

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ  
ИЛМий ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.Т.03.02 РАҚАМЛИ  
ИЛМий КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**АТАУЛЛАЕВ АЗИЗЖОН ОДИЛОВИЧ**

**РАДИОТЕХНИК КУЗАТУВЧИ ТИЗИМЛАРНИНГ ЭЛЕМЕНТЛАРИ ВА  
ҚУРИЛМАЛАРИНИ СИНТЕЗЛАШ УСУЛЛАРИ ВА АЛГОРИТМЛАРИ**

**05.01.06–Ҳисоблаш техникаси ва бошқарув тизимларининг элементлари  
ва қурилмалари**

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

**Тошкент–2017**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (Phd)  
диссертацияси автореферати мундарижаси**

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

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD) on  
Technical Sciences**

**Атауллаев Азизжон Одилович**

Радиотехник кузатувчи тизимларнинг элементлари ва қурилмаларини  
синтезлаш усуллари ва алгоритмлари .....3

**Атауллаев Азизжон Одилович**

Методы и алгоритмы синтеза элементов и устройств радиотехнических  
слеящих систем.....21

**Ataullaev Azizjon Odilovich**

Methods and algorithms for the synthesis of elements and devices of radio tracking  
systems.....39

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

**Список опубликованных работ**

List of published works .....42

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ  
ИЛМий ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.Т.03.02 РАҚАМЛИ  
ИЛМий КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**АТАУЛЛАЕВ АЗИЗЖОН ОДИЛОВИЧ**

**РАДИОТЕХНИК КУЗАТУВЧИ ТИЗИМЛАРНИНГ ЭЛЕМЕНТЛАРИ ВА  
ҚУРИЛМАЛАРИНИ СИНТЕЗЛАШ УСУЛЛАРИ ВА АЛГОРИТМЛАРИ**

**05.01.06–Ҳисоблаш техникаси ва бошқарув тизимларининг элементлари  
ва қурилмалари**

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

**Тошкент–2017**

**Фалсафа доктори (Doctor of Philosophy) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2017.I.PhD/Т6 рақам билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) ва «Ziyonet» Ахборот таълим порталида ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:**

**Юсупбеков Азизбек Нодирбекович**  
техника фанлари доктори

**Расмий оппонентлар:**

**Раджабов Тельман Дадаевич**  
ЎзР ФА академиги, физика-математика фанлари доктори, профессор

**Алиев Равшан Маратович**  
техника фанлари номзоди, доцент

**Етакчи ташкилот:**

**Бухоро муҳандислик-технология институти**

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.27.06.2017.Т.03.02 рақамли Илмий кенгашининг 2017 йил «20» июль соат 12<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади. Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўч., 2. Тел./факс: (99871) 246-46-00; (99871) 227-10-32; e-mail: [tstu\\_info@edu.uz](mailto:tstu_info@edu.uz).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (\_\_\_ рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўч., 2. Тел.: (99871) 246-03-41.

Диссертация автореферати 2017 йил «08» июль куни тарқатилди.  
(2017 йил «01» июль даги \_1 - рақамли реестр баённомаси)

**Н.Р. Юсупбеков,**

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси,  
ЎзР ФА академиги, т.ф.д., профессор

**Ш.А. Тураев,**

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби,  
т.ф.н., доцент

**Х.З. Игамбердиев,**

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги  
илмий семинар раиси, т.ф.д., профессор

## КИРИШ

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** IT-технологияларни жадал ривожланиши турли соҳаларда динамик объектларни назорат қилиш ва бошқаришда тўлқин каналли ноаниқ параметрлар шароитида ишончли ишлашни функционаллаштириш долзарб муаммолардан бири ҳисобланади. Бу борада ривожланган мамлакатларда тўлқин каналли кузатув тизимларини ростлаш ва техник-иқтисодий кўрсаткичлари сифатини ошириш, интеллектуал назорат қилиш ва бошқариш тизимларининг доимий такомиллаштиришга алоҳида эътибор қаратилмоқда. «Тўлқин каналли кузатув тизимларни ишлаб чиқариш жараёнига қўллаш, ресурс ва энергия тежамкорлигини 5-30% га қисқартиришга ва технологик қурилмаларни ишлаш муддатини узайтиришга эришилади»<sup>1</sup>.

Республикамиз мустақилликка эришгандан буён ҳисоблаш техникаси ва ишлаб чиқариш жараёнларни бошқариш тизимларининг элементлари ва қурилмаларини яратишни ривожлантириш йўналишида илмий изланишларга оид тадбирларни юқори даражада ташкил қилиш юзасидан кенг қамровли чора-тадбирлар амалга ошириб, муайян натижаларга эришилди. Бу борада тўлқин каналли кузатув тизимларининг дискриминацион характеристикаларига боғлиқ динамик объектларни назорат қилиш ва бошқариш тизимлари лойиҳалаш усуллари яратиш ишларини алоҳида таъкидлаш мумкин.

Жаҳонда турли технологик кирувчи таъсирларнинг ноаниқлиги шароитида назорат қилиш ва бошқариш технологиясини интеллектуаллаштириш, билимлар баъзасини шакллантириш ва улар асосида бошқариш тизимини ишлаб чиқиш ва такомиллаштириш муҳим аҳамият касб этмоқда. Бу борада тўлқин каналли бошқариш тизимининг такомиллаштирилган жиҳозлар тугун бўғинлари ва элементларини ишлаб чиқиш, тўлқин каналли кузатув тизимининг умумий электр узатма асосий дискриминацион характеристикаларини такомиллашган вариантини ишлаб чиқиш, тўлқин каналли кузатув тизимининг ишончилигини, самарадорлигини ва функционал имкониятларини ошириш натижасида умумий электр узатма характеристикасини такомиллаштириш каби йўналишларда мақсадли илмий изланишларни амалга ошириш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2013 йил 27 июндаги ПҚ-1989-сон «Ўзбекистон Республикаси Миллий ахборот-коммуникация тизимини янада ривожлантириш чора-тадбирлари ҳақида»ги, Вазирлар Маҳкамасининг 2013 йил 31 декабрдаги «Ўзбекистон Республикасида ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш ҳолатини баҳолаш тизимини жорий этиш чора-тадбирлари тўғрисида»ги 355-сон қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли барча меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

---

<sup>1</sup> www. <https://vak2.ed.gov.ru>.

**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.** Кузатувчи тизимларни параметрик синтезининг ривожланиши масаласида чет эл олимлари катта ҳисса қўшганлар Б.Н. Петров, А.А. Красовский, В.Ю. Рутковский, А.Л. Фрадков, Е. Мамдани, Т. Саати, М. Сугено, Т. Ямакава ва бошқаларнинг ҳиссаси катта. Бунга қарамай тизим ҳолати тўғрисидаги маълумотнинг нотўлиқлиги шароитида мураккаб кўпўлчовли объектлар учун қўзғалувчан объектларни кузатувчи бошқариш тизимининг синтези масалалари ҳозиргача далзарбдир.

Қўзғалувчан объектларни юқори самарали кузатувчи бошқарув тизимларининг синтезига қуйидаги чет эл ва ватанимиз олимлари катта ҳисса қўшганлар: В.К. Кабулов, Ф.Б. Абуталиев, Д.А. Абдуллаев, Н.Р. Юсупбеков, Т.Ф. Бекмуратов, М.М. Камиров, Р.А. Захидов, Т.Д. Раджабов, Х.З. Игамбердиев, М.М. Мухитдинов, А.Р. Марахимов, А.А. Кадыров, А.А. Халиков, А.А. Абдуқаюмов, С.Ф. Амиров, С.С. Касымов, Х.К. Арипов, Р.И. Исаев, П.Р. Исматуллаев, Р.К. Азимов, А.М. Назаров, Ю.Г. Шипулин, А.М. Плахтиев, Ф.Т. Адилов, Ю.Р. Рашидов, М.А. Исмаилов, Б. Азимов ва бошқалар.

