиш зарурати келиб чиқади. Бироқ, умумий оператор тенгламаларидан аниқ конструктив усулларга ўтиш кўпинча аҳамияtsiz бўлиб, муҳим назарий ва амалий қизиқиш уйғотади. Шу муносабат билан, ноаниқ ғалаёнлар шароитида сигналли мослаштириш билан адаптив системаларни лойиҳалаш концепциясига асосланган бошқариш системаларини қуриш йўли ва технологик жараёнларни бошқариш системаларида объектнинг иш шароитини ва объект ҳақида тўлиқ априор билимларни талаб қилмайдиган назорат қилинмайдиган қирувчи таъсирларни турғун тиклашнинг самарали алгоритмларини ишлаб чиқиш ҳамда унинг ишлаш шароити ғоят жозибадор ҳисобланади.

Юқорида баён қилинган хулосалар, технологик объектларни бошқариш системаларида ноаниқ кириш таъсирларини турғун тиклаш алгоритмларини ишлаб чиқиш ва уларни саноат ишлаб чиқаришининг технологик жараёнларини автоматлаштириш ва бошқариш масаларини ҳал қилишда амалий қўллаш зарурлигини кўрсатади.

Диссертациянинг «**Оператор тенгламалари асосида номаълум кириш таъсирларини турғун тиклаш алгоритмларини ишлаб чиқиш**» деб номланган иккинчи боби сингуляр ёйиш усуллари асосида динамик системалардаги кириш сигналларини тиклаш, номаълум сигналларни енг кам қолдиқли баҳолаш, псевдомурожаат концепциялари ва вариацион тенгсизликлар усуллари асосида баҳолашнинг турғун алгоритмларини шакллантириш ва қуришга бағишланган.

Қуйидаги кўринишдаги динамик системани кўриб чиқамиз:

$$x_{k+1} = A_k x_k + B_k w_k, \quad x(k_0) = x^0, \quad (1)$$

$$y_k = C_k x_k + D_k w_k, \quad (2)$$

бу ерда: $x = x_k$ – ҳолат вектори; $w_k \in L_2^p$ – кировчи ўлчанмайдиган таъсир; $y_k \in L_2^m$ – система чиқиши. (1) ва (2) тенгламалар ҳар бири $\theta = (x_0, w) \in \Theta$ жуфтликда, яъни системанинг киришига ундан чиқишдаги мос келувчи $y \in Y$ функцияни қўйиб, $F: \Theta \rightarrow Y$ чизикли операторни аниқлайди. Θ^* орқали $\theta \in \Theta$ каби шундай барча киришларнинг бўш бўлмаган тўпламини белгилаб, қуйидагини оламиз:

$$F\theta = y^*. \quad (3)$$

Умумий ҳолатда (3) система ёмон шартланган ва биргаликда эмас. Шунинг учун, псевдоечимни турғун куриш мақсадида мунтазамлаштириш усулидан фойдаланамиз.

$\|F_h - F_0\| \leq h$, $\|y_\delta^* - y_0^*\| \leq \delta$ тенгсизликларни каноатлантирувчи тахминий $p_\eta = (F_h, y_\delta^*) \in W$ кириш маълумотлари ва $\eta = (h, \delta)$, $h \geq 0, \delta \geq 0$ сонлар жуфтлиги берилган бўлсин.

Кириш маълумотларининг аниқлиги бўйича эквивалентли синфларни кўриб чиқамиз:

$$\Sigma_\eta = \{p = (F, y^*) \in W : \|F - F_h\| \leq h, \|y^* - y_\delta^*\| \leq \delta\}. \quad (4)$$

(4) ифодадан қуйидаги катталиқ

$$p_\eta(F_h, y_\delta^*) = \sup_{p \in \Sigma_\eta} \inf_{\theta \in D} \|F\theta - y^*\|. \quad (5)$$

кирувчи маълумотларининг аниқлиги бўйича эквивалентлар синфида яхшиланмаганлиги келиб чиқади.

Одатда $p_\eta(F_h, y_\delta^*)$ ўрнига қуйидаги масала кўриб чиқилади:

$$\tilde{p}_\eta(F_h, y_\delta^*) = \inf_{\theta \in D} \sup_{\chi \in \Sigma_\eta} \|F\theta - y^*\|.$$

Натижада қуйидаги тенгсизлик келиб чиқади:

$$p_\eta(F_h, y_\delta^*) \leq \tilde{p}_\eta(F_h, y_\delta^*), \quad \Phi_\eta[z] = \sup_{p \in \Sigma_\eta} \|F\theta - y^*\|, \quad \theta \in D.$$

Шундай қилиб

$$\tilde{p}_\eta(F_h, y_\delta^*) = \inf_{\theta \in D} (\|F_h\theta - y_\delta^*\| + h\|\theta\| + \delta) = \inf_{\theta \in D} \Phi_\eta[\theta]. \quad (6)$$

Барча Z фазосида $\Phi_\eta[\theta]$ функционални минималлаштириш алгоритмини кўриб чиқамиз. $D=Z$ да (6) масала Тихонов функционалини минималлаштириш масаласи $M_\alpha[\theta] = \|F_h\theta - y_0^*\|^q + \alpha\|\theta\|^r$, $q \geq 1, r > 1$, га эквивалентдир. «Хатоликнинг энг кичик баҳоси усули»дан $\alpha \geq 0$ мунтазамлаштириш параметрини танлаймиз:

$$\psi(\alpha) = \|A_h\theta_\alpha - y_0^*\| + h\|\theta_\alpha\| \rightarrow \min, \quad \theta_\alpha = \arg \min_{\theta \in Z} M_\alpha[\theta]. \quad (7)$$

$\psi(\alpha)$ функция ягона α_0 нуқтада $[0, +\infty)$ минимумга эришади ва $\theta_{\alpha_0} = \theta_\eta$. Агар $h\|y_\delta^*\| \geq \|F_h^T y_\delta^*\|$, бўлса, у ҳолда $\theta_\eta = 0$; акс ҳолда (7) шартдан $\alpha \geq 0$ мунтазамлаштириш параметрини танлаб ушбу тенгламани ечамиз:

$$(F_h^T F_h + \alpha I)\theta = F_h^T y_\delta^*, \quad (8)$$

бунда $\psi(\alpha)$ функция $\alpha > 0$ учун узлуксиз дифференциаллангандир, $[0, +\infty)$ да ҳам глобал минимумга ва $\theta_{\alpha_0} = \theta_\eta$ векторга эга бўлган α_0 локал минимумнинг ягона нуқтасига эга бўлади. Агар $\alpha_0 \neq 0$, бўлса, у ҳолда α_0 – тенгламанинг ягона ечими $\alpha \|\theta_\alpha\| = h \|F_h \theta_\alpha - y_\delta^*\|$; агар $\alpha_0 = 0$ бўлса, у ҳолда ҳар қандай $\alpha > 0$ учун қуйидаги тенгсизлик ҳақиқийдир: $\alpha \|\theta_\alpha\| - h \|F_h \theta_\alpha - y_\delta^*\| > 0$.

Бунда, агар $F_h \theta_\eta \neq y_\delta^*$ ва $\theta_\eta \neq 0$ бўлса, у ҳолда θ_η вектор қуйидаги тенгламанинг ечими ҳисобланади

$$\frac{F_h^T F_h \theta - F_h^T y_\delta^*}{\|F_h \theta - y_\delta^*\|} + h \frac{\theta}{\|\theta\|} = 0$$

ва ушбу тенгламанинг исталган ечими $\Phi_\eta[\theta]$ функционални минималлаштиради.

Келтирилган ифодалар кириш маълумотлари аниқлиги бўйича эквивалентлар синфида яхшиланмаган баҳо ёрдамида бошланғич оператор тенгламаларининг мос бўлмаган ўлчамларини тахминий ахборотлар бўйича бошқариш системаларида номаълум кириш сигналларини тиклашни мунтазамлаштирувчи алгоритмларни шакллантиришга имкон беради.

(3) даги F оператор барча $\delta \geq 0$ да қуйидаги хусусиятга эга бўлади деб фараз қиламиз:

$$\|F\theta - y_\delta^*\| \leq c_1 (\|\theta - \theta^0\| + 1), \quad \forall \theta \in T, \quad (10)$$

бу ерда: $c_1 > 0$ – айрим ўзгармаслар, θ^0 – H дан белгиланган нуқта.

θ нинг ечимини ҳисоблаш учун мунтазамлаштиришнинг оператор усулидан фойдаланамиз:

$$(F\theta + \alpha(\theta - \theta^0) - y_\delta^*, z - \theta) \geq 0, \quad \forall z \in K_\sigma, \quad \theta \in K_\sigma, \quad (11)$$

бу ерда $\alpha > 0$.

θ_γ – (11) нинг ягона ечими бўлсин; бу ерда $\gamma = (\delta, \sigma, \alpha)$. Демак, шундай $F\theta_\gamma$ элемент топилсинки, қуйидаги муносабат ҳақиқий бўлсин

$$(F\theta_\gamma + \alpha(\theta_\gamma - \theta^0) - y_\delta^*, z - \theta_\gamma) \geq 0, \quad \forall z \in K_\sigma. \quad (12)$$

У ҳолда, (10) ва (12) асосида қуйидагича ёзиш мумкин

$$\alpha(\theta_\gamma - \theta^0, \theta_\gamma - \nu_\gamma) \leq (F\theta - y_\delta^*, u_\gamma - \theta_\gamma) + (F\theta_\gamma - y_\delta^*, \nu_\gamma - \theta) + \delta \|\theta - \theta_\gamma\|, \quad (13)$$

бу ерда $\theta \in N$ ва барча $z \in K$, $u_\gamma \in K$, $\nu_\gamma \in K_\sigma$ да $(F\theta - y_\delta^*, z - \theta) \geq 0$ тенгсизлик бажарилади, шу билан бирга $\|\theta_\gamma - u_\gamma\| \leq \sigma$, $\|\theta - \nu_\gamma\| \leq \sigma$.

Кейин, (10) ва (13) дан

$$\|\theta_\gamma - \theta^0\| \leq \delta / \alpha + c_1 \sigma / \alpha + 2 \|\theta - \theta^0\| + 2 + \sigma \quad (14)$$

га бўламиз.

Агар кўриб чиқилаётган шартда $\alpha \rightarrow 0$ да δ / α , $\sigma / \alpha \rightarrow 0$ бўлса, у ҳолда $\{\theta_\gamma\}$ кетма-кетлик $\alpha \rightarrow 0$ да

$$\|\theta^* - \theta^0\| = \min_{\theta \in N} \|\theta - \theta^0\|$$

тенглик билан аниқланувчи $\theta^* \in N$ элемент N га кучли яқинлашишини кўрсатиш мумкин.

Олинган ифодалар мунтазамлаштиришнинг оператор усулидан фойдаланиб, вариацион тенгликсизликлар асосида изланаётган ечимлар ўхшашлигини таъминлашга имкон беради.

Бобда, шунингдек, матрица псевдотескарисини сингуляр ёйиш усуллари ва тушунчалари асосида динамик тизимларда кириш сигналларини тиклаш алгоритмларини синтезлаш саволлари кўрилган. Мунтазамлаш усулининг ҳисоблаш схемалари уларни амалда бажаришда самарали эканлиги кўрсатилган.

Диссертациянинг «Динамик филтрлаш усуллари асосида ноаниқ кириш таъсирларини турғун тиклаш алгоритмларини ишлаб чиқиш» деб номланган учинчи бобида объект шовқинлари корреляцияланган шароитларда динамик системалардаги номаълум кириш таъсирларини тиклаш, ноаниқлик шароитларида кириш таъсирларни турғун тиклаш алгоритмлари, динамик системаларда инвариант бошқариш тизимларини синтезлаш масалаларида кириш таъсирларини баҳолаш алгоритмларини қўлланилиш натижалари келтирилган.