Тўлқинли каналларга эга кузатув тизимларига талабларнинг ошиши ўлчанадиган маълумот нотўлиқлигининг «факторсиз», ўлчов шовқинлари, тизим параметрларини аниқлашдаги конструктив, параметрик ва эксперт ноаниқлигини инобатга олган ҳолда бошқариш ва назорат қилиш жараёнини сифатли ва самарали амалга оширишга имкон беради. Ушбу муаммоларни ечиш учун бутун дунёда радиотехник кузатув тизимлари ишлаб чиқилмоқда, ammo мураккаб техник объектларни назорат қилиш ва бошқариш технологияларни қўллаш билан боғлиқ ишлар камчилиқни ташкил этади.

**Тадқиқотнинг диссертация бажарилган олий таълим ёки илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университетининг илмий-тадқиқот ишлари режасининг ОТ-Ф1-080 - «Мураккаб технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришнинг интеллектуал бошқарув системаларини қуриш концепциялари ва принципларини ишлаб чиқиш» (2007-2011); Ф-4-56 - «Мураккаб технологик объектларнинг интеллектуал бошқариш системаларини қатъиймас тўпламларни тасвирлаш асосида структурали параметрик синтезлашнинг назарий асосларини ва усулларини ишлаб чиқиш» (2012-2016) мавзуларидаги фундаментал лойиҳалари доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** радиотехник кузатув тизим назорати ва бошқариш потенциалини сезиларли даражада ошириш имконини берувчи тугунлари ва анализ ҳамда синтез элеменлари методлари алгоритмларини ишлаб чиқишдан иборат.

### **Тақиқотнинг вазифалари:**

тўлқин каналли кузатув тизимлари таҳлили ва синтези назарияси ва амалиётининг замонавий ҳолатининг таҳлили ва уларнинг кейинги ривожланиши ва такомиллаштирилишини таҳлил қилиш;

кирувчи таъсир этувчиларни ноаниқ ва нотўғри вазиятларда кузатув тизимларининг қуриш ва баҳолашда самарали функциялари масаласи ечиш;

мураккаб ҳалақит сигналли шароитда ишлайдиган кузатув тизимларини параметрли тузилишини таҳлил қилиш;

радиотехник комплекслар ва тизимларнинг элемент ва тугунларини статик ва динамик режимларини моделлаштириш;

радиотехник кузатув тизимларини синтезлаш усуллари амалга ошириш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида ишлаб чиқариш жараёнидаги мураккаб динамик объектларни назорат қилиш ва бошқаришнинг радиотехник тизим элемент ва тугунлари қаралади.

**Тадқиқотнинг предмети** - радиотехник объектлар назорати ва бошқарув технологияларининг усуллари ва алгоритмлари.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот натижаларини ечишда системали таҳлил, ахборот-ўлчов системалар назарияси, хатоликлар назарияси, замонавий автоматик бошқарув назарияси, ҳамда ҳисоблаш техникаси ва усуллари қўлланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

кузатув тизимини характеристикаси яхшиланганда синтезланаётган тизимни функционал имкониятларини кенгайтишини таъминловчи қайта қуриш усулини ишлаб чиқиш;

фазаланган антенна решеткасининг нуруни бир турғун ҳолатдан бошқасига тезкор ўтказиш масаласини ишлаб чиқиш;

кузатувнинг ноли ўрнатилган хатолигига эга бошқаришнинг кузатув тизимини қуришга имкон берадиган бурчак ўлчовчи кузатув қурилмасини ишлаб чиқиш;

кузатув тизимини бошқаришни янада юқори сифатини таъминловчи синтезини ишлаб чиқиш.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

антеннани азимутал узатмасини бошқариш масаласини математик ва дастурий-алгоритмик таъминоти ишлаб чиқилган;

радиотехник кузатув тизимларини таянч-айланадиган қурилмасини динамик модели ишлаб чиқилган;

бурчак ҳолати ва мўлжални кузатишни амалга оширадиган бортли радиолокацион тизими учун ҳолат тенгламалари ишлаб чиқиш;

қарама қарши юкга эга айланадиган рефлекторни математик модели ишлаб чиқилган;

бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўзгартирадиган дастур бўйича антеннани кўчиришни тезкор автоматик тизими ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Тадқиқот натижаларини ишончлилиги назорат ва бошқарув тизимларини лойиҳалаш масалаларини ечишда муҳандислик амалиёти, компьютерли моделлаштириш, математик

аппаратни тўғри қўллаш, илмий тажриба тадқиқоти ва мавжуд тизимларнинг синови натижалари ўзаро мослиги билан изоҳланади.

### **Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.**

Тадқиқотда олинган натижаларнинг илмий аҳамияти анъанавий ва тўлқин каналли интеллектуал кузатув тизимлари конструктив усуллари ва синтез алгоритмларини қўллаш орқали аниқланади. Ҳам априор маълумотларни ҳам объектнинг ҳолати тўғрисидаги нотўлиқ маълумотлар шароитида векторли кириш ва чиқиш ҳолатида апостериор маълумотларни инobatга оладиган интеллектуаллаштириш элементларига эга тўлқинли каналларга эга кузатув тизимларининг структураси ишлаб чиқилган.

Олинган натижаларининг амалий аҳамияти кириш таъсирлари ноаниқлиги шароитида динамик объектларнинг назорат ва бошқаруви технологияларини интеллектуаллаштириш масалаларининг математик ва алгоритмик таъминотини ишлаб чиқиш, бошқарув объекти ҳолати тўғрисидаги маълумот нотўлиқлиги шароитида динамик объектларнинг структуравий параметрик идентификация масаласини ечишдан иборат.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Радиотехник кузатувчи тизимларнинг элементлари ва қурилмаларини синтезлаш усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

қисқа вақт ичида бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўрнатилган антенна панжарасини фазаланган нурлари ўзгаришини таъминловчи радиотехник кузатув тизимини математик модели ва бошқарув алгоритми «UNICON.UZ» ДУКга жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2016 йил 18 октябр 09-8/5768-сон маълумотномаси). Илмий-тадқиқот натижаси автоматлаштирилган ва ҳисоблаш техникасининг замонавий воситалари ёрдамида енгил амалга оширилувчи моделлаштириш ва ноаниқ бошқариш алгоритмлари мураккаб техник тизимлар бошқариш жараёнлари самарадорлигини ошириш, бошқариш объектлари параметрларини ишончли баҳолаш имконини беради;

радиотехник кузатув тизимларининг тескари алоқаларга амплитудавий дискриминаторлар билан сигналларга даражали ишлов бериш қурилмаси «SANOATALOQA» МЧЖда жорий этилган («O'ZELTEXSANOAT» Акциядорлик компаниясининг 2016 йил 3 ноябрдаги 02-1585-сон маълумотномаси). Илмий-тадқиқотлар натижасида тескари алоқали амплитудали дискриминаторлари элементлари ва қурилмаларини сифатини ҳамда тузилишини такомиллаштириш имконини берган;

антеннани азимутли юритма қурилмаси ва антеннани бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўзгартирадиган узатманинг тезкор ўтказилиши тизими автоматикаси тажриба синови «ZANGORI ЕКРАН» МЧЖда жорий этилган («O'ZELTEXSANOAT» Акциядорлик компаниясининг 2016 йил 3 ноябрдаги 02-1585-сон маълумотномаси). Илмий-тадқиқот натижалари электро-магнит сигнал параметрларини кузатишни амалга оширишда автоматик тизимларини бошқариш усуллари такомиллаштириш имконини берган;

мураккаб халақит сигналли шароитларда фаолият юритувчи радиотехник мажмуалар ва қурилмаларини назорат қилиш ва бошқариш