Динамик филтрлаш концепцияларини (3) тенгламани ечиш учун қўллаемиз. (3) тенгламани динамик қилиш учун уни қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$\theta_{k+1} = \theta_k + w_k, \quad \theta(0) = \theta_0, \quad y_{k+1}^* = F_{k+1}\theta_{k+1} + v_{k+1} \quad (k = 0, 1, \dots),$$

бу ерда: θ_k – системанинг ҳолат вектори; y_k^* – ўлчаш вектори; w_k ва v_k – Q_k , R_k интенсивлик ва нолли математик кутилмали оқ гаусс шовқинлари; θ_0 – маълум характеристика $M(\theta_0)$, $M(\theta_0\theta_0^T) = P_0$ ли гаусс тасодифий векторлари.

w_k ва v_k функциялар θ_0 билан эмас, балки $M[w_k v_j^T] = S_k \delta_{kj}$, $S_k \neq 0$ билан корреляцияланган деб фараз қиламиз, бу ерда δ_{kj} - Кронекер сони.

Шартли математик кутилмалар хусусияти асосида қуйидагини оламиз:

$$\hat{\theta}_{k+1|k} = \hat{\theta}_{k|k} + M[w_k | y_k], \quad (15)$$

бундан

$$M[w_k | y_k] = W_k [y_k^* - F_k \hat{\theta}_{k|k-1}], \quad (17)$$

бу ерда $W_k = S_k [F_k P_{k|k-1} F_k^T + R_k]^{-1}$.

(17) ни (15) га қўйиб қуйидагини топамиз $\hat{\theta}_{k+1|k} = \hat{\theta}_{k|k} + W_k [y_k^* - F_k \hat{\theta}_{k|k-1}]$.

Динамик филтрлаш усули асосида $\hat{\theta}_{k+1|k+1}$ ни $\hat{\theta}_{k+1|k}$ орқали ифодалаймиз:

$$\begin{aligned} \hat{\theta}_{k+1|k+1} &= \hat{\theta}_{k+1|k} + K_{k+1} \tilde{y}_{k+1|k}^*, \\ K_{k+1} &= P_{k+1|k} F_{k+1}^T G_\alpha (P_{k+1}), \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} G_\alpha (P_{k+1}) &= [P_{k+1} + \alpha I]^{-1}, \\ P_{k+1} &= F_{k+1} P_{k+1|k} F_{k+1}^T + R_{k+1}, \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned}\tilde{y}_{k+1|k}^* &= F_{k+1}\tilde{\theta}_{k+1|k} + v_{k+1}, & \tilde{\theta}_{k+1|k} &= \theta_{k+1} - \hat{\theta}_{k+1|k}, \\ y_{k+1}^* - F_{k+1}\hat{\theta}_{k+1|k} &= [F_{k+1}P_{k+1|k}F_{k+1}^TR_{k+1}^{-1} + I][y_{k+1}^* - F_{k+1}\hat{\theta}_{k+1|k+1}],\end{aligned}$$

бу ерда: $G_\alpha(P_{k+1})$ – мунтазамлаштириш усули учун айниган функция системаси; α – мунтазамлаштириш параметри.

(19) ифодадаги P_{k+1} матрица (18) да фойдаланилган P_{k+1}^+ псевдотескари матрицага нисбатан симметрик ёмон шартланган ва ишораси аниқланмаган матрица ҳисобланади. (18) ифодадаги псевдомурожаат процедурасига кўп сонли турғунлик бериш ва қидирилаётган ечимни стабиллашда мунтазам усуллардан фойдаланиш мақсадга мувофиқ. (18) ифодадан фойдаланишда симметрик матрицаларни мунтазамлашган Холецкий факторизация усулини қўллаймиз.

n тартибли $\rho_{k+1,j}$ элементли P_{k+1} симметрик матрицалар асосида қуйидаги матрицалар кетма-кетлиги қурилади:

$$P_{k+1}^{(r)} = \begin{bmatrix} P_{k+1,1}^{(r)} & P_{k+1,2}^{(r)} \\ 0 & P_{k+1,3}^{(r)} \end{bmatrix}, \quad r = 0, 1, \dots,$$

бу ерда: $P_{k+1,1}^{(r)}$ – $k \times k$ ўлчамли юқори учбурчакли матрица; $P_{k+1,2}^{(r)}$ – тўғри бурчакли матрица; $P_{k+1,3}^{(r)}$ – $n - k$ тартибли симметрик матрица; 0 – ноли матрица.

Агар P_{k+1} симметрик матрицанинг мунтазамлаштириш параметрини $\varepsilon = 0$, ранги $r \leq n$ ва тартиби n деб олсак, у ҳолда Холецкийнинг мунтазамлашган усулида факторизациялашнинг r қадами бажарилган бўлади ва

$$P_{k+1,\varepsilon} = P_{k+1}, \quad P_{k+1}^+ = B_{(r)}U_r^+\hat{I}(U_r^+)^T B_{(r)}^T,$$

бу ерда $P_{k+1,\varepsilon} = \hat{U}_\varepsilon^T \hat{I} \hat{U}_\varepsilon$, $\hat{U}_\varepsilon = U_l B_{(l)}$, $U_l = (P_{k+1,1}^{(r)} : P_{k+1,2}^{(r)})$, $B_{(l)} = B_l \dots B_1$, $B_i = I$.

Агар қўшимча равишда P_{k+1} – номанфий аниқланган бўлса, у ҳолда диагонал элементи етакчи элемент, \hat{I} эса бирлик матрица ҳисобланади, шунингдек $P_{k+1,\varepsilon} = U_r^T U_r = P_{k+1}$, $P_{k+1,\varepsilon}^+ = U_r^+(U_r^+)^T$.

Келтирилган алгоритмлар стохастик объектлар ҳолатини баҳолашда матрицага мурожаат қилиш процедурасини стабиллаш, шунингдек объект ва кузатувчи параметрлари ғалаёнланганда ҳолат векторининг ҳақиқий баҳосини топиш аниқлигини ошириш имконини беради.

Чизиқли стационар системанинг кўриб чиқамиз

$$x_{k+1} = Ax_k + Bw_k, \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (20)$$

$$y_k = Cx_k, \quad (21)$$

бу ерда $x \in R^n$, $y \in R^l$, $w_k \in R^m$.

Ўлчами $m \times m$ бўлган квадрат системани системани кўриб чиқамиз:

$$\begin{cases} x_{k+1} = Ax_k + Bw_k, \\ y_k = Cx_k, \quad k = 0, 1, 2, \dots, \end{cases}$$

янги ўзгарувчиларни киритиб

$$\xi = Px, \quad P = I_n - B(CB)^{-1}C, \quad (22)$$

қуйидагини ёзиш мумкин:

$$\xi_{k+1} = PA\xi_k = PAB(CB)^{-1}y_k, \quad (23)$$

Бундан, (22) да фойдаланилган алмаштириш қайтмас ҳисобланади.

$l > m$ да системага B' матрица орқали таъсир қиладиган $(l-m)$ янги нолли киришларни қўшиш йўли билан системани “квадратлаштириш” усулли кенг қўлланилади. Қуйидаги динамик система

$$\xi_{k+1}^{n-m} = A_{11}\xi_k^{n-m} + A_{12}y_k,$$

ва статик ўзгартиргич

$$\bar{x}_k = \begin{pmatrix} E_{n-m} \\ C_m^{-1}C_{n-m} \end{pmatrix} \bar{\xi}_k^{n-m} + B(CB)^{-1}y_k. \quad (24)$$

кузатувчи бўлиб хизмат қилади ва ноаниқлик шароитларида фазовий векторни баҳолашнинг кўрилаётган масаласини ечади.

(22), (23) ва (24) ифодалардаги \bar{x}_k ҳолат векторини ҳисоблашда $T = CB$ матрицага мурожаат қилиш керак. Ушбу матрицага мурожаат қилиш аниқлиги кириш таъсирларини тиклаш алгоритмининг самарадорлигига жиддий равишда боғлиқ бўлади. Бу ифодалардаги T матрица квадрат матрица ҳисобланади. Ушбу ҳолатни ҳисобга олиб қуйидаги белгилашларни киритамиз:

$$\gamma_{t+1} = \gamma_t - \gamma_t a_{t+1}^T (a_{t+1} \gamma_t a_{t+1}^T)^+ a_{t+1} \gamma_t, \quad \gamma_0 = I, \quad (25)$$

$$X_{t+1} = X_t + \gamma_t a_{t+1}^T (a_{t+1} \gamma_t a_{t+1}^T)^+ (c_{t+1} - a_{t+1} X_t), \quad X_0 = 0, \quad (26)$$

бу ерда: $a_t, t=1,2,\dots,n$ – T матрицанинг қаторлари; $\gamma_{t+1}, t=1,2,\dots,n$ – $(n \times n)$ ўлчамли матрица кетма-кетлиги; $c_t, t=1,2,\dots,n$ – $I - \gamma_n$ матрицанинг қаторлари; $0 = 0_{(n \times n)}$ – нолли матрица.

$a_{t+1} \gamma_t a_{t+1}^T$ қийматларда ҳисоблашдаги нолга яқин хатолиги олинган натижаларни кучли ўзгартириши мумкин бўлган (25), (26) рекуррент тенгламалар системасини ечишда қуйидаги функцияни ҳисоблаш керак

$$(a_{t+1} \gamma_t a_{t+1}^T)^+ = \begin{cases} 1/a_{t+1} \gamma_t a_{t+1}^T, & a_{t+1} \gamma_t a_{t+1}^T \neq 0, \\ 0, & a_{t+1} \gamma_t a_{t+1}^T = 0. \end{cases} \quad (27)$$

Кейин (25) ва (26) рекуррент тенгламалар системаси кетма-кет ечилади

$$S_p \frac{\gamma_t a_{t+1}^T a_{t+1} \gamma_t}{a_{t+1} \gamma_t a_{t+1}^T}, \quad \sum_{i,j=1}^n [\gamma_{ij}^2(t) - \gamma_{ij}^2(t+1)] = \|\gamma_t\|^2 - \|\gamma_{t+1}\|^2,$$

ва бирга тенг бўлиши керак бўлган қийматлар, ҳамда $\rho_t = \|\gamma_t - \gamma_t^2\| / \|\gamma_t^2\|$ нинг нолга тенг бўлиши керак бўлган қийматлари текширилади.

Келтирилган алгоритмлар ғалаёнлар мавжудлигида ҳам кировчи таъсирларни топиш аниқлигини ошириш имконини беради.

Шунингдек, корреляцияланган объект шовқини шароитида динамик тизимларнинг номаълум кириш таъсирларини тиклаш алгоритмларини қуриш ва чизикли тизимлар учун кўп функцияли ҳолат кузатувчиларини синтез қилиш алгоритмларини қуриш саволлари ҳам кўрилган. Уларнинг амалда

бажарилишида мунтазамлашлаш усулининг сингуляр ёйиш ва «мўтадил бузилиш» ҳисоблаш схемалари самарали эканлиги кўрсатилган.

Диссертациянинг «Ишлаб чиқилган алгоритмларни иссиқлик энергетикаси объектларини бошқариш масалаларида қўллаш» деб номланган тўртинчи бобида ишлаб чиқилган алгоритмларни қозон қурилмасини автоматлаштиришда қўллаш натижалари келтирилган.

Иссиқлик энергетикаси объектларини автоматлаштириш ва бошқариш масаласини қозон қурилмасининг муҳим каналларидан бири бўйича “ҳаво сарфи-аэроаралашмаси ҳарорати” кўриб чиқамиз.

«Ҳаво сарфи-аэроаралашмаси ҳарорати» канали бўйича кўрилаётган объектнинг математик тавсифи учун тезлашиш характеристикаларидан фойдаланамиз ва узатиш функциясини қуйидаги кўринишда ифодалаймиз:

$$W(s) = \frac{y(s)}{u_1(s)} = \frac{k_{oy} \cdot e^{-s \cdot h}}{a_2 \cdot s^2 + a_1 \cdot s + 1}, \quad (28)$$

бу ерда k_{oy} - объектнинг нисбий узатиш коэффициентлари.

(28) модел коэффициентларининг базавий қийматини қуйидаги кўринишда қабул қиламиз:

$$k_{oy} = 0.014, \quad h = 18, \quad a_1 = 10457, \quad a_2 = 219. \quad (29)$$

Доимий кечикиш катталиги энг кичик вақт доимийсидан h кичик эканлигини эътиборга олсак, у ҳолда $h=0$ деб қабул қилиш мумкин.

Бунда ростлаш тизими доимий тезликнинг ижро этувчи механизми билан кўриб чиқилади. Натижада олинган умумлашган бошқариш объекти қуйидаги кўринишда ифодаланиши мумкин:

$$W(s) = \frac{y(s)}{u(s)} = \frac{K}{a_2 \cdot s^3 + a_1 \cdot s^2 + s},$$

ёки

$$\frac{dx(t)}{dt} = A \cdot x(t) + B \cdot u(t) + \tilde{w}(t), \quad y(t) = L^T \cdot x(t), \quad \tilde{w}(t) = (0; 0; w(t)), \quad (31)$$

бу ерда

$$A = [0 \ 1 \ 0; 0 \ 0 \ 1; 0 \ (-1/a_2) \ (-a_1/a_2)], \quad B = [0; 0; (K/a_2)], \\ L^T = [1 \ 1 \ 0], \quad |w(t)| \leq w_0 = const.$$

Кўриб чиқилаётган объектнинг бошқариш тизимини қуриш учун ғалаёнларга мослашувчи ростлагичлар концепцияларидан фойдаланамиз. Шу мақсадда доимий параметрларга ва доимий бузилиш моделларига эга бўлган чизиқли объект учун узатиш функциялари бўйича ғалаёнларни ютувчи ростлагичнинг талқинини кўриб чиқамиз.

Шундай қилиб, моделлар ўзгармас параметрларга эга деб тахмин қилинади, яъни объект ва ғалаён моделлари қуйидагича деб ҳисоблаймиз:

$$\dot{x} = Ax + bu + fw, \quad (32)$$

$$y = \langle c, x \rangle; \quad (33)$$

$$w = \langle h, z \rangle, \quad \dot{z} = Dz + \sigma(t). \quad (34)$$

Охирги шартни бажарилишида f вектор b векторга коллинеарен, масалан, ҳар бир $f = b\beta$ да шундай нолли бўлмаган скаляр константа β мавжуд. Шундай қилиб, (4.28) тенгламадаги мос келадиган $\Gamma = \Gamma_1 = \gamma_1$ қатор вектори $\gamma_1 = \beta h$ кўринишида ифодаланиши мумкин, шунинг учун

Охирги шартни бажарилишида f вектор b векторга коллинеарен, масалан, ҳар бир $f = b\beta$ да шундай нолли бўлмаган скаляр константа β мавжуд. Шундай қилиб, ғалаённи бартараф этишни бошқариш қуйидаги кўринишда ифодаланиши мумкин:

$$u_d = -\alpha(h, \hat{z}); \quad \gamma_1 = \beta h, \quad b\gamma_1 = fh. \quad (35)$$

Бошқаришнинг асосий масаласи $x=0$ ҳолатни стабиллашдан иборат, у ҳолда u_p маълум шаклга эга бўлади:

$$u_p = \langle k, \hat{x} \rangle, \quad (36)$$

бу ерда: $\dot{x} = (A + bk)x - w(t)$ ни бартараф этишдан кейинги зарурий динамика тенгламасини акс эттиради, $u_p - x_k$ ҳолатини зарурий бошқариш вектори ва u_k чиқиш ўзгарувчилари.

(35) ва (36) тенгламалардан фойдаланиб, комбинирлашган ҳолат курувчисини Лаплас алмаштириши асосида қуйидагича ёзамиз:

$$\begin{pmatrix} \hat{x}(p) \\ \hat{z}(p) \end{pmatrix} = -[pI - A]^{-1} \begin{pmatrix} k_{11} \\ k_{21} \end{pmatrix}^{y(p)}; \quad u(p) = (k - \beta h) \begin{pmatrix} \hat{x}(p) \\ \hat{z}(p) \end{pmatrix}; \quad A = \begin{bmatrix} A + bk + k_{11}c & 0 \\ k_{21}c & D \end{bmatrix},$$

шунингдек, $G_c(p) = \frac{u(p)}{y(p)}$ ростлагичнинг узатиш функцияси қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$G_c(p) = \frac{-P_c(p)}{Q_{c1}(p)Q_{c2}(p)}, \quad (37)$$

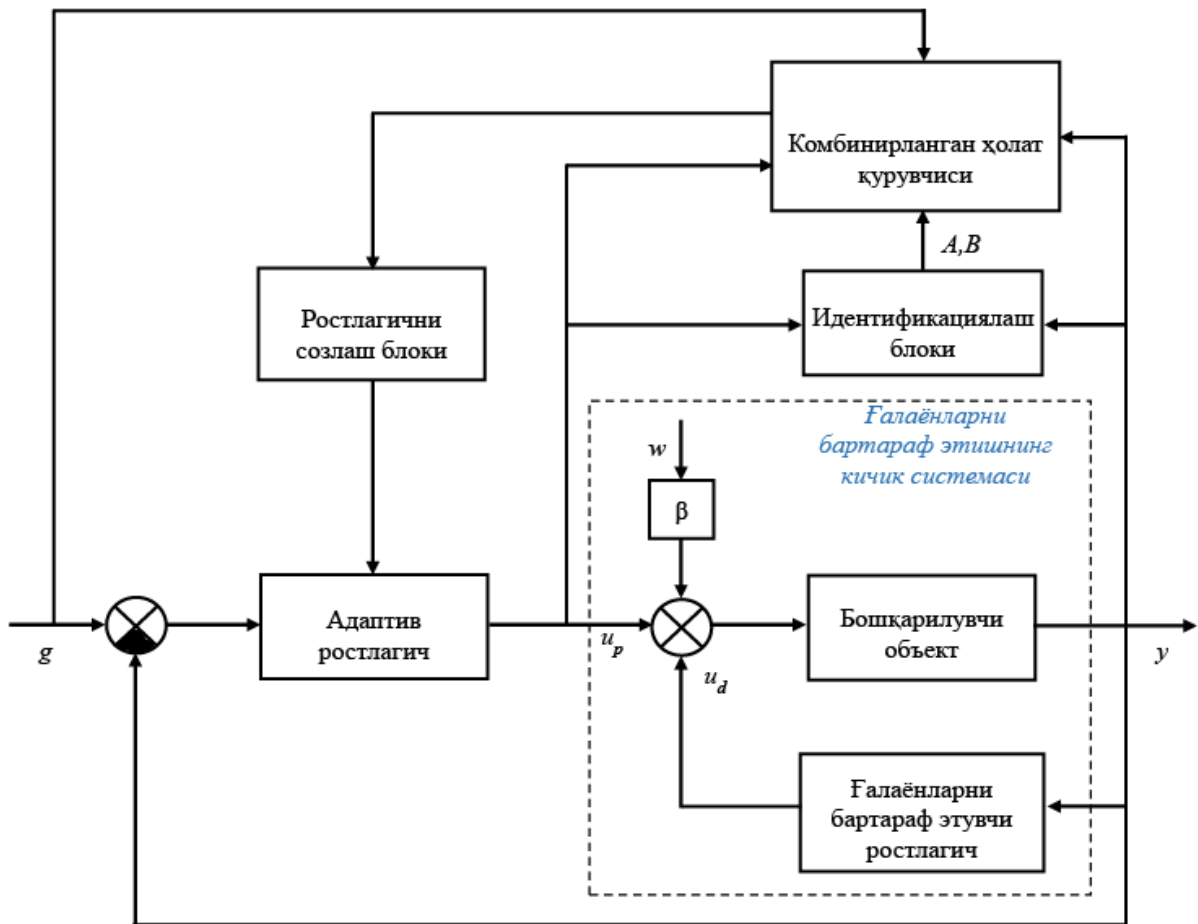
бу ерда $Q_{c1}(p) = \det[pI - (A + bk + k_{11}c)]$; $Q_{c2}(p) = \det[pI - D]$.

(32) ва (33) тенгламалар билан ифодаланувчи объектлар учун узатиш функцияси $G_p(p)$ қуйидаги кўринишда аниқланади:

$$y(p) = G_p(p)(u(p) + \beta w(p)), \quad f = b\beta,$$

бу ерда $G_p(p) = \frac{\langle c, \text{adj}[pI - A]b \rangle}{\det[pI - A]} = \frac{P_p(p)}{Q_p(p)}$.

Келтирилган ифодалар асосида “ҳаво сарфи – аэроаралашма ҳарорати” канали бўйича қозон қурилмаси параметрларини адаптив бошқариш системасининг қуйидаги функционал схемасини таклиф этиш мумкин (1-расм).

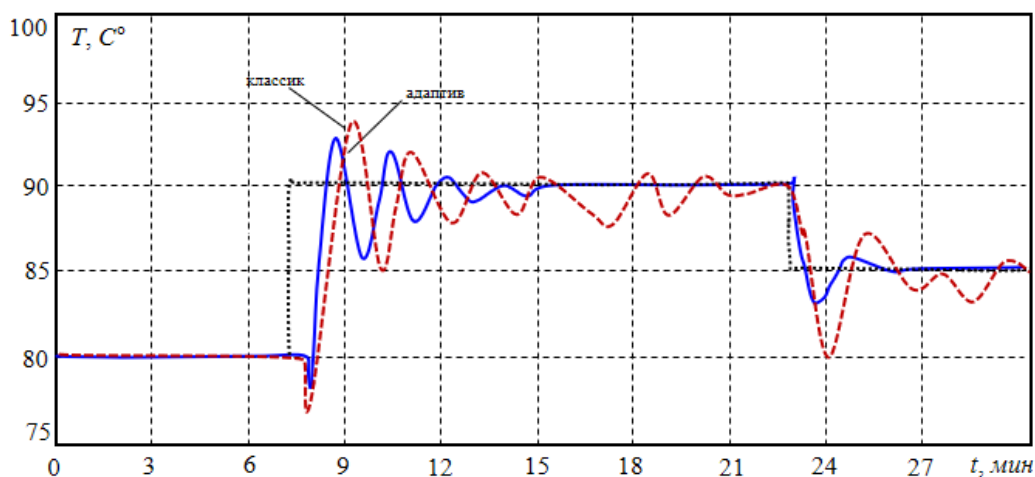


1 – расм. “Ҳаво сарфи – аэроаралашма ҳарорати” канали бўйича қозон қурилмаси параметрларини адаптив бошқариш системасининг функционал схемаси.

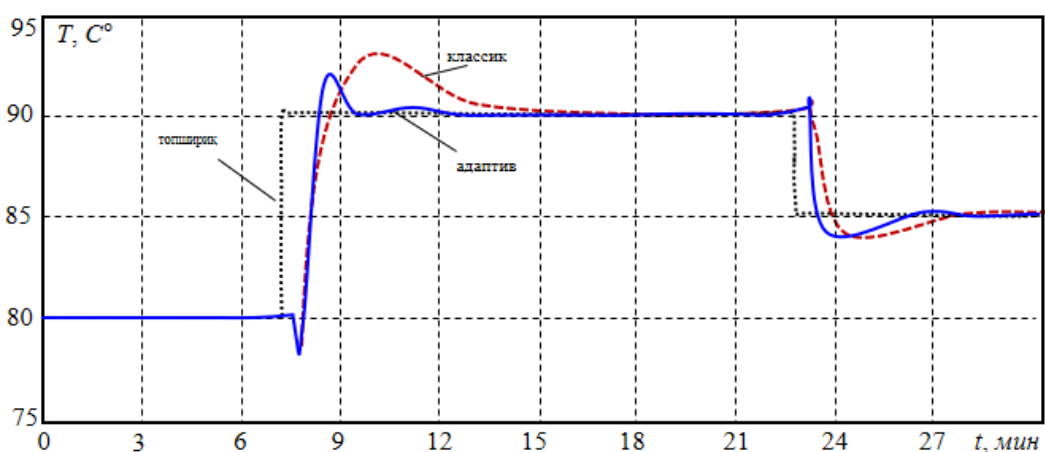
1-расмдаги схема учун стандарт алгебраик алмаштиришларни қўллаб, ғалаёнларни бартараф этадиган остсистеманинг узатиш функцияси қуйидагига тенг эканлигини топамиз:

$$G_0(p) = \frac{y(p)}{w(p)} = \frac{\beta P_p(p) Q_{c1}(p) Q_{c2}(p)}{Q_p(p) Q_{c1}(p) Q_{c2}(p) + P_p(p) P_c(p)}. \quad (38)$$

Қуйидаги расмларда, бошқариш системаларида ғалаёнлар мавжудлигида ва уларни бартараф этувчи G_c ростлагичсиз ва ростлагичли, чиқиш координатаси y (аэроаралашма ҳарорати)нинг ўткинчи жараёнлари келтирилган.