жараёнларини интеллектуаллаштириш технологияларининг илмий-услугий асосларини асосланганлиги ва кириш таъсирлари ноаниқлиги шароитида тўлқин каналли кузатувчи тизимларни синтезлаш ечимлари Ф-4-56 – «Мураккаб технологик объектларнинг интеллектуал бошқариш системаларини қатъиймас тўпламларни тасвирлаш асосида структурали параметрик синтезлашнинг назарий асосларини ва усулларини ишлаб чиқиш» номли фундаментал лойиҳани (2012-2016 йй.) бажаришда мураккаб халақит сигналли шароитларда ишловчи мураккаб динамик объектларни бошқаришнинг функционал имкониятларини кенгайтириш, тезкорлиги ва аниқлигини оширишда фойдаланилган (Фан ва технологияларни ривожлантиришни мувофиқлаштириш кўмитасининг 2016 йил 3 ноябрдаги ФТК-0313/741-сон маълумотномаси). Илмий натижанинг қўлланилиши мураккаб тизимларни бошқариш жараёнларининг самарадорлигини ошириш, объектларнинг параметрларини ишончли баҳоларини олиш ҳамда моделлаштириш ва ноаниқ бошқаришнинг типик алгоритмларидан фойдаланиш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур тадқиқот натижалари, жумладан 3 та халқаро ва 2 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.** Тадқиқот мавзуси бўйича жами 15 та илмий иш, жумладан, 1 та монография, 7 та мақола, хорижий ва республика журналларида нашр қилинган ҳамда 2 та ЭҲМ учун яратилган дастурий воситаларни қайд қилиш гувоҳномаси олинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация таркиби 122 бетни машинкада ёзилгани ташкил қилади, иллюстрацияланган 41 та расм ва 5 табица.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш** қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объект ва предметлари тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

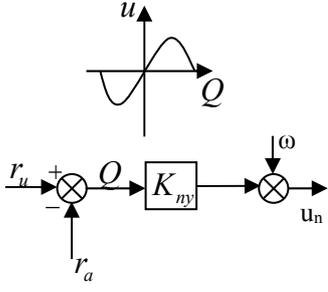
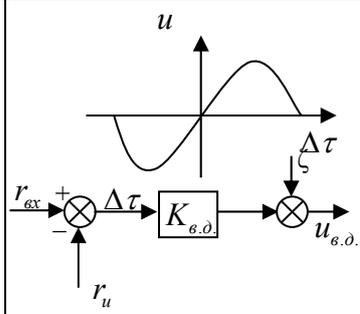
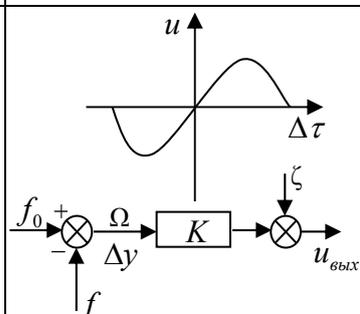
Диссертациянинг «**Кузатув тизимлари синтези назарияси ва амалиётининг замонавий ҳолати**» деб номланган биринчи бобида қаралаётган соҳага оид замонавий амалий ва назарий ҳолати таҳлил қилиниб, унинг кейинги ривожланиш тенденциялари ва такомиллаштирилиши очиқ берилган.

Оптималь бошқарув қонунлари синтези қуйидаги босқичлар учун амалга оширилган: - энг кичик динамик ва статик хатоликларни таъминлайдиган кузатув режими; - бўлиши мумкин бўлган минимал вақт мобайнида

масофанинг шарҳини таъминлайдиган сканерлаш (бу ерга бўлиши мумкин бўлган минимал вақт мобайнида нурнинг бир турғун ҳолатдан бошқасига ўтиш режими ҳам қўшишимиз мумкин); - тор йўлланма диаграммасини ва бошқаларни шакллантиришда электрмагнит тўлқин фазавий фронтининг автоматик коррекцияси; - ёрдамчи масалалар режими (кучайтиришни автоматик ростлаш (КАР) синтези, частотани автоматик созлаш (ЧАС) ва ҳ.к.). Тизимнинг берилган қисми ўлчагич (дискриминатор) ва бошқариш қисмидан ҳамда мўжал динамикасининг эталон сигналидан (ЭС) ташкил топган. Бу ҳолатда дискриминаторларнинг кириш сигналлари деб кузатув системасининг тури билан аниқланадиган тўлқин узунлигига эга электрмагнит тебранишлар олинади. 1 - жадвалда ТККТ дискриминаторларнинг турлари келтирилган.

1 - Жадвал

Кузатув таркибдаги асосий турдаги дискриминатори

Тизимлар тури	Асосий характеристикалар			
	Ўлчагичлар номи ва уларнинг вазифаси	Ўлчагич чиқиши $y = g(x, t) + \omega$	Дискриминацион характеристикалар ва ўлчагичнинг эквивалент схемаси	Ўлчов шовқини
Бурчакли кузатув	Пеленгацион қурилма (бурчакларни ўлчагич). Электрмагнит сигнал олинадиган мўжал йўналиши ва ўрнатилган ўк орасидаги бурчакни ўлчайди	$U_n = g(q, t) + \omega$ $q = r_u - r_a$ $r_a$ - РСЗ ва ўрнатилган ўк орасидаги бурчак. Пеленгацион қурилманинг чизиқли аппроксимацияси $u_n = K_{my}(r_u - r_a) = K_{my}Q$ ; $K_{my} = \frac{\partial u_n}{\partial Q}  _{Q=0}$		-сигнал билан киришга келадиган радио ҳалақитлар ва қабул қилувчи қурилманинг ички шовқини; -мўжалнинг бурчак шовқини; -мўжалнинг амплитудали шовқини.
Масофа бўйича кузатув	Импульс сигналининг вақтинчалик ҳолатини ўлчагич; вақтга боғлиқ селектор.	$u_{\epsilon.д.} = g(\Delta\tau, t) + \zeta$ Ч изиклаштирилган характеристика: $u_{\epsilon.д.} = K_{\epsilon.д.}\Delta\tau + \zeta$ , $K_{\epsilon.д.} = \frac{\partial u_{\epsilon.д.}}{\partial \Delta\tau}  _{\tau=0}$		-қабул қилувчи қурилманинг ички шовқини; - радиочастотадаги ташқи шовқин; -сигналларнинг қотиб қолиши; -амплитудавий шовқин; -акс эттирувчи марказнинг флукутацион аралашуви.
Частота ва фазани кузатиш	Фаза частотавий дискриминаторлар . Частоталар ёки фазаларнинг ҳақиқий ва берилган қийматларининг фарқини ўлчайди	$u_{\epsilon.д.} = g(\Omega, t) + \zeta_{\epsilon.д.}$ $u_{\phi.д.} = g(\Delta y, t) + \zeta_{\phi.д.}$ Чизиқлаштирилган характеристика $u_{\phi.д.} = K_{\phi.д.}\Omega + \zeta_{\phi.д.}$ $u_{\epsilon.д.} = K_{\epsilon.д.}\Delta\varphi + \zeta_{\phi.д.}$		- қабул қилувчи қурилманинг ички шовқини ва ҳ.к.

Диссертациянинг «Тўлқинли каналларга эга кузатув тизимларини лойиҳалаш усуллари ва алгоритмлари» деб номланган иккинчи бобида ТККТни оптимал бошқариш қонунлари синтези масаласи кўриб чиқилмоқда. Биринчи навбатда ТККТнинг умумий иш даври бўйича умумий хатоликни тасвирлайдиган сифат мезонини асослаш керак. Ечиладиган масаланинг

керакли талабларини аниқ чегара шартларга эга дифференциал тенгламалари тизими сифатида шакллантириш учун вариацион ечим усуллари қўлланилиши мумкин. Керакли шартлар Гамильтон-Якобининг айрим ҳосилаларида динамик тенгламалар шаклида динамик дастурлаш жараёнларидан фойдаланганда ҳам амалга ошади. Ушбу тенгламаларнинг ечими чегараланган ҳолат ва сифат мезонлари тенгламалари синфи учун олиниши мумкин. Керакли шароитлар Риккатининг матрицали дифференциал тенгламаси шаклида ҳам ифодаланиши мумкин. Хатолик қийматини  $H$  ҳақиқий ва исталган чиқишлар айирмаси сифатида аниқлаймиз:

$$H[x^d(t), x(t)] = x^d(t) - x(t). \quad (1)$$

Унда тескари алоқага эга оддий бошқарувчи қурилма хатолик қиймати функцияси бўлмиш бошқарувни ҳосил қилади

$$u(t) = u\{H[x^d(t), x(t)]\} = u[x^d(t) - x(t)] \quad (2)$$

Бошқарув  $u(t)$  чиқишнинг ҳақиқий  $x(t)$  ва исталган  $x^d(t)$  бир онли қийматларининг функциясини ташкил қилади.