2-расм. Ғалаёнларни бартараф этувчи G_c ростлагичсиз чиқиш координатаси унинг ўткинчи жараён графиги



3-расм. Бошқариш контурида ғалаёнларни бартараф этувчи ростлагич G_c мавжудлигида чиқиш координатаси унинг ўткинчи жараён графиги

Келтирилган расмлардан кўришиб турибдики, ғалаёнларни бартараф этувчи G_c ростлагичлар билан бошқариш системасидаги бошқариш жараёнларининг сифат кўрсаткичлари G_c ростлагичларсиз бошқариш системасига қараганда анча юқори.

Шундай қилиб, “ҳаво сарфи- аэроаралашма ҳарорати” канали бўйича қозон қурилмаси параметрларини таклиф этилган адаптив бошқариш системаси ростлаш сифатининг яхшиланишини таъминлайди ва кўрилатган жараён учун етарлича аниқликка эга.

ХУЛОСА

Диссертацияда тизимли таҳлил, автоматик бошқариш назарияси, динамик филтрлаш ва нокоррект масалаларни ечиш усуллари асосида технологик объектларни бошқариш системаларидаги ноаниқ кириш таъсирларини турғун тиклаш алгоритмлари ишлаб чиқилди.

Ишлар якунида қуйидаги илмий натижалар олинди:

1. Матрицаларни сингуляр ёйиш процедуралари асосида динамик бошқариш системаларида кирувчи сигналларни турғун тиклаш алгоритмлари ишлаб чиқилди. Олинган алгоритмлар кирувчи сигналларни баҳолаш аниқлигини ошириш ва мунтазамлашган ечимларни олишда ҳисоблаш харажатларини камайтириш имконини беради.

2. Хатоликни энг кичик баҳолаш усули асосида номаълум сигналларни баҳолашнинг турғун алгоритмларини қуриш ва шакллантириш алгоритмлари таклиф этилди. Олинган алгоритмлар кириш маълумотларининг аниқлиги бўйича эквивалентлар синфидаги сигналларни тиклашнинг мунтазамлашган алгоритмларини шакллантириш имконини беради.

3. Псевдомурожаат концепцияси асосида кирувчи таъсирларни турғун тиклаш алгоритмлари ишлаб чиқилди. Келтирилган алгоритмлар операторли тенгламанинг ўнг қисмини хатоликнинг турли қийматларида ҳам турғун ҳисоблашни амалга ошириш имконини беради.

4. Мунтазамлаштиришнинг операторли усулидан фойдаланиб, вариацион тенгсизликлар асосида динамик системаларнинг кирувчи таъсирларини турғун тиклаш алгоритмлари ишлаб чиқилди. Олинган ифодалар мунтазамлаштиришнинг оператор усули асосида изланаётган ечимлар ўхшашлигини таъминлашга имкон беради.

5. Объект параметрларини ғалаёнланганда динамик филтрлаш усуллари асосида бошқарилувчи системаларда номаълум кириш таъсирларини турғун тиклаш алгоритмлари ишлаб чиқилди. Келтирилган алгоритмлар стохастик объектлар ҳолатини баҳолашда матрицага мурожаат қилиш услубиятини стабиллаш, шунингдек объект параметрлари ғалаёнланганда ҳолат векторининг ҳақиқий баҳосини топиш аниқлигини ошириш имконини беради.

6. Рекуррент турдаги бевосита сонли таҳлил усуллари ёрдамида ноаниқлик шароитида кириш таъсирларни турғун тиклаш алгоритмлари ишлаб чиқилди. Келтирилган алгоритмлар ғалаёнлар мавжудлигида кириш таъсирларини топиш аниқлигини ошириш имконини беради.

7. Динамик системаларда ғалаёнлар бўйича бошқариш ва кириш таъсирларини баҳолаш орасидаги боғлиқликни таҳлил қилиш услубияти таклиф қилинди. Келтирилган услубият динамик системаларни инвариант бошқариш тизимларини синтезлаш масаласида кириш таъсирларини баҳолашнинг турли хил алгоритмларидан фойдаланиш имконини беради.

8. Чизикли системалар учун кўпфункционали ҳолат кузатувчиларини синтезлаш алгоритмлари ишлаб чиқилди. Келтирилган ифода бошқариш системасидаги тесқари алоқа объект ҳолатининг чизикли функцияси бўлганда ўзгарувчан ҳолатнинг бир неча чизикли функциясининг баҳосини олиш имконини беради.

9. Ишлаб чиқилган мунтазам синтезлаш алгоритмлари асосида “ҳаво сарфи – аэроаралашма ҳарорати” канали бўйича қозон қурилмаси параметрларини адаптив бошқариш системасини синтезлаш алгоритми таклиф этилди. Таклиф этилган адаптив бошқариш системаси жараённинг бориш технологик режимини барқарорлаштириш ва унинг сифатини ҳамда бажарадиган вазифасининг самарадорлигини ошириш имконини беради.

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

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ХОЛХОДЖАЕВ БОХОДИР АСАТУЛЛАЕВИЧ

**АЛГОРИТМЫ УСТОЙЧИВОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ
НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ ВХОДНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В СИСТЕМАХ
УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ**

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

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

Ташкент – 2021

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан № В2017.2.PhD/Г197.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

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

Научный руководитель: Ибрагимов Хусни Закирович
доктор технических наук, профессор, академик

Официальные оппоненты: Исмаилов Мирталил Агамонович
доктор технических наук, профессор
Иккандаров Зоҳид Эргашбаевич
доктор философии (PhD) по техническим наукам

Ведущая организация: Павлодарский государственный горный институт

Защита диссертации состоится 21 11 2021 года в 12⁰⁰ часов на заседании Научного совета ДС-03/30-12-2019 Т-03-02 при Ташкентском государственном техническом университете (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел. (99871) 246-46-00; факс: (99871) 217-10-32; e-mail: cta_info@tdtu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрировано № 12/Н. Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел. (99871) 207-14-70).

Автореферат диссертации размещен 14 11 2021 года
(рефер протокола рассылки № 12 от 03 11 2021 года)



[Signature]
Н.Р. Юсуфбеков
Председатель научного совета
по присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор, академик АН РУз

[Signature]
У.Ф. Манноров
Учёный секретарь научного совета
по присуждению учёных степеней,
д.т.н., кандидат философии (PhD) по техническим наукам, доцент

[Signature]
Ж.У. Севидова
заместитель председателя научного семинара
по присуждению учёных степеней,
д.т.н., доцент

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире в последнее время уделяется особое внимание развитию и совершенствованию высокоточных систем управления в области технологических процессов и автоматизации производства. В связи с этим важно решать вопросы синтеза адаптивных систем управления при наличии априорной информации о внешних воздействиях и параметрах технологического объекта, текущей неопределенности и неконтролируемых возмущений. В связи с этим в развитых странах большое значение придается разработке методов и алгоритмов совершенствования системы адаптивного управления посредством процедур восстановления неконтролируемых воздействий.

В мире проводятся обширные исследования по созданию высококачественных систем управления, которые функционируют под влиянием неконтролируемых изменений внешних и внутренних возмущений. Для эффективного управления технологическими объектами при наличии неизвестных внешних возмущений актуальным становятся вопросы компенсации возмущений на основе обратной связи с помощью комбинированного управления. В этой связи особое внимание в настоящее время уделяется совершенствованию методов и алгоритмов синтеза адаптивных систем управления, реализующих концепции восстановления и адаптации к неизвестным сигналам.

В настоящее время в Республике уделяется большое внимание направлениям автоматизации и управления, в том числе созданию систем усовершенствованного управления, обеспечивающих энерго- и ресурсосбережение при автоматизации и управлении различными технологическими процессами и производствами. В Стратегии по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы обозначены задачи «...сокращения энергоемкости и ресурсоемкости экономики, широкого внедрения в производство энергосберегающих технологий, повышения производительности труда в отраслях экономики»¹. В этом аспекте создание эффективных алгоритмов восстановления неопределенных входных воздействий в системах управления динамическими объектами, является весьма актуальным.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан № УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» и Постановлениями №ПП-3151 от 27 июля 2017 года «О мерах по дальнейшему расширению участия отраслей и сфер экономики в повышении качества подготовки специалистов с высшим образованием» и №ПП-3682 от 27 апреля 2018 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения

¹ Указ Президента Республики Узбекистан «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» УП-4947 от 7 февраля 2017 года.

инновационных идей, технологий и проектов», а также другими нормативно-правовыми документами, принятыми в данной сфере.

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

Степень изученности проблемы. Анализ научно-технической литературы последних лет, касающихся исследований по разработке алгоритмов устойчивого восстановления неизвестных входных воздействий в системах управления технологическими объектами, свидетельствует о достижении значительных теоретических и практических результатов в этой области. Опубликовано большое количество работ, посвященных проблемам синтеза алгоритмов устойчивого восстановления неконтролируемых входных воздействий в системах управления технологическими объектами, разработаны общетеоретические концепции, возрастает число решенных практических задач. Большой вклад в развитие методов построения алгоритмов восстановления неопределенных воздействий внесли многие зарубежные ученые, такие как А.Jiang², С.А.Аникин³, А.А.Бобцов⁴, С.К.Коровин⁵, С.А.Краснова⁶, Б.Г.Майоров⁷, В.О.Никифоров⁸, Н.В.Прытков⁹, А.А.Пыркин⁴, В.А.Уткин⁶, а также отечественные ученые Б.М.Азимов, Т.Ф.Бекмуратов, Ш.М.Гулямов, О.О.Зарипов¹⁰, Х.З.Игамбердиев¹⁰, А.Р.Марахимов¹¹, И.Х.Сиддииков¹¹, Н.Р.Юсупбеков¹² и др.

Однако постоянное усложнение и расширение круга научных исследований требует разработки новых эффективных методов и алгоритмов устойчивого восстановления неизвестных входных воздействий при различных помехосигнальных условиях. Требуют своего развития также алгоритмы устойчивого восстановления входных сигналов на основе

² Jiang A., Bimbo J., Goulder S., Liu H., Song X., Dasgupta P., Althoefer R., Nanayakkara Th. Adaptive Grip Control on an Uncertain Objects // 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, October 7-12, 2012, Vilamoura, Algarve, Portugal. –pp. 1161-1166.

³ Ананьев Б.И., Аникин С.А. Задача восстановления входных воздействий при коммуникационных ограничениях // Автомат и телемех., 2009. выпуск 7, –С. 73-84.

⁴ Бобцов А.А., Пыркин А.А. Адаптивное и робастное управление с компенсацией неопределенностей. Учебное пособие. – СПб.: НИУ ИТМО, 2013. –135 с.

⁵ Коровин С.К. Наблюдатели состояния для линейных систем с неопределенностью. Монография. -М.: Физматлит, 2007. -224 с.

⁶ Краснова С.А., Уткин В.А. Каскадный синтез наблюдателей состояния динамических систем. Ин-т проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН. –М.: Наука, 2006. – 272 с.

⁷ Майоров Б.Г. Восстановление сигнала в системах реального времени по равномерным выборкам с уменьшением интервала Найквиста // Системы и средства информатики, 2019. Т. 29. № 2. –С. 95-112.

⁸ Никифоров В.О. Адаптивное и робастное управление с компенсацией возмущений. - СПб.: Наука, 2003. - 281 с.

⁹ Прытков Н.В., Пережогин А.Л. Алгоритмы восстановления дискретных динамических систем с пороговыми функциями // Труды СПИИРАН. 2016 г. Вып. 6(49). –С. 66-70.

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

¹¹ Марахимов А.Р., Игамбердиев Х.З., Юсупбеков А.Н., Сиддииков И.Х. Нечетко множественные модели и интеллектуальное управление технологическими процессами. –Т.: ТашГТУ, 2014. –240 с.

¹² Юсупбеков Н.Р., Нурмухамедов Х.С., Зокиров С.Г. Кимёвий технология асосий жараён ва курилмалари. –Т.: «Фан ва технология», 2015, 848 б.

процедуры сингулярного разложения матриц и метода наименьшей оценки невязки.

Кроме того, оказывается целесообразным осуществлять разработку устойчивых алгоритмов восстановления на основе концепции псевдообращения, вариационных неравенств и методов динамической фильтрации. В связи с вышеотмеченным возникает настоятельная необходимость дальнейшей модификации эффективных алгоритмов устойчивого восстановления входных неопределенных воздействий.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках научно-исследовательских проектов Ташкентского государственного технического университета: ЁФ-4-06 – «Разработка регулярных методов и алгоритмов синтеза адаптивных систем управления с настраиваемыми моделями» (2012-2013); А-5-42 – «Программно-инструментальные средства интеллектуализации автоматизированного мониторинга и управления технологическими объектами в условиях априорной неопределенности» (2015-2017); ОТ-Ф4-78 – «Разработка теоретических основ и регулярных методов синтеза адаптивных систем управления динамическими объектами на основе идентификационного подхода» (2017-2020).

Целью исследования является разработка алгоритмов устойчивого восстановления неопределенных входных воздействий в системах управления технологическими объектами и вычислительных схем их практической реализации.

Задачи исследования:

системный анализ развития теории и методов восстановления входных неизвестных сигналов в системах управления динамическими объектами;

разработка алгоритмов устойчивого восстановления входных сигналов в динамических системах управления на основе процедуры сингулярного разложения матриц и метода наименьшей оценки невязки;

разработка алгоритмов устойчивого восстановления входных воздействий на основе концепции псевдообращения и вариационных неравенств;

разработка алгоритмов устойчивого восстановления входных воздействий на основе методов динамической фильтрации;

разработка алгоритмов восстановления неконтролируемых входных воздействий динамических систем в условиях коррелированного шума объекта;

разработка алгоритмов восстановления входных воздействий динамических систем в условиях неопределенности;

применение разработанных алгоритмов восстановления неопределенных сигналов в задачах управления технологическими объектами.

Объектом исследования являются системы управления технологическими объектами в условиях неопределенности входных воздействий.

Предметом исследования являются методы и алгоритмы регулярного восстановления неопределенных входных воздействий в системах управления технологическими объектами.

Методы исследования. В диссертационной работе использованы методы системного анализа, идентификации, оценивания, синтеза наблюдающих устройств воздействий, адаптивного управления и решения некорректно поставленных задач.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработаны алгоритмы формирования и построения устойчивых алгоритмов оценивания неизвестных сигналов на основе метода наименьшей оценки невязки, отличающихся от известных тем, что полученные алгоритмы позволяют формировать регуляризирующие алгоритмы восстановления сигналов на классе эквивалентных по точности входных данных;

разработаны алгоритмы устойчивого восстановления входных воздействий динамических систем на основе вариационных неравенств, отличающихся от известных тем, что полученные выражения позволяют обеспечить сходимость искомых решений;

разработаны алгоритмы устойчивого восстановления неизвестных входных воздействий в управляемых системах на основе методов динамической фильтрации, позволяющие стабилизировать процедуру обращения матриц при оценивании состояния стохастических объектов;

разработаны алгоритмы восстановления в условиях неопределенности с помощью методов прямого численного анализа рекуррентного типа, позволяющие повысить точность определения входных воздействий при наличии возмущений.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

на основе результатов промышленного эксперимента в условиях нормального функционирования разработано математическое описание котлоагрегата и произведена формализация возмущающих воздействий;

разработаны структурные и функциональные схемы автоматизации и адаптивного управления параметрами котлоагрегата по каналу «расход воздуха - температура аэросмеси»;

предложена адаптивная система управления параметрами котлоагрегата по каналу «расход воздуха - температура аэросмеси» с соответствующим техническим обеспечением, позволяющая стабилизировать технологические режимы протекания процессов и повысить его эффективность.

Достоверность результатов исследования. Достоверность полученных результатов исследования обеспечивается выполнением методически обоснованных теоретических выкладок; применением теоретически обоснованных концепций адаптивного оценивания состояния; использованием апробированных методов и алгоритмов современной теории автоматического управления; требуемой степенью сходимости предлагаемых методов и алгоритмов адаптивного управления; результатами теоретических и прикладных исследований и их взаимной согласованностью.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования состоит в разработке конструктивных алгоритмов устойчивого восстановления неопределенных входных воздействий в системах управления технологическими объектами.

Практическая значимость результатов работы заключается в разработке математического и алгоритмического обеспечения задач устойчивого восстановления входных сигналов в динамических системах управления на основе процедуры сингулярного разложения матриц и метода наименьшей оценки невязки, концепций псевдообращения и вариационных неравенств, и методов динамической фильтрации.

Внедрение результатов исследования. Полученные научные результаты по устойчивому восстановлению неопределенных входных воздействий в системах управления технологическими объектами внедрены в следующих формах:

алгоритмы формирования и построения устойчивых алгоритмов оценивания неизвестных сигналов на основе метода наименьшей оценки невязки внедрены на АО «Навоийская ТЭС» (Справка АО «Тепловые электрические станции» №02-20/3360 от 29 декабря 2020 года). Алгоритмы позволяют формировать регуляризирующие алгоритмы восстановления сигналов на классе эквивалентных по точности входных данных котлоагрегата по каналу «расход воздуха - температура аэросмеси»;

алгоритмы устойчивого восстановления входных воздействий динамических систем на основе вариационных неравенств с использованием операторного метода регуляризации внедрены на АО «Навоийская ТЭС» (Справка АО «Тепловые электрические станции» №02-20/3360 от 29 декабря 2020 года). В результате обеспечивается сходимость искомых решений и повышается точность вычисления параметров регулятора;

алгоритмы устойчивого восстановления неизвестных входных воздействий в управляемых системах на основе методов динамической фильтрации внедрены на АО «Навоийская ТЭС» (Справка АО «Тепловые электрические станции» №02-20/3360 от 29 декабря 2020 года). В результате повышается точность определения истинной оценки вектора состояния при возмущении параметров объекта.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования были обсуждены на 5 международных и 1 республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 14 научных работ, из них 6 – в журнальных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, в том числе 2 – в иностранных журналах. Также получены 2 свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 111 страницы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована 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 полученных результатов, приведены перечень внедрений в практику результатов исследования, список апробаций результатов работы, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе **«Задачи и алгоритмы устойчивого восстановления неизвестных входных воздействий в системах управления технологическими объектами»** приводятся особенности технологических процессов и наблюдающих устройств воздействий, алгоритмы восстановления входных воздействий в системах управления динамическими объектами, постановка цели и задачи исследования.

В настоящее время уделяется большое внимание вопросам создания алгоритмов восстановления неизвестных сигналов в динамических системах управления.

Несмотря на важность рассматриваемого вопроса, в настоящее время единая научно обоснованная методология синтеза адаптивных систем с сигнальной адаптацией и восстановления неизвестных входных воздействий в условиях априорной неопределенности еще не полностью сложилась. Это обусловлено тем, что многие задачи синтеза адаптивных инвариантных систем являются плохо обусловленными, при этом часто не удовлетворяются условия устойчивости искомых решений по отношению к вариациям исходных данных. Здесь естественным образом возникает необходимость при построении адаптивно инвариантных систем использовать методы и алгоритмы регулярного оценивания. Однако переход от общих операторных уравнений к конкретным конструктивным методам зачастую нетривиален и представляет существенный теоретический и прикладной интерес. В связи с этим весьма заманчивым представляется путь построения управляющих систем, основанный на концепциях конструирования адаптивных систем с сигнальной адаптацией в условиях неопределенных возмущений, и разработка эффективных алгоритмов устойчивого восстановления неконтролируемых входных воздействий в системах управления технологическими процессами, не требующих полного априорного знания объекта управления и условий его функционирования.

Вышеизложенные выводы указывают на необходимость разработке алгоритмов устойчивого восстановления неопределенных входных воздействий в системах управления технологическими объектами и их практическому применению при решении задач автоматизации и управления технологическими процессами промышленных производств.

Вторая глава диссертации «Разработка алгоритмов устойчивого восстановления неизвестных входных воздействий на основе операторных уравнений» посвящена разработке алгоритмов восстановления входных сигналов в динамических системах на основе методов сингулярного разложения; формирования и построения устойчивых алгоритмов оценивания неизвестных сигналов на основе метода наименьшей оценки невязки; концепций псевдообращения и вариационных неравенств.

Рассмотрим динамическую систему вида:

$$x_{k+1} = A_k x_k + B_k w_k, \quad x(k_0) = x^0, \quad (1)$$

$$y_k = C_k x_k + D_k w_k, \quad (2)$$

с вектором состояния $x = x_k$, входным неизмеряемым воздействием – $w_k \in L_2^p$ и выходом системы – $y_k \in L_2^m$. Уравнения (1) и (2) иницируют линейный оператор $F: \Theta \rightarrow Y$, который каждой паре $\theta = (x_0, w) \in \Theta$, т.е. входу системы, ставит в соответствие функцию $y \in Y$ на выходе системы. Обозначим через Θ^* непустое множество всех входов $\theta \in \Theta$ таких, что

$$F\theta = y^*. \quad (3)$$

В общем случае система (3) является несовместной и плохо обусловленной. Поэтому для устойчивого построения псевдорешения будем использовать метод регуляризации.

Пусть задана пара чисел $\eta = (h, \delta)$, $h \geq 0, \delta \geq 0$, и приближенные входные данные $p_\eta = (F_h, y_\delta^*) \in W$, удовлетворяющие неравенствам $\|F_h - F_0\| \leq h$, $\|y_\delta^* - y_0^*\| \leq \delta$.

Рассмотрим класс эквивалентных по точности входных данных:

$$\Sigma_\eta = \{p = (F, y^*) \in W : \|F - F_h\| \leq h, \|y^* - y_\delta^*\| \leq \delta\}. \quad (4)$$

Из определения (4) вытекает, что наилучшим на классе эквивалентных по точности входных данных является величина

$$p_\eta(F_h, y_\delta^*) = \sup_{p \in \Sigma_\eta} \inf_{\theta \in D} \|F\theta - y^*\|. \quad (5)$$

Обычно вместо $p_\eta(F_h, y_\delta^*)$ рассматривается двойственная к (5) задача

$$\tilde{p}_\eta(F_h, y_\delta^*) = \inf_{\theta \in D} \sup_{\chi \in \Sigma_\eta} \|F\theta - \chi\|.$$

Тогда имеет место неравенство

$$p_\eta(F_h, y_\delta^*) \leq \tilde{p}_\eta(F_h, y_\delta^*), \quad \Phi_\eta[z] = \sup_{p \in \Sigma_\eta} \|F\theta - y^*\|, \quad \theta \in D.$$

Таким образом

$$\tilde{p}_\eta(F_h, y_\delta^*) = \inf_{\theta \in D} (\|F_h \theta - y_\delta^*\| + h\|\theta\| + \delta) = \inf_{\theta \in D} \Phi_\eta[\theta]. \quad (6)$$

Рассмотрим алгоритм минимизации функционала $\Phi_\eta[\theta]$ на всем пространстве Z . При $D=Z$ задача (6) эквивалентна задаче минимизации функционала Тихонова: $M_\alpha[\theta] = \|F_h \theta - y_0^*\|^q + \alpha\|\theta\|^r$, $q \geq 1, r > 1$, с выбором параметра регуляризации $\alpha \geq 0$ из «принципа наименьшей оценки невязки»:

$$\psi(\alpha) = \|A_h \theta_\alpha - y_0^*\| + h\|\theta_\alpha\| \rightarrow \min, \quad \theta_\alpha = \arg \min_{\theta \in Z} M_\alpha[\theta]. \quad (7)$$

Функция $\psi(\alpha)$ достигает минимума на $[0, +\infty)$ в единственной точке α_0 , и $\theta_{\alpha_0} = \theta_\eta$. Если $h\|y_\delta^*\| \geq \|F_h^T y_\delta^*\|$, то полагаем $\theta_\eta = 0$; в противном случае решаем уравнение

$$(F_h^T F_h + \alpha I)\theta = F_h^T y_\delta^* \quad (8)$$

с выбором параметра регуляризации $\alpha \geq 0$ из условия (7); при этом функция $\psi(\alpha)$ непрерывно дифференцируема для $\alpha > 0$, имеет единственную точку α_0 локального минимума, являющуюся также точкой глобального минимума на $[0, +\infty)$, и вектор $\theta_{\alpha_0} = \theta_\eta$. Если $\alpha_0 \neq 0$, то α_0 – единственное решение уравнения $\alpha\|\theta_\alpha\| = h\|F_h\theta_\alpha - y_\delta^*\|$; если $\alpha_0 = 0$, то для любого $\alpha > 0$ справедливо неравенство: $\alpha\|\theta_\alpha\| - h\|F_h\theta_\alpha - y_\delta^*\| > 0$

При этом, если $F_h\theta_\eta \neq y_\delta^*$ и $\theta_\eta \neq 0$, то вектор θ_η является решением уравнения

$$\frac{F_h^T F_h \theta - F_h^T y_\delta^*}{\|F_h \theta - y_\delta^*\|} + h \frac{\theta}{\|\theta\|} = 0$$

и всякое решение этого уравнения минимизирует функционал $\Phi_\eta[\theta]$.