Оптимальный фильтр ва детерминацияланган ростлагич комбинацияси квадратик функционал ва аддитив гаусс оқ шовқинига эга чизиқли масала учун ансамбль бўйича ўртача маъносида оптимальный ТАга эга ростлагичдир. Оптимальный бошқарув қонуни ансамбль бўйича ўртачаланган квадратик функционал минимизацияси натижасида олинади:

$$J = E\left[\frac{1}{2} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T (x^T Q x + U^T L U) dt\right], \quad (3)$$

бу ерда  $E$  – математик кутиш симболи.

Эргодиклик эҳтимоли учун тенглама (3) даги функционал қуйидагича қайта ёзилади:

$$J = \frac{1}{2} T_2 [QX + G^T L G x], \quad (4)$$

бу ерда  $x$  – жараён ҳолати исталгандан оғиши;  $T_2$  – матрица изи;  $X$  – ҳолат ўзгарувчанларининг стационар ковариацион матрицаси;  $G$  – оптимальный ТА қидирилаётган матрицаси;

$$U^* = -L^{-1} B^T P x = G x. \quad (5)$$

бу ерда:  $U^*$  – оптимальный бошқарув;  $P(t)$  – тескари вақтда интеграллаш орқали аниқланадиган коэффициентлар:

Умумий кўринишда ТККТнинг берилган қисми ҳолат тенгламаси  $\dot{x} = f(x, U, V, t)$ ; ва кузатув тенгламаси  $y = g(x, t) + w$  билан ифодаланади. Бу ерда  $x = [x_1 : x_2 : x_3]^T$  – қуйидаги компонентларга эга  $(n_1 + n_2 + n_3)$  - ўлчовли ҳолат вектори;  $(x_1 - n_1)$  – ўлчовли бошқарув қисми ҳолати вектори;  $(x_2 - n_2)$  – ўлчовли ғалаён вектори;  $(x_3 - n_3)$  – ўлчовли эталон сигнали вектори.

ТККТ чизиқланган модели қуйидаги тенгламалар билан таърифланади:

$$\dot{x}_1 = A x_1 + B U + C v, \quad y_1 = D_1 x_1 + \omega, \quad (6)$$

бу ерда  $x_1$  -  $n_1$ -ўлчовли ғалаён вектори;  $U$  -  $n_2$ -ўлчовли бошқарув вектори;  $v$  -  $n_3$ -ўлчовли ғалаён вектори;  $y_1$  -  $x_1$  билан боғлиқ  $n_1$ -ўлчовли ўлчовлар вектори;

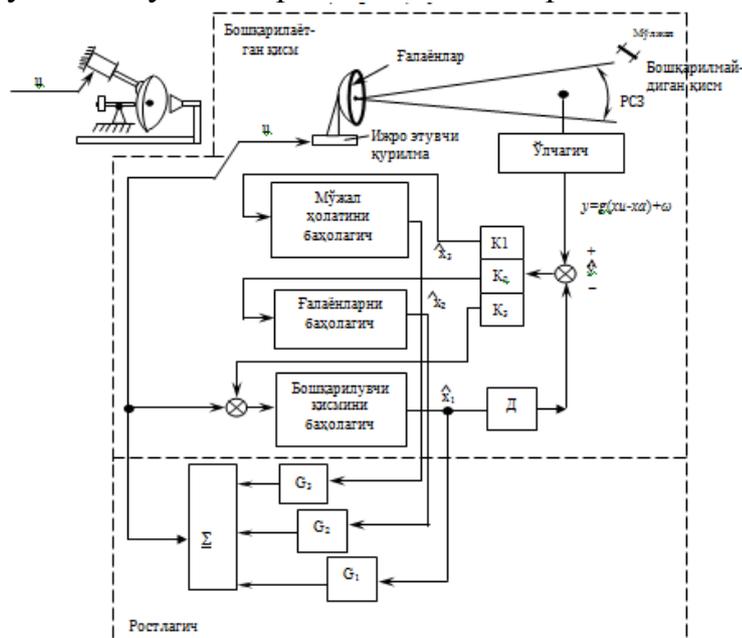
$W_1$  –  $m$ -ўлчовли ўлчовлар шовқини вектори.

Синтез этилаётган тизим (1 - расм) қуйидагича ишлайди.

Ғалаёнларни пайдо қилувчи атроф шартлари қуйидагича таърифланадилар:

$$x_2 = Ex_2 + Fn; \quad v = Hx_2; \quad y_2 = D_2x_2 + W_2; \quad (7)$$

бу ерда  $x_2$  –  $q$ -ўлчовли ғалаёнлар вектори;  $n(t)$  – нолли ўртача қийматга эга оқ шовқин вектори;  $y_2$  –  $x_2$  билан боғлиқ  $m_2$ -ўлчовли ўлчовлар вектори;  $W_2$  –  $m_2$ -ўлчовли ўлчовлар шовқини вектори.



1 - Расм. Кузатув тизимнинг схемаси

Худди шу каби мўжал табиати – вектор  $x_3$  моделлаштирилади. (6) – (7) тенгламаларда  $A, B, C, D_1, D_2, E, F$  ва  $H$  қийматларининг ўлчовлари тегишлича векторлар ўлчовлари билан аниқланадилар. Нисбатлар (7) оқ шовқиндан фаркланадиган тахминий ғалаёнли функциялари моделидир. Биринчи даражали стационар гаусс марк жараёнининг чиқиш сигнали экспоненциал корреляцион функцияга эга.

Киришда оқ шовқинга эга биринчи ёки олий даражада шакллантирувчи филтрларни қўллаганда, чиқишда вақт бўйича корреляцияланган ёки бўйланган шовқин оламиз.

Шовқиннинг корреляцион функциясини шакллантирувчи филтрда тегишли коэффициентларнинг танлови билан аппроксимация қилиш мумкин.

Бу ҳолатда тизимнинг ҳолати ҳолатнинг кенгайтирилган вектори  $x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$  ёки

(мўжални ҳисобга олган ҳолда)  $x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$  билан аниқланади. Ҳолатнинг

кенгайтирилган вектори ҳам гаусс марк жараёнидир. Ҳолатларнинг кенгайтирилган фазосига эга системанинг ҳолати қуйидаги тенгламалар ёрдамида таърифланади:

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & CH \\ O & E \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} B & O \\ O & O \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \\ O \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} O & O \\ F & O \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n \\ o \end{bmatrix}, \quad y = \begin{bmatrix} D_1 & O \\ O & D_2 \end{bmatrix} x, \quad w = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \end{bmatrix}; \quad y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix},$$

улар қуйидагича кўринишларда қайта ёзилишлари мумкин:

$$\dot{X} = \tilde{A}x + \tilde{B}U + \tilde{F}n, \quad y = \tilde{D}x + w. \quad (8)$$

Бунда жараён  $x$  ва халақит  $w$  мустақил деб қабул қилинади. Ушбу

система учун квадратик функционалга эга оптимал чизиқли тенглама куйидаги кўринишга эга:

$$u^* = Gx = [G_1 : G_2] \begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Энг кичик квадратлар усули бўйича баҳолашни амалга оширадиган оптимал фильтр структураси куйидаги векторли дифференциал тенглама билан ифодаланади:

$$\dot{\hat{x}} = \begin{bmatrix} \dot{\hat{x}}_1 \\ \dot{\hat{x}}_2 \end{bmatrix} = \tilde{A} \hat{X} + \tilde{B}U + \tilde{K}(y - \tilde{y}), \quad \hat{X}(t_0) = 0, \quad (10)$$

бу ерда  $\hat{X} - \hat{x}$  баҳоси;  $\tilde{K}$  – тегишлича ҳисобланган матрица.

$(y - \tilde{y})$  айирмасини физик равишда ҳолат ўзгарувчанлари  $x$  ни тиклаганда олинган  $y$  нинг кузатиладиган ва башоратлайдиган қийматларининг айирмаси билан ифодаланиш мумкин.  $K$  ни муноосиб танлаш эвазига тикланиш ҳатолигини  $(x - \hat{x})$  (10) тенгламадаги моделнинг ихтиёрий ҳолатлар учун бошлагич деб олиш мумкин. Вектор  $\hat{X}(t_0)$  бошланғич қиймати одатда нолли деб олинади. Тенглама (10) да матрица  $\tilde{K}$  куйидагича аниқланади:

$$\tilde{K}(t) = \begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \end{bmatrix} = \Delta X(t) \tilde{D}^T w, \quad (11)$$

бу ерда  $K_1 - nxm$ ,  $K_2 - gxm$  ўлчовлари,  $\Delta X$  ва  $w\delta(\tau) = E[w(t)w^T(t+\tau)]$  – ўлчовнинг тегишлича ҳолат ва шовқин баҳоланиш ҳатоликларининг квадрат ковариацион матрицалари.