Приведенные выражения позволяют формировать регуляризующие алгоритмы восстановления неизвестных входных сигналов в системах управления по приближенной информации меры несовместности исходных операторных уравнений с помощью оценки, неуплучшаемой на классе эквивалентных по точности входных данных.

Будем полагать, что операторы F в (3) при всех $\delta \geq 0$ обладают свойством

$$\|F\theta - y_\delta^*\| \leq c_1(\|\theta - \theta^0\| + 1), \quad \forall \theta \in T, \quad (10)$$

где $c_1 > 0$ – некоторая постоянная, θ^0 – фиксированная точка из H .

Для вычисления решения θ будем использовать операторный метод регуляризации:

$$(F\theta + \alpha(\theta - \theta^0) - y_\delta^*, z - \theta) \geq 0, \quad \forall z \in K_\sigma, \quad \theta \in K_\sigma, \quad (11)$$

где $\alpha > 0$.

Пусть θ_γ – единственное решение (11), где $\gamma = (\delta, \sigma, \alpha)$. Значит, найдется элемент $F\theta_\gamma$ такой, что справедливо соотношение

$$(F\theta_\gamma + \alpha(\theta_\gamma - \theta^0) - y_\delta^*, z - \theta_\gamma) \geq 0, \quad \forall z \in K_\sigma. \quad (12)$$

Тогда, на основе (10) и (12), можно написать

$$\alpha(\theta_\gamma - \theta^0, \theta_\gamma - \nu_\gamma) \leq (F\theta - y_\delta^*, u_\gamma - \theta_\gamma) + (F\theta_\gamma - y_\delta^*, \nu_\gamma - \theta) + \delta\|\theta - \theta_\gamma\|, \quad (13)$$

где $\theta \in N$ и выполняется неравенство $(F\theta - y_\delta^*, z - \theta) \geq 0$ при всех $z \in K$, $u_\gamma \in K$, $\nu_\gamma \in K_\sigma$, причем $\|\theta_\gamma - u_\gamma\| \leq \sigma$, $\|\theta - \nu_\gamma\| \leq \sigma$.

Из (10) и (13) имеем

$$\|\theta_\gamma - \theta^0\| \leq \delta/\alpha + c_1\sigma/\alpha + 2\|\theta - \theta^0\| + 2 + \sigma. \quad (14)$$

Можно показать, что если в рассматриваемых условиях δ/α , $\sigma/\alpha \rightarrow 0$ при $\alpha \rightarrow 0$, то последовательность $\{\theta_\gamma\}$ сильно сходится в N при $\alpha \rightarrow 0$ к элементу $\theta^* \in N$, определяемому равенством $\|\theta^* - \theta^0\| = \min_{\theta \in N} \|\theta - \theta^0\|$.

Полученные выражения позволяют обеспечить сходимость искомых решений на основе вариационных неравенств с использованием операторного метода регуляризации.

В главе также рассмотрены вопросы синтеза алгоритмов восстановления входных сигналов в динамических системах на основе методов сингулярного разложения и концепций псевдообращения матриц. Показано, что при их практической реализации эффективными оказываются вычислительные схемы метода регуляризации.

В третьей главе диссертации «**Разработка алгоритмов устойчивого восстановления неопределенных входных воздействий на основе методов динамической фильтрации**» приводятся результаты разработки алгоритмов восстановления неизвестных входных воздействий динамических систем в условиях коррелированного шума объекта, устойчивого восстановления входных воздействий в условиях неопределенности, результаты применения алгоритмов оценивания входных воздействий в задачах синтеза инвариантных систем управления динамическими системами.

Для решения уравнения (3) будем использовать концепции динамической фильтрации. Для динамизации уравнения (3) запишем его в виде:

$$\theta_{k+1} = \theta_k + w_k, \quad \theta(0) = \theta_0, \quad y_{k+1}^* = F_{k+1}\theta_{k+1} + v_{k+1} \quad (k = 0, 1, \dots),$$

где θ_k – вектор состояния системы, y_k^* – вектор измерения, w_k и v_k – гауссовские белые шумы с нулевыми математическими ожиданиями и интенсивностями Q_k , R_k , θ_0 – гауссов случайный вектор с известными характеристиками $M(\theta_0)$ и $M(\theta_0\theta_0^T) = P_0$.

Будем предполагать, что w_k и v_k не коррелированы с θ_0 , а $M[w_k v_j^T] = S_k \delta_{kj}$, $S_k \neq 0$ где δ_{kj} – символ Кронекера.

На основании свойств условных математических ожиданий можно написать

$$\hat{\theta}_{k+1|k} = \hat{\theta}_{k|k} + M[w_k | y_k], \quad (15)$$

при этом

$$M[w_k | y_k] = W_k [y_k^* - F_k \hat{\theta}_{k|k-1}], \quad (17)$$

где $W_k = S_k [F_k P_{k|k-1} F_k^T + R_k]^{-1}$.

Подставляя (17) в (15), найдем

$$\hat{\theta}_{k+1|k} = \hat{\theta}_{k|k} + W_k [y_k^* - F_k \hat{\theta}_{k|k-1}].$$

На основе методов динамической фильтрации выразим $\hat{\theta}_{k+1|k+1}$ через $\hat{\theta}_{k+1|k}$:

$$\begin{aligned} \hat{\theta}_{k+1|k+1} &= \hat{\theta}_{k+1|k} + K_{k+1} \tilde{y}_{k+1}^*, \\ K_{k+1} &= P_{k+1|k} F_{k+1}^T G_\alpha (P_{k+1}), \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned}
G_\alpha(P_{k+1}) &= [P_{k+1} + \alpha I]^{-1}, \\
P_{k+1} &= F_{k+1} P_{k+1|k} F_{k+1}^T + R_{k+1}, \\
\tilde{y}_{k+1|k}^* &= F_{k+1} \tilde{\theta}_{k+1|k} + v_{k+1}, \quad \tilde{\theta}_{k+1|k} = \theta_{k+1} - \hat{\theta}_{k+1|k}, \\
y_{k+1}^* - F_{k+1} \hat{\theta}_{k+1|k} &= [F_{k+1} P_{k+1|k} F_{k+1}^T R_{k+1}^{-1} + I] [y_{k+1}^* - F_{k+1} \hat{\theta}_{k+1|k+1}],
\end{aligned} \tag{19}$$

где $G_\alpha(P_{k+1})$ – порождающая система функций для метода регуляризации, α – параметр регуляризации.

Матрица P_{k+1} вида (19), псевдообратная которой P_{k+1}^+ используется в (18), является симметричной плохообусловленной знаконеопределенной матрицей. С целью стабилизации искомого решения и придания большей численной устойчивости процедуре псевдообращения в (18) необходимо использовать регулярные методы. При реализации (18) будем использовать регуляризованный метод Холецкого факторизации симметричных матриц.

На основе симметричной матрицы P_{k+1} порядка n с элементами $\rho_{k+1,ij}$ строится последовательность матриц:

$$P_{k+1}^{(r)} = \begin{bmatrix} P_{k+1,1}^{(r)} & \vdots & P_{k+1,2}^{(r)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \vdots & P_{k+1,3}^{(r)} \end{bmatrix}, \quad r = 0, 1, \dots,$$

где $P_{k+1,1}^{(r)}$ – верхнетреугольная матрица размера $k \times k$, $P_{k+1,2}^{(r)}$ – прямоугольная матрица, $P_{k+1,3}^{(r)}$ – симметричная матрица порядка $n - k$, 0 – нулевая матрица.

В случае, если симметричная матрица P_{k+1} порядка n имеет ранг $r \leq n$ и параметр регуляризации взят $\varepsilon = 0$, то в регуляризованном методе Холецкого, будет сделано ровно r шагов факторизации и

$$P_{k+1,\varepsilon} = P_{k+1}, \quad P_{k+1}^+ = B_{(r)} U_r^+ \hat{I} (U_r^+)^T B_{(r)}^T,$$

где

$$P_{k+1,\varepsilon} = \hat{U}_\varepsilon^T \hat{I} \hat{U}_\varepsilon, \quad \hat{U}_\varepsilon = U_l B_{(l)}, \quad U_l = (P_{k+1,1}^{(r)} : P_{k+1,2}^{(r)}), \quad B_{(l)} = B_l \dots B_1, \quad B_i = I.$$

Если дополнительно P_{k+1} – неотрицательно-определенная матрица, то ведущим элементом является диагональный элемент, \hat{I} является единичной матрицей и тем самым

$$P_{k+1,\varepsilon} = U_r^T U_r = P_{k+1}, \quad P_{k+1,\varepsilon}^+ = U_r^+ (U_r^+)^T.$$

Приведенные алгоритмы позволяют стабилизировать процедуру обращения матриц при оценивании состояния стохастических объектов и тем самым повысить точность определения входного воздействия при возмущении параметров объекта и наблюдателя.

Рассмотрим линейную стационарную систему

$$x_{k+1} = Ax_k + Bw_k, \quad k = 0, 1, 2, \dots, \tag{20}$$

$$y_k = Cx_k, \tag{21}$$

где $x \in R^n$, $y \in R^l$, $w_k \in R^m$.

Рассмотрим квадратную $(m \times m)$ - систему

$$\begin{cases} x_{k+1} = Ax_k + Bw_k, \\ y_k = Cx_k, \quad k = 0, 1, 2, \dots, \end{cases}$$

Вводя новую переменную

$$\xi = Px, \quad P = I_n - B(CB)^{-1}C, \quad (22)$$

можно записать:

$$\xi_{k+1} = PA\xi_k = PAB(CB)^{-1}y_k, \quad (23)$$

При этом использованная замена (22) не является обратимой.

При $l > m$ широко используется метод «оквадрачивания» системы путем добавления $(l - m)$ новых нулевых входов, воздействующих на систему через матрицу B' .

Здесь наблюдателем служит динамическая система

$$\xi_{k+1}^{n-m} = A_{11}\xi_k^{n-m} + A_{12}y_k,$$

и статический преобразователь

$$\bar{x}_k = \begin{pmatrix} E_{n-m} \\ C_m^{-1}C_{n-m} \end{pmatrix} \xi_k^{n-m} + B(CB)^{-1}y_k. \quad (24)$$

При вычислении вектора состояния \bar{x}_k в выражениях (22), (23) и (24) необходимо обращать матрицу $T = CB$. От точности обращения этой матрицы существенно зависит эффективность алгоритмов восстановления входных воздействий.

Матрица T в выражениях (22), (23) и (24) является квадратной. Учитывая это обстоятельство введем следующие обозначения

$$\gamma_{t+1} = \gamma_t - \gamma_t a_{t+1}^T (a_{t+1} \gamma_t a_{t+1}^T)^+ a_{t+1} \gamma_t, \quad \gamma_0 = I, \quad (25)$$

$$X_{t+1} = X_t + \gamma_t a_{t+1}^T (a_{t+1} \gamma_t a_{t+1}^T)^+ (c_{t+1} - a_{t+1} X_t), \quad X_0 = 0, \quad (26)$$

где $a_t, t = 1, 2, \dots, n$ – строки матрицы T ; $\gamma_{t+1}, t = 1, 2, \dots, n$ – последовательность матриц размерности $(n \times n)$; $c_t, t = 1, 2, \dots, n$ – строки матрицы $I - \gamma_n$; $0 = 0_{(n \times n)}$ – нулевая матрица.