Пропорционаллик матрицаси  $\tilde{K}$  ҳолат ноаниқлиги  $\Delta X$  ва ўлчовда ноаниқлик  $w$  орасидаги нисбатни ифодалайди. Ковариация матрицаси:

$$\Delta X(t) = E[\Delta X(t)\Delta X^T(t)] = E\left\{\left[\hat{X}(t) - X(t)\right]\left[\hat{X}(t) - X(t)\right]^T\right\} \quad (12)$$

Математик кутиш оператори матрицанинг ҳар бир элементига қўлланилади. Матрицанинг диагонал элементлари – вектор компонентларининг дисперсияларидир. Диагоналдан ташқари турган элементлар – бу аралашган иккинчи даража элементларидир. Матрица  $\Delta X(t)$  – симметрик ва  $(n+1)/2$  турлича элементлардан ташкил топган. Шундай қилиб, ушбу матрица элементлари бўлиб  $X(t)$  векторининг кутилган таркибий қисмларининг филтрлаш ҳатоликларининг дисперсиялари ва ўзаро дисперсияларидан ташкил топган. Матрица  $\Delta X(t)$  элементлари қийматлари Рикатти матрицали тенглама каби нозизиқли тенгламани ечиш натижасида аниқланиши мумкин:

$$\Delta X(t) = \tilde{A}\Delta X(t) + \Delta X(t)\tilde{A}^T + \tilde{F}N\tilde{F}^T - \Delta X(t)\tilde{D}^T w^1 \tilde{D}\Delta X(t), \quad \Delta X(t_0) = \Delta X_0, \quad (13)$$

бу ерда  $N\delta(\tau) = E[n(t)n^T(t + \tau)]$ .

Шундай қилиб, бошқарувни аниқлаш учун берилган бошланғич шартларда матрица  $\Delta X$  учун (13) тенгламани ва берилган охириги шартда матрица  $P$  учун қуйидаги тенгламани ечиш керак

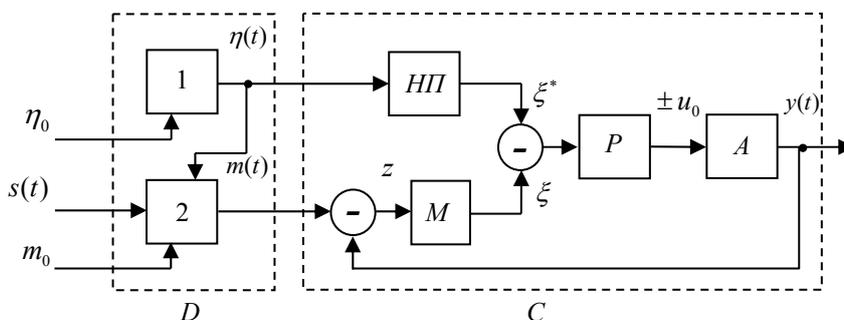
$$U^* = -L^{-1}B^T P X = G X. \quad (14)$$

Бу ерда коэффициентлар  $P(t)$  тескари вақтда Риккати тенгламасини интеграллаш орқали топилади:

$$\dot{P} = -P\tilde{A} - \tilde{A}^T P + P\tilde{B}L^{-1}\tilde{B}^T P - Q. \quad (15)$$

Калман филтрини тўғри ҳисоблаш калити  $w$  ва  $N$  ковариацион матрицаларнинг элементларини тўғри танлашдан иборат. Одатда филтрининг ўтказиш кенглиги  $\|w\|\|N\|^{-1}$  нисбатга боғлиқ.

Кузатув тизимларини оптималъ блок-схемаси 2-расмда кўрсатилган. Аслида тизим иккита элементга бўлинади – аслида кийинги тизим  $C$  ва қурилма  $D$ , қайта ишланган кириш сигнали. Тизмга априорли белгилар киритилади  $\eta_0, m_0$  бошланғич шароит аниқлиги.



2 – расм. Кузатув тизимларини оптималъ блок-схемаси  
1,2 – ҳал қилувчи блоklar; *НП* – чизиксиз ўзгартирувчи,  
*M* – масштабни блок, *P* – реле

Тенглик 1,2 – блокда ечилади

$$\frac{dm}{dt} = -\frac{2D}{N}(m-s) + a, \quad \frac{dD}{dt} = -\frac{2D^2}{N} + B. \quad (16)$$

*НП* блокда функция  $\xi^*$  келиб чиқади

$$\xi^* = \frac{1}{2} \beta (1 + \eta^2) \frac{q_1 + q_2}{q_1 q_2} = \xi_2^* (1 + \eta^2). \quad (17)$$

$\Gamma_1$  ўрнатилган хатоликни таққослаймиз.

$$\Gamma_1 = \beta + \frac{\beta^2}{4} (1 + \eta^2) \frac{q_1^2 + q_2^2}{q_1^2 q_2^2} \quad (18)$$

оптимал тизим учун ва  $\Gamma_0$  аналогли тизим учун, *НП* блок бўлмайдиган тизимда. Охириги тизим учун хато  $\Gamma_0$  секин ўзгарадиган усул билан ёки бошқача қуйидаги усул билан ҳисоблаб чиқилади ва бу қуйидагини беради:

$$\Gamma_0 = \beta + \frac{\beta^2}{2} (1 + \eta^2) \frac{q_1^2 + q_1 q_2 + q_2^2}{q_1^2 q_2^2}. \quad (19)$$

Ифодани қуйиб  $q_1, q_2$  дан

$$\varphi(z, D) = \left(\frac{2B}{N}\right)^{3/2} f_0(z, D), \quad q_1 = a - u_0, \quad q_2 = a - u_0, \quad (20)$$

(18) ва (19), дан оламиз

$$\Gamma_1 = \beta + \frac{\beta^2}{2}(1 + \eta^2) \frac{u_0^2 + a^2}{(u_0^2 - a^2)^2}, \quad (21)$$

$$\Gamma_0 = \beta + \frac{\beta^2}{2}(1 + \eta^2) \frac{u_0^2 + 3a^2}{(u_0^2 - a^2)^2}. \quad (22)$$

$u_0$  га қараганда  $a$  нинг силжиши тезлиги кам бўлмаганда (21) ва (22) тенгламаларидан тизимнинг такомиллашиши фулуктациянинг ( $\beta$  параметрлари билан характерланганда) катталашганида кўринади.

Диссертациянинг «**Кузатув тизимини элементлари ва тугунларининг математик тавсифи**» деб номланган учинчи бобида аналитик усуллар ёрдамида ўрганаётган кузатув тизимининг элемент ва тугунларининг статикаси ва динамиксининг математик таърифи келтириб чиқарилган. Антеннанинг азимутал узатмасининг моделлаштируви амалга оширилган. Таянч-айланма қурилмасини ҳисоблаганда қуйидаги асосий омиллар инобатга олинади: тизимнинг эластиклиги, қурилма қисмларининг инерция моменти; шамол шиддатига боғлиқ ғалаёнлар моментлари. Антеннанинг ойнаси инерция моменти  $I_d$  билан таърифланади ва минора таянчларининг эластиклигини таърифлайдиган  $K$  қаттиқлигига эга эквивалент эластик пружинанинг асосига боғлиқ. Антенна ойналари шамол тезлиги ва шамолга нисбатан антенна жойлашувига боғлиқ ғалаёнлари олиб келадиган “паруслик” хусусиятига эга. Ижро этувчи қурилма сифатида поршенли турдаги гидравлик двигатель қўлланилади.

Ишда мўжални – бурчак ҳолати ва узоқлигини кузатадиган борт радиолокацион станция (РЛС) учун ҳолат тенгламалари келтириб чиқарилган. Мўжални тезлатиш учун ҳолат тенламаси олинган. Мўжални тезлатиш вектори формаллашуви биринчи даражали марк жараёни ёрдамида ихтиёрий фиксацияланган ёки секин фазода ўзгарадиган йўналиш  $x$  бўйлаб унинг таркибий қисмининг таърифига адекват деб қабул қилинган. Фазода ихтиёрий ортогонал ўқлар бўйлаб мўжал тезланишининг таркибий қисмлари учун моделлар статистик мустақил деб ҳисобланади.

Таянч-айланма қурилма (ТАҚ) қуйидаги тенглама орқали ифодаланади:

$$x = Ax + Bu, \quad (23)$$

бу ерда  $x$  –  $n$ -ўлчовли ҳолат вектори;  $U$  –  $m$ -ўлчовли бошқарув вектори.

Бошқарув вектори  $u$  чегараланган, яъни барча  $t$  учун  $-u_i \leq u_i(t) \leq u_i$ .

Кўриб чиқиладиган масала учун Гамильтиониан қуйидагича ифодаланади

$$H = I + \lambda^T(Ax + Bx) \quad (24)$$

бу ерда Лагранж кўпайтирувчилари  $\lambda$  қуйидаги тенламалардан аниқланади:

$$\dot{\lambda} = A\lambda, \quad (25)$$

Тенглама (24) келиб чиқишича, мезон оптимал қийматини таъминлайдиган бошқарув ўзгартириш табиатига эгаллиги ва  $(n - l)$  дан кам

ўзгартиришларга эга эканлигини кўрсатадиган қуйидаги тенгламага мос бўлиши керак:

$$u_i^* = -U_i S_{gn} B^T \lambda. \quad (26)$$

Бу маълумот оптимал бошқарувни ҳисоблаш учун қўлланилиши мумкин.

Телеметрик тизим қурилмаси орқали чекланишлар шарти билан кузатув тизим импульсли-кодли модуляция сигнали жараёнини такомиллаштириш амалга оширилган (частотали ўтказиш чизиғи, узатувчи қурилманинг пик қуввати).

Ишда пропорционал-интеграл ростлаш қонунини амалга оширишда нолли ўрнатилган кузатув ҳатолигига эга кузатув тизимини лойиҳалаш имконини берадиган бурчак ўлчовли кузатув қурилмаси синтезланган. Масала ҳолат фазосини кенгайтириш йўли билан стохастик ростлашга келтирилган. Берилган қисми антенна ва двигателдан иборат. Антеннага шамол юклама моменти – ғалаён таъсир этади. Масала двигателга қуйидагича ифодаланадиган таъсир этишга қаратилади:

$$Q(t)Q^d(t), t \geq t_0, \quad (27)$$

бу ерда  $Q(t)$  – антеннанинг бурчак ҳолатини ифодалайди,  $Q^d(t)$  – пеленгацион қурилмалар ёрдамида бурчакни ўлчаш имкони мавжуд деган тахминга кўра объектнинг бурчак ҳолати.

Системанинг берилган қисми қуйидаги тенглама орқали ифодаланаяди

$$J\ddot{\theta}(t) + \tau\dot{\theta}(t) = m(t) + m_b(t), \quad (28)$$

бу ерда  $J$  – конструкциянинг барча айланадиган элементлари инерция моменти;  $r$  – қовушқоқ ишқаланиш коэффициенти;  $m(t)$  – двигатель томонидан оширадиган момент;  $m_b(t)$  – шамол келтирадиган ғалаён моменти.

Двигатель томонидан оширадиган момент кириш кучланишига  $U(t)$  пропорционал деб тахмин этилган, яъни

$$m(t) = kU(t). \quad (29)$$

$x_{11}(t) = Q(t)$  ва  $x_{12}(t) = \dot{Q}(t)$  ўзгарувчанларини киритиб, тенглама (28) ни қуйидаги кўринишда кўчириб оламиз:

$$\dot{x}_1(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -a_{22} \end{bmatrix} x_1(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ b_{22} \end{bmatrix} u(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ C_{22} \end{bmatrix} g(t), \quad (30)$$

бу ерда  $x_1(t) = [x_{11}(t) \ x_{12}(t)]^T$ ;  $a_{22} = r/J = 4,6 \text{ c}^{-1}$ ;  $B_{22} = k/J = 0,787 \text{ рад/Вс}^2$ ;  $C_{22} = 1/J = 0,1 \text{ к}^{-1} \text{ м}^{-2}$ ;  $J = 10 \text{ кг м}^2$ ;  $m_b(t) = g(t)$ .

Ғалаён  $g(t)$  доимий скаляр интенсивлик  $g$  га эга оқ шовқин билан аппроксимацияланади. Кузатиладиган ўзгарувчан антенна валидаги потенциометрнинг чиқиш сигнали деб олинган:

$$y_1(t) = x_{11}(t) + W_1(t); \quad (31)$$

бу ерда  $W_1$  – доимий скаляр интенсивлик  $g$  га эга оқ шовқин,  $x_{11}(t) = Q(t)$  – антеннанинг бурчак ҳолати.

Мўжални кузатиш модели қуйидаги кўринишда ифодаланган:

$$x_3(t) = -\frac{1}{\tau} x_3(t) + n(t), t \geq t_0, \quad (32)$$

бу ерда  $\tau$  – маневрнинг ўртача вақти;  $n(t)$  – доимий интенсивликка  $N$  эга скаляр оқ шовқин.

Эталон ўзгарувчи – мўлжал – аддитив шовқин билан кузатилмоқда деб фараз қилинган:

$$y_3(t) = x_3(t) + W_3(t), \quad (33)$$

бу ерда шовқин доимий интенсивликка  $W_3$  эга ва шовқин  $n(t)$  билан корреляцияланмаган. Интенсивлик  $\mathcal{G}(t)$  ва  $W_1(t)$  куйидагиларга тенг  $\mathcal{G}_1 = 10 \text{ h}^2 \text{ m}^2 \text{ c}$ ;  $W_1 = 10^{-7} \text{ рад}^2 \cdot \text{с}$ .

Оптималь кузатувчи (баҳолагич) куйидаги тенгламалар билан таърифланади:

$$\dot{\hat{x}}_1(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & a_{22} \end{bmatrix} \hat{x}_1(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ b_{22} \end{bmatrix} U(t) + \begin{bmatrix} K_1^1 \\ K_2^1 \end{bmatrix} [y_1(t) - [1 \ 0] \hat{x}(t)] \quad (34)$$

$$\dot{\hat{x}}_3(t) = -\frac{1}{\tau} \hat{x}_3(t) + K_3 [y_3(t) - \hat{x}_3(t)]. \quad (35)$$

Берилган қисмининг дисперсияси учун Риккати тенгласи куйидаги кўринишга эга:

$$\Delta \dot{\hat{x}}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -a_{22} \end{bmatrix} \Delta x_1(t) + \Delta x^1(t) \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & -a_{22} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & C_{22}^2 V_1 \end{bmatrix} - \Delta x^1(t) \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \frac{1}{W_1} [1 \ 0] \Delta x_1(t), \quad (36)$$

$\Delta x_{12}^1(t) = \Delta x_{21}^1(t)$  дан фойдаланган ҳолда  $\Delta x_{ij}^1$ ;  $i, j = 1, 2$  аъзолар орқали ифодаланган куйидаги тенгламалар тизимига эга бўламиз:

$$\begin{aligned} \Delta \dot{x}_{11}^1(t) &= 2\Delta x_{12}^1(t) + \frac{1}{W_1} \Delta x_{11}^1(t), \quad \Delta \dot{x}_{12}^1(t) = \Delta x_{12}^1(t) - a_{22} \Delta x^1(t) - \frac{1}{W} \Delta x_{11}^1(t) \Delta x_{12}^1(t), \\ \Delta \dot{x}_{22}^1(t) &= -2a_{22} \Delta x_{22}^1(t) + C_{22} \mathcal{G}_1 - \frac{1}{W_1} \Delta x_{12}^1(t). \end{aligned} \quad (37)$$

$t \rightarrow \infty$  да ушбу ифодалар ечими куйидагича:

$$\Delta x^1 = W_1 = \begin{bmatrix} -a_{22} + a_{22} \sqrt{a_{22}^2 + 2\beta} & a_{22}^2 + \beta - a_{22} \sqrt{a_{22}^2 + 2\beta} \\ a_{22}^2 + \beta - a_{22} \sqrt{a_{22}^2 + 2\beta} & -a_{22}^2 - 2a_{22}\beta + (a^2 + \beta) \sqrt{a_{22}^2 + 2\beta} \end{bmatrix}. \quad (38)$$

(7) дан куйидаги келиб чиқади:

$$\bar{K} = \begin{bmatrix} K_1^1 \\ K_2^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_{22} + \sqrt{a_{22}^2 + 2\beta} \\ a_{22} + \beta - a_{22} \sqrt{a_{22}^2 + 2\beta} \end{bmatrix}. \quad (39)$$

Фойдаланган сонли қийматларда куйидагиларга эга бўламиз:

$$\Delta \bar{X} = \begin{bmatrix} 0,04036 \cdot 10^{-4} & 0,8143 \cdot 10^{-4} \\ 0,8143 \cdot 10^{-4} & 36,61 \cdot 10^{-4} \end{bmatrix}; \quad \bar{K} = \begin{bmatrix} K_1^1 \\ K_2^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 40,36 \\ 814,3 \end{bmatrix}. \quad (40)$$

Мақсадли функционал ёки сифат мезони куйидаги кўринишга эга:

$$J = E \left[ \int_{t_0}^{t_1} \{ [x_1(t) - x_3(t)]^2 + p U^2(t) \} dt \right]. \quad (41)$$

Натижавий бошқарув:

$$u^*(t) = -\bar{G}_1 \hat{x}_1(t) + \bar{G}_3 \hat{x}_3(t). \quad (42)$$

Ўрнатилган нолли кузатув хатолигига эга система ҳолатида объект киришига ғалаён моментидан  $\mathcal{G}(t)$  ташқари доимий момент  $\mathcal{G}_0$  шаклида

доимий ғалаён ҳам узатилади. Берилган қисм тенгламаси бу ҳолатта қуйидагича езилади:

$$\dot{x}_1(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -a_{22} \end{bmatrix} x_1(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ b_{22} \end{bmatrix} U(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ C_{22} \end{bmatrix} \mathcal{G}_0, \quad (43)$$

Оптималь бошқарув:

$$U^*(t) = -G\hat{X}(t) - \frac{G_{22}}{b_{22}} \hat{\mathcal{G}}_0. \quad (44)$$

Доимий қисмни қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$\dot{\hat{x}}_{20}(t) = n_0(t), \quad (45)$$

Оптималь кузатувчи қуйидаги нисбатлар билан ифодаланади:

$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}}(t) &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -a_{22} \end{bmatrix} \hat{x}_1(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ b_{22} \end{bmatrix} U(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ C_{22} \end{bmatrix} \mathcal{G}_0 + \begin{bmatrix} \bar{K}_1 \\ \bar{K}_2 \end{bmatrix} [y(t) - [1 \ 0] \hat{x}_1(t)], \\ \dot{\hat{\mathcal{G}}}_0(t) &= \bar{K}_0 [y(t) - [1 \ 0] \hat{x}_1(t)], \end{aligned} \quad (46)$$

бу ерда скаляр коэффициентлар  $K_0$ ,  $K_1$ ,  $K_2$  баҳолагич учун Риккати тенгламасидан аниқланади ( $K_1 = 42,74$ ,  $K_2 = 913,2$ ,  $K_0 = 24495$   $\mathcal{G}_0 = 60 \text{ Н}^2\text{м}^2\text{с}^{-1}$ )

Орттиришнинг ўртача квадратик қиймати  $\mathcal{G}_0$   $1\text{с}$  периоди учун  $\sqrt{60} \cong 7,75 \text{ Н} \cdot \text{м}$  ташкил этади деб қабул қилинган. Бу момент  $1\text{В}$  кириш кучланишига эквивалентдир. Баҳолагич тенгламасига бошқарув қонунини (40) қўйиш натижасида кўришимиз мумкинки, тизим нолли қутубга эга, яъни интеграция симон таъсир этади.

АРУ оптималь тизимининг структураси ташкил этилган ташқи муҳит таъсири остида ва тўлқин бўлмаган вектор аҳволида. Таклиф этилаётган ҳисоблаш усули АРУ тизимини ҳисоблаб чиқишда олдингисидан кўра кўпроқ ишлатилиши мумкин ва яна АРУ тизимида алгоритм машиналари режасини амалга ошириш мумкин.

Амплитуда дискриминаторлари моделлаштирилганда электрон бошқарув дискриминатор характеристикаси алгоритм бўйича бир-бирига ўхшаш схемаларни чеклашни бошқаради ва филтрлайди. Якуний хулоса чиқарилди ва кутилаётган натижа априор математик объектни ҳисоблашда адапторли калман филтри турига индекаторни хоҳлаган турини ишлатганда баҳоларни топиш тахлилини бошқарилаётган босқичга тахминий берилган.

Micro-Cap 8 схемотехник моделлаштириш муҳитида ўрганилаётган тескари алоқаларга эга амплитудали дискриминатор (ТААД).

Диссертациянинг «Тўлқинли каналларга эга интеллектуал кузатув тизимини жорий этиш» деб номланган тўртинчи бобида ўрганилаётган объект математик моделининг априор ноаниқлиги шароитида ҳар қандай даражали предикатларни қўллаганда калман турдаги адаптив филтрининг ихтиёрий берилган олдини олиш интервалига эга бошқариладиган жараён параметрларининг баҳолари аниқланиши кўзда тутилган оператив башоратлаш масаласининг ечими берилган. Берк системанинг турғунлигини ва ростлаш нолли статик хатолигини таъминлайдиган ноаниқ кузатув

ростлагичларининг синтезини кўриб чиқиш усули таклиф этилган.

Якуний хулоса чиқарилди ва кутилаётган натижа априор математик объектни ҳисоблашда адапторли калман фильтери турига индекаторни хоҳлаган турини ишлатганда баҳоларни топиш тахлилини бошқарилаётган босқичга тахминий берилган.

Ноаниқ кузатув тизими эркин каналлари базавий структураси ташкил этилган фазификация ва дефазификация амаллари сигналли тартибга солинди, интеллектуал тизимларни бошқараётган пайтдаги синтезда руй бераётганда.

Дискретизауия механизми ечилди кириш ва чиқиш бўшлиғи тоқ бўлинди, проеклаштириш маълумотларсиз ва ноаниқ тоқ тизимларни бошқаришда тегишли функциялар аниқланди. Солиштирма баҳо берилди имконияти бор ҳар хил дефазификация стратегияларига.

Кузатув тизим таркибига ноаниқ регулятор киритилди лингвистика таркибини аниқлайдиган. Таклиф этилаётган усул таркибига тоқ регуляторнинг қайта ишланган база коидалари киритилди, синтезлаштирилган тизимни MATLAB 7 қаторида иммитацион моделлаштириш кўрсатгандек камсезувчи кенг диапазонли ва яхши сифатлар характеристикасига эга анъанавий бошқарув тизимларига кўра.

## ҲУЛОСА

«Радиотехник кузатувчи тизимларнинг элементлари ва қурилмаларини синтезлаш усуллари ва алгоритмлари» мавзусидаги Техника фанлари буйича фалсафа доктори (Phd) диссертациясида олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Критик нуқтаи назардан тўлқин каналли кузатув тизимлар синтезининг назарияси ва амалиётининг замонавий ҳолати ва ривожланиш тенденциялари намоён этилди.

2. Лагранжнинг ноаниқ кўпайтирувчилари усулини қўллаган ҳолда чеклов интервалида ростлаш ҳатолиги катталиги квадратидан интеграл шаклидаги функционални минималлаш натижаси сифатида оптимал тўлқин каналли кузатув тизими синтезланган. Фазаланган антенна решеткасининг нуруни тезкорлик билан минимал вақт оралиғида бир турғун ҳолатдан иккинчисига ўтказиш масаласини ечишда Понтрягиннинг максимум принципи қўлланилди.

3. Қарши оғирликли айланувчи рефлектор математик моделлаштирилди. Автоматик тизим синтези масаласи ечилди. Антеннани берилган дастур бўйича бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга тезкор ўтиши тизимининг синтез масаласи ечилди.