При решении систем рекуррентных уравнений (25), (26) необходимо вычислять разрывную функцию

$$(a_{t+1} \gamma_t a_{t+1}^T)^+ = \begin{cases} 1/a_{t+1} \gamma_t a_{t+1}^T, & a_{t+1} \gamma_t a_{t+1}^T \neq 0, \\ 0, & a_{t+1} \gamma_t a_{t+1}^T = 0. \end{cases} \quad (27)$$

ошибка в вычислении которой при значении $a_{t+1} \gamma_t a_{t+1}^T$, близком к нулю, может сильно исказить получаемые результаты.

Далее последовательно решается система рекуррентных уравнений (27) и проверяются значения

$$S_p \frac{\gamma_t a_{t+1}^T a_{t+1} \gamma_t}{a_{t+1} \gamma_t a_{t+1}^T}, \quad \sum_{i,j=1}^n [\gamma_{ij}^2(t) - \gamma_{ij}^2(t+1)] = \|\gamma_t\|^2 - \|\gamma_{t+1}\|^2,$$

которые должны быть равны единице, а также значения $\rho_t = \|\gamma_t - \gamma_t^2\| / \|\gamma_t^2\|$, которые должны быть равными нулю.

Приведенные алгоритмы позволяют повысить точность определения входных воздействий при наличии возмущений.

Здесь также рассмотрены вопросы построения алгоритмов восстановления неизвестных входных воздействий динамических систем в условиях коррелированного шума объекта и синтеза многофункциональных наблюдателей состояния для линейных систем. Показано, что при их практической реализации эффективными оказываются вычислительные схемы метода регуляризации, сингулярного разложения и “умеренной порчи”.

В четвертой главе диссертации «**Применение разработанных алгоритмов синтеза в задачах управления теплоэнергетическими объектами**» приводятся результаты применения разработанных алгоритмов при автоматизации котлоагрегата.

Вопросы автоматизации и управления теплоэнергетическими объектами будем рассматривать по одному из важных каналов котлоагрегата: «расход воздуха - температура аэросмеси».

Для математического описания рассматриваемого объекта по каналу «расход воздуха - температура аэросмеси» будем использовать метод кривых разгона, в результате чего получим передаточную функцию вида:

$$W(s) = \frac{y(s)}{u_1(s)} = \frac{k_{oy} \cdot e^{-s \cdot h}}{a_2 \cdot s^2 + a_1 \cdot s + 1}, \quad (28)$$

где k_{oy} - относительный коэффициент передачи объекта.

Базовые значения коэффициентов модели (28) приняты следующими:

$$k_{oy} = 0.014, \quad h = 18, \quad a_1 = 10457, \quad a_2 = 219. \quad (29)$$

Принимая во внимание, что величина постоянного запаздывания h на порядок меньше наименьшей постоянной времени, то можно принять $h=0$.

В связи с тем, что в системе регулирования предусмотрен исполнительный механизм постоянной скорости, обобщенный объект управления может быть записан в виде:

$$W(s) = \frac{y(s)}{u(s)} = \frac{K}{a_2 \cdot s^3 + a_1 \cdot s^2 + s},$$

или

$$\begin{aligned} \frac{dx(t)}{dt} &= A \cdot x(t) + B \cdot u(t) + \tilde{w}(t), \\ y(t) &= L^T \cdot x(t), \\ \tilde{w}(t) &= (0; 0; w(t)), \end{aligned} \quad (31)$$

где

$$\begin{aligned} A &= [0 \ 1 \ 0; 0 \ 0 \ 1; 0 \ (-1/a_2) \ (-a_1/a_2)], \quad B = [0; 0; (K/a_2)], \\ L^T &= [1 \ 1 \ 0], \quad |w(t)| \leq w_0 = const. \end{aligned}$$

Для построения системы управления рассматриваемым объектом будем использовать концепции приспособляющихся к возмущению регуляторов. С этой целью рассмотрим интерпретацию регулятора, поглощающего возмущения, в терминах передаточных функций для линейного объекта с постоянными параметрами и моделями постоянных возмущений.

Таким образом, будем предполагать, что модели объекта и возмущений имеют вид:

$$\dot{x} = Ax + bu + fw, \quad (32)$$

$$y = \langle c, x \rangle; \quad (33)$$

$$w = \langle h, z \rangle, \quad \dot{z} = Dz + \sigma(t). \quad (34)$$

В случае регулятора, полностью поглощающего возмущения, вектор f коллинеарен вектору b , а именно, существует такая ненулевая скалярная константа β , при которой $f = b\beta$. Таким образом, управление, поглощающее возмущение, может быть выражено в виде:

$$u_d = -\beta \langle h, \hat{z} \rangle; \quad \gamma_1 = \beta h, \quad b\gamma_1 = fh. \quad (35)$$

Основная задача управления состоит в стабилизации состояния $x=0$; тогда u_p имеет известную форму:

$$u_p = \langle k, \hat{x} \rangle, \quad (36)$$

где $\dot{x} = (A + bk)x$ представляет собой уравнение желаемой динамики после поглощения $w(t)$, u_p - вектор требуемого управления состоянием x_k и выходной переменной y_k .

Используя уравнения (35) и (36) комбинированный построитель состояния на основе преобразования Лапласа можно записать в виде:

$$\begin{pmatrix} \hat{x}(p) \\ \hat{z}(p) \end{pmatrix} = -[pI - A]^{-1} \begin{pmatrix} k_{11} \\ k_{21} \end{pmatrix}^{y(p)}; \quad u(p) = (k - \beta h) \begin{pmatrix} \hat{x}(p) \\ \hat{z}(p) \end{pmatrix}; \quad A = \begin{bmatrix} A + bk + k_{11}c & 0 \\ k_{21}c & D \end{bmatrix},$$

и, следовательно, передаточная функция регулятора $G_c(p) = \frac{u(p)}{y(p)}$ определяется выражением:

$$G_c(p) = \frac{-P_c(p)}{Q_{c1}(p)Q_{c2}(p)}, \quad (37)$$

где $Q_{c1}(p) = \det[pI - (A + bk + k_{11}c)]$; $Q_{c2}(p) = \det[pI - D]$.

Передаточная функция $G_p(p)$ объекта, описываемого уравнениями (32) и (33), запишется в виде:

$$y(p) = G_p(p)(u(p) + \beta w(p)), \quad f = b\beta,$$

где $G_p(p) = \frac{P_p(p)}{Q_p(p)}$.

На основе приведенных выражений можно предложить следующую функциональную схему (рис.1) адаптивной системы управления параметрами котлоагрегата по каналу «расход воздуха - температура аэросмеси».

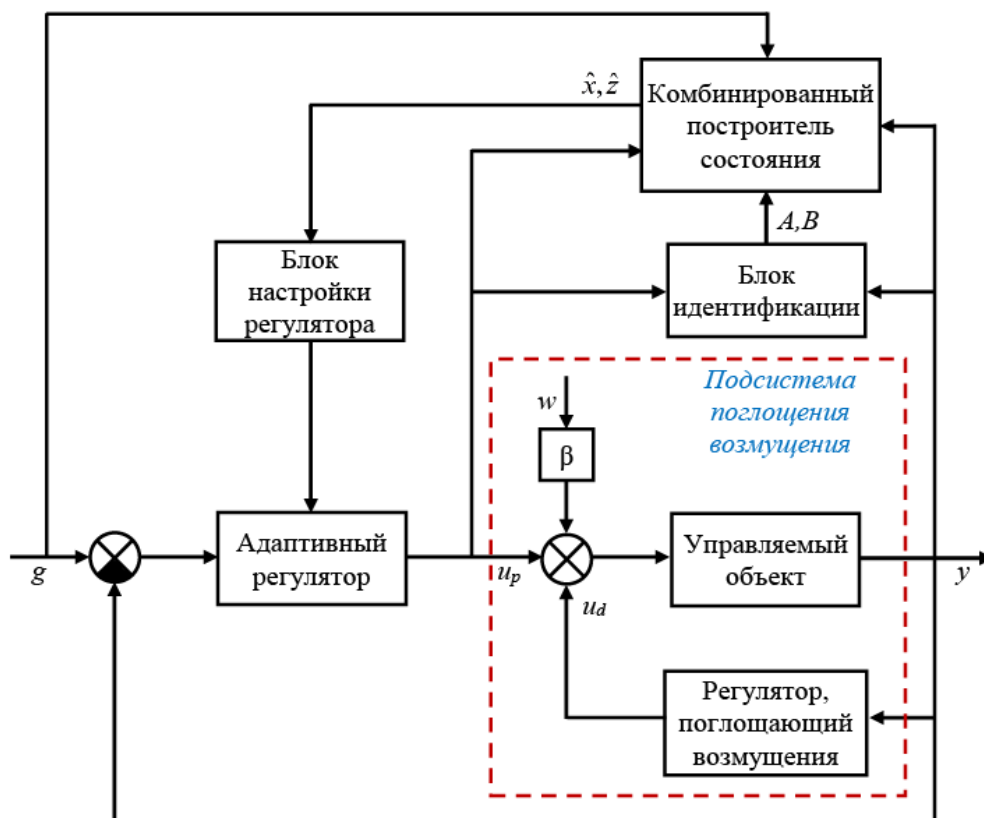


Рис. 1. Функциональная схема адаптивной системы управления параметрами котлоагрегата по каналу «расход воздуха - температура аэросмеси»

Используя стандартные алгебраические преобразования для схемы рис. 1, находим, что передаточная функция подсистемы поглощения возмущений равна:

$$G_0(p) = \frac{y(p)}{w(p)} = \frac{\beta P_p(p) Q_{c1}(p) Q_{c2}(p)}{Q_p(p) Q_{c1}(p) Q_{c2}(p) + P_p(p) P_c(p)}. \quad (38)$$

На следующих рисунках представлены реализации переходных процессов выходной координаты y (температура аэросмеси) без регулятора G_c , поглощающего возмущения, так и при его наличии в системе управления.

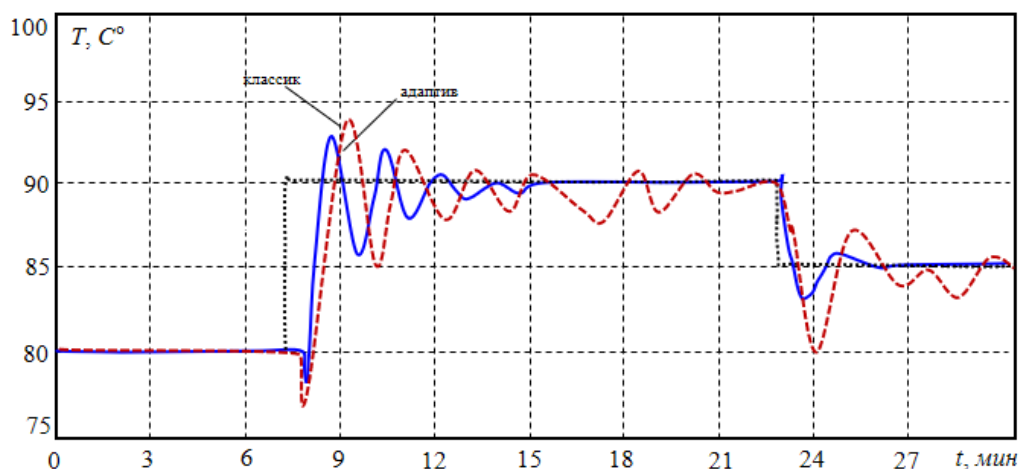


Рис.2. График переходного процесса выходной координаты y без регулятора G_c , поглощающего возмущения

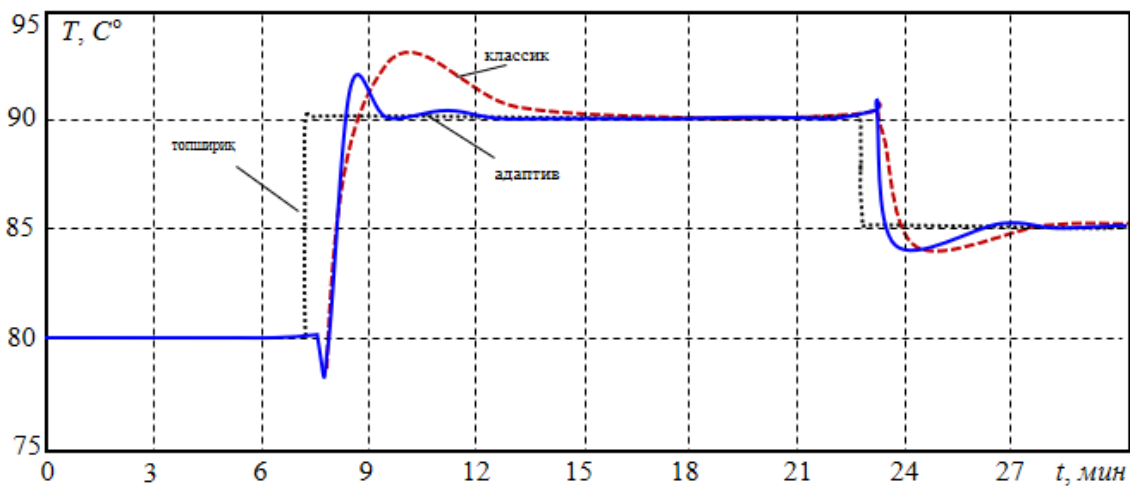


Рис.3. График переходного процесса выходной координаты у при наличии в контуре управления регулятора G_c , поглощающего возмущения

Как видно из приведенных рисунков, качественные показатели процессов управления в системе управления с регулятором G_c , поглощающим возмущения, значительно выше по сравнению с системой управления без G_c .