4. Ўткинчи жараёнлар ўтишида бошқаришга сарфланган чекланиш энергияда ўрнатилган ҳолатида талаб қилинган кўчиришда ва сифат функциясини камайтиришда кучайтиргичнинг кириш сигналинини аниқлашни кучайтиришга боғланган автоматик тизимни таҳлил қилиш масаласи каби умумий элементарли схема ёрдамида импульс характерли икки каскадли

чизиқли кучайтиргични такомиллаштириш масаласи ечилган.

5. Тизимни киритишда бирга келувчи сигнал билан радиохалақит ва қайтувчи сигнал пасайишини ҳисоблаб олиб тасодифий тезланишга эга бўлган мўлжални тутишда пеленгацион қурилмани қаратиш масаласи ечилган ҳамда мўлжални улашни амалга оширишда бошқаришнинг оптимал схемаси таклиф этилди.

6. Бошқаришни пропорционал интеграл қоидасига амал қилган ҳолда кузатишни нолли ўрнатилган хатолик тизимини амалга ошириш имконини берувчи бурчак ўлчовчи кузатув қурилмалари текширилди.

7. Векторни динамик объект параметрли ўхшатиши имконини берувчи ва тизимни тўлиғича ўлчаб бўлмайдиган вектор ҳолатида ҳамда ташқи таъсирлар шароитида функцияловчи АРУ тизимининг функционал структура схемаси таклиф этилди.

8. Тугун тизимини таъминлаш ва нольга тенг статистик хатони бошқариш ноаниқ кузатувчи ростлагичини синтезлаштирилди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.27.06.2017.Т.03.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ  
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**АТАУЛЛАЕВ АЗИЗЖОН ОДИЛОВИЧ**

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ СИНТЕЗА ЭЛЕМЕНТОВ И УСТРОЙСТВ  
РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СЛЕДЯЩИХ СИСТЕМ**

**05.01.06–Элементы и устройства вычислительной техники и систем  
управления**

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

**Ташкент–2017**

**Тема диссертации доктора философии (Doctor of Philosophy) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2017.1.PhD/Т6**

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете  
Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) и на Информационно-образовательном портале «Ziyonet» ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

<b>Научный руководитель:</b>	<b>Юсупбеков Азизбек Нодирбекович</b> доктор технических наук
<b>Официальные оппоненты:</b>	<b>Раджабов Тельман Дадаевич</b> Академик АН РУз, доктор физико-математических наук, профессор <b>Алиев Равшан Маратович</b> кандидат технических наук, доцент
<b>Ведущая организация:</b>	<b>Бухарский инженерно-технологический институт</b>

Защита диссертации состоится «20» июля 2017 года в 12<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета DSc.27.06.2017.Т.03.02 при Ташкентском государственном техническом университете по адресу: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская 2. Тел./факс: (99871) 246-46-00; (99871) 227-10-32; e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (регистрационный номер \_\_\_\_). Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская 2. Тел.: (99871) 246-03-41.

Автореферат диссертации разослан «08» июля 2017 года.  
(реестр протокола рассылки №1 от «01» июля 2017 года.)

**Н.Р. Юсупбеков**  
Председатель научного совета по присуждению учёной степени,  
д.т.н., профессор, академик АН РУз

**Ш.А.Тураев**  
Ученый секретарь научного совета по  
присуждению учёной степени, к.т.н., доцент

**Х.З.Игамбердиев**  
Председатель научного семинара при научном совете  
по присуждению учёной степени, д.т.н., профессор

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** Применение IT-технологий в различных областях автоматического контроля и управления динамическими объектами, обеспечение надежности функционирования следящих систем в условиях неопределенности параметров является одной из актуальных проблем. В развитых странах в этой сфере особое внимание уделяется построению следящих систем с волновыми каналами и повышению качества их технико-экономических показателей. «Применение следящих систем с волновыми каналами в промышленных процессах позволяет обеспечить 5-30% энерго- и ресурсосбережения и продлить срок эксплуатации технологического оборудования»<sup>1</sup>.

С приобретением независимости в нашей республике Узбекистан проводятся действенные мероприятия, направленные на эффективную организацию мер по созданию высокоэффективных элементов и устройств вычислительной техники и систем управления технологическими процессами и производствами. Особо необходимо отметить, что в этой сфере проводится ряд исследовательских работ по разработке эффективных методов проектирования систем контроля и управления динамическими объектами, ориентированных на совершенствование их характеристик.

В мире пристальное внимание уделяется интеллектуализации технологий контроля и управления в условиях неопределённости, формированию баз знаний и усовершенствованию на этой основе систем управления. В этой связи осуществление целенаправленных исследований, в том числе, разработка отдельных узлов и элементов систем управления; разработка вариантов усовершенствования основных характеристик дискриминаторов и других узлов в составе следящих систем с волновыми каналами; повышение эффективности, надёжности и расширение функциональных возможностей следящих систем за счет улучшения основных характеристик проектируемых систем, считается одной из важных задач.

Диссертационная работа в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Постановлением Президента Республики Узбекистан №ПП-1989 от 27 июня 2013 года «О мерах по дальнейшему развитию национальной информационно-коммуникационной системы», Постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан №355 от 31 декабря 2013 года «О мерах по внедрению системы оценки состояния развития инфо-коммуникационных технологий в Республике Узбекистан», а также предусмотренных в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий

---

<sup>1</sup> www. <https://vak2.ed.gov.ru>.

республики IV. «Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий».

**Степень изученности проблемы.** Вклад в решение проблемы анализа и синтеза следящих систем внесли зарубежные ученые Б.Н. Петров, А.А. Красовский, В.Ю. Рутковский, А.Л. Фрадков, Е. Мамдани, Т. Саати, М. Сугено, Т. Ямакава и др. Тем не менее вопросы синтеза следящих систем для сложных многомерных объектов в условиях неполноты информации до настоящего времени далеки от своего исчерпывающего решения.

Большой вклад в анализ и синтез высокоэффективных следящих систем внесли отечественные ученые: В.К. Кабулов, Ф.Б. Абуталиев, Д.А. Абдуллаев, Н.Р. Юсупбеков, Т.Ф. Бекмуратов, М.М. Камилов, Р.А. Захидов, Т.Д. Раджабов, Х.З. Игамбердиев, М.М. Мухитдинов, А.Р. Марахимов, А.А. Кадыров, А.А. Халиков, А.А. Абдукаюмов, С.Ф. Амиров, С.С. Касымов, Х.К. Арипов, Р.И. Исаев, П.Р. Исмагуллаев, Р.К. Азимов, А.М. Назаров, Ю.Г. Шипулин, А.М. Плахтиев, Ф.Т. Адиллов, Ю.Р. Рашидов, М.А. Исмаилов, Б.М. Азимов и др.

Повышение требований к следящей систем с волновыми каналами делает перспективным использование методов позволяющих эффективно и качественно осуществлять процесс контроля и управления с учетом так называемых «не-факторов» неполноты измеряемой информации, шумов измерений, наличия конструктивной, параметрической и экспертной неопределенности при оценке параметров объекта управления. Однако работы связанные с использованием технологии систем контроля и управления для сложных технических объектов, малочисленны.

**Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего образовательного учреждения или научно-исследовательским институтами, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках следующих фундаментальных научно-исследовательских проектов Ташкентского государственного технического университета: № ОТ-Ф1-080 – «Разработка концепций и принципов построения интеллектуальных систем управления сложными технологическими процессами и производствами» (2007-2011); № Ф-4-56 – «Разработка теоретических основ и методов структурно-параметрического синтеза интеллектуальных систем управления сложными технологическими объектами на основе нечетко-множественных представлений» (2012-2016).

**Целью исследования** является разработка методов и алгоритмов анализа и синтеза элементов и узлов радиотехнических следящих систем, позволяющих существенно повысить их потенциал контроля и управления.

**Задачи исследования:**

анализ современного состояния теории и практики анализа и синтеза следящих систем и выявление тенденции их дальнейшего развития и

совершенствования;

решение задач построения следящих систем и разработка критериев их эффективного функционирования в условиях неточности и неопределенности входных воздействий;

структурно- параметрический синтез следящей системы, функционирующей в сложных помехо-сигнальных условиях;

моделирование статических и динамических режимов функционирования элементов и узлов радиотехнических комплексов и систем;

реализация синтеза радиотехнической следящей системы.

**Объектом исследования