Таким образом, предложенная адаптивная система управления параметрами котлоагрегата по каналу «расход воздуха - температура аэросмеси» обеспечивает лучшее качество регулирования и обладает достаточной для рассматриваемого процесса точностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основе методов системного анализа, теории автоматического управления, динамической фильтрации, и решения некорректных задач, разработаны алгоритмы устойчивого восстановления неопределенных входных воздействий в системах управления технологическими объектами.

В итоге получены следующие научные результаты;

1. Предложены алгоритмы устойчивого восстановления входных сигналов в динамических системах управления на основе процедуры сингулярного разложения матриц. Полученные алгоритмы позволяют повысить точность оценивания входных сигналов и уменьшить вычислительные затраты на построение регуляризованных решений.
2. Разработаны алгоритмы формирования и построения устойчивых алгоритмов оценивания неизвестных сигналов на основе метода наименьшей оценки невязки. Полученные алгоритмы позволяют формировать регуляризирующие алгоритмы восстановления сигналов на классе эквивалентных по точности входных данных.
3. Разработаны алгоритмы устойчивого восстановления входных воздействий на основе концепции псевдообращения. Приведенные алгоритмы позволяют проводить устойчивые вычисления, отвечающие как

угодно малым значениям погрешности правой части операторного уравнения.

4. Разработаны алгоритмы устойчивого восстановления входных воздействий динамических систем на основе вариационных неравенств с использованием операторного метода регуляризации. Полученные выражения позволяют обеспечить сходимость искомых решений на основе операторного метода регуляризации.
5. Разработаны алгоритмы устойчивого восстановления неизвестных входных воздействий в управляемых системах на основе методов динамической фильтрации. Приведенные алгоритмы позволяют стабилизировать процедуру обращения матриц при оценивании состояния стохастических объектов и тем самым повысить точность определения истинной оценки вектора состояния.
6. Разработаны алгоритмы синтеза многофункциональных наблюдателей состояния для линейных систем. Приведенные выражения позволяют получать оценки нескольких линейных функций переменных состояния, когда обратные связи в системе управления являются линейными функциями состояния объекта.
7. Разработаны алгоритмы восстановления входных воздействий в условиях неопределенности с помощью методов прямого численного анализа рекуррентного типа. Приведенные алгоритмы позволяют повысить точность определения входных воздействий при наличии возмущений.
8. Предложена методика анализа связи между оцениванием входных воздействий и управлением по возмущению в динамических системах. Приведенная методика позволяет использовать разнообразные алгоритмы оценивания входных воздействий в задачах синтеза инвариантных систем управления динамическими системами.
9. На основе разработанных алгоритмов регулярного синтеза предложены алгоритмы синтеза адаптивной системы управления параметрами котлоагрегата по каналу «расход воздуха - температура аэросмеси». Предложенная адаптивная система управления позволит стабилизировать технологические режимы протекания процесса и повысить качество и эффективность его функционирования.

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

TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY

KHOLKHODJAEV BOKHODIR ASATULLAYEVICH

**ALGORITHMS FOR SUSTAINABLE RECOVERY OF UNCERTAIN
INPUT IMPACTS IN CONTROL SYSTEMS OF TECHNOLOGICAL
OBJECTS**

05.01.08 - Automation and control of technological processes and manufactures

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

Tashkent – 2021

The theme of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number №B2017.3.PhD/T197.

The dissertation was completed at the Tashkent State Technical University.

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

Scientific consultant:

Igamberdiev Khusan Zakirovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician

Official opponents:

Ismailov Mirkhalil Agzamovich

Doctor of Technical Sciences, Professor

Iskandarov Zokhid Ergashbaevich

PhD in technical sciences

Leading organization:

Navoi state mining institute

Defense of dissertation will take place in «27» 11 2021 at 12⁰⁰ 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 27). (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (99871) 207-14-70)

Abstract of the dissertation distributed «12» 11 2021 year
(mailing report №17, on «03» 11 2021 year).



N.R.Yusupbekov

Chairman of Scientific Council
on awarding scientific degrees,
Doctor of Technical sciences, Professor, Academician

U.F.Mamirov

Scientific Secretary of Scientific Council,
on awarding scientific degrees,
PhD in technical sciences, associative professor

J.U.Sevinov

Vice-chairman of the Academic Seminar
under the Scientific Council on awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, associative professor

INTRODUCTION (abstract of DSc thesis)

The aim of the research is to develop algorithms for the stable recovery of uncertain input effects in control systems of technological objects and computational schemes for their practical implementation.

The object of the research is the control systems of technological objects in conditions of uncertainty of input actions.

The scientific novelty of the dissertation research is as follows:

algorithms have been developed for the formation and construction of stable algorithms for estimating unknown signals based on the method of the least residual estimate, which differ from the known ones in that the obtained algorithms allow the formation of regularizing algorithms for signal recovery on a class of input data equivalent in accuracy;

algorithms for stable recovery of input actions of dynamic systems have been developed on the basis of variational inequalities, which differ from the known ones in that the obtained expressions make it possible to ensure the convergence of the sought solutions;

algorithms for stable recovery of uncertain input actions in controlled systems based on dynamic filtering methods have been developed, which allow stabilizing the matrix inversion procedure when assessing the state of stochastic objects;

reconstruction algorithms have been developed under uncertainty conditions using methods of direct numerical analysis of the recurrent type, which make it possible to increase the accuracy of determining the input actions in the presence of disturbances.

Implementation of research results. The obtained scientific results on the sustainable recovery of uncertain input impacts in the control systems of technological objects are implemented in the following forms:

algorithms for the formation and construction of stable algorithms for estimating unknown signals based on the method of the lowest residual estimation were implemented at JSC Navoi TPP (Reference of JSC “Thermal Power Stations” No. 02-20/3360 dated December 29, 2020). The algorithms allow us to form regularizing algorithms for restoring signals on a class of boiler unit input data equivalent in accuracy for the channel “air flow - air mixture temperature”;

algorithms for the stable recovery of input effects of dynamic systems based on variational inequalities using the operator regularization method were implemented at JSC Navoi TPP (Reference of JSC “Thermal Power Stations” No. 02-20/3360 dated December 29, 2020). As a result, the convergence of the desired solutions is ensured and the accuracy of calculating the controller parameters is increased;

algorithms for the sustainable recovery of uncertain input impacts in controlled systems based on dynamic filtering methods have been implemented at Navoi TPP JSC Navoi TPP (Reference of JSC “Thermal Power Stations” No. 02-20/3360 dated December 29, 2020). As a result, the accuracy of determining the true estimate of the state vector when the object parameters are perturbed increases.

The structure and scope of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, references and appendices. The volume of the dissertation is 111 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (Часть I; Part I)

1. Холходжаев Б.А. Алгоритм устойчивого восстановления входных сигналов в динамических системах // Вестник ТГТУ, №4, 2018 г., –С. 54-57. (05.00.00, №16)

2. Игамбердиев Х.З., Холходжаев Б.А., Мамиров У.Ф. Формирование устойчивых алгоритмов оценивания неизвестных входных сигналов в динамических системах управления // Технические науки и инновации, ТГТУ, 2019 г., -№1, –С. 63-67. (05.00.00, №16)

3. Igamberdiev H.Z., Kholhodjaev B.A. Algorithms for sustainable recovery of input influence on the basis of dynamic filtration methods // International Journal of Psychosocial Rehabilitation, USA, Vol. 24, Issue 03, 2020, Page: 232-239. (41, SCImago, IF 0.111)

4. Igamberdiev H.Z., Zaripov O.O., Kholhodjaev B.A. Algorithms For Recovery Of Undefined Input Effects Of Dynamic Systems Under Conditions Of Correlated Noise Of Object // International Journal of Advanced Science and Technology, Australia, Vol. 29, No. 9s, 2020, Page: 5863-5869. (41, SCImago, IF 0.108)

5. Kholhodjaev B.A. Algorithms for the synthesis of multifunctional state monitors for linear system // Technical science and innovation, №2/2020, -PP: 92-96. Tashkent 2020. (05.00.00, №16)

6. Kholhodjaev B.A. Algorithms to restore the input effects of dynamic systems in conditions of uncertainty // Technical science and innovation, №4/2020, -PP. 150-154. Tashkent, 2020. (05.00.00, №16)

II бўлим (Часть II; Part II)

7. Холходжаев Б.А. Алгоритмы оценивания коэффициентов авторегрессии в условиях неполной информации / Сборник материалов международной научной технической конференции "Современные материалы, техника и технологии в машиностроении". 19-20 апреля 2014 год. Андижон-2014. Стр. 138-139.

8. Sevinov J.U., Zaripov O.O., Makhmudov M.I., Kholhodjaev B.A. Regular algorithm of adaptive estimation and control of dynamic objects based on models / Conference proceedings MITA 2015. The 11th International Conference on Multimedia Information Technology and Applications. June 30 - July 2, 2015. Tashkent, Uzbekistan. Page: 384-387.

9. Холходжаев Б.А. Устойчивые алгоритмы адаптивной идентификации динамических объектов управления / IX Международной научной-технической конференции: достижения, проблемы горно-металлургического комплекса. Навои. 12-14 июня 2017 г. –С. 521-522.

10. Холходжаев Б.А. Алгоритм оценивания неизвестных входных сигналов в динамических системах управления / Замоновий ишлаб чиқаришининг

муҳандислик ва технологик муаммоларини инновацион ечимлари. Халқаро илмий анжуман материаллари. II том. 14-16 ноябрь 2019 й. Бухоро с. 228-230.

11. Kholkhodjayev B.A., Mamirov U.F. Application of the operational regularization method for restoring the input signals of dynamic systems based on variation inequalities / Scientific Collection «InterConf», (45): with the Proceedings of the 3th International Scientific and Practical Conference «Scientific Community: Interdisciplinary Research» (March 16-18, 2021). Hamburg, Germany: Busse Verlag GmbH, 2021. –PP. 500-503.

12. Холходжаев Б.А. Устойчивое оценивание входных сигналов динамических систем на основе методов динамической фильтрации / Республиканской научной конференции «Актуальные вопросы математики и прикладной математики в эпоху глобализации». -Ташкент. ТГТУ, 2021. Том 2. –С. 165-167.

13. Холходжаев Б.А. Алгоритмы устойчивого восстановления входных сигналов в динамических системах / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ, № DGU 06372, 01.05.2019.

14. Игамбердиев Х.З., Холходжаев Б.А. Формирование устойчивых алгоритмов оценивания неизвестных входных сигналов в динамических системах управления / Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ, № DGU 07103, 23.10.2019.

Автореферат “Technical science and innovation” илмий журнали таҳририяида таҳрирдан ўтказилди ҳамда ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларини мослиги текширилди.

Бичими: 84x60 ¹/₁₆. «Times New Roman» гарнитураси.
Рақамли босма усулда босилди.
Шартли босма табоғи: 2,75. Адади 100. Буюртма № 64/21.

Гувоҳнома № 851684.
«Тірографф» МЧЖ босмаҳонасида чоп этилган.
Босмаҳона манзили: 100011, Тошкент ш., Беруний кўчаси, 83-уй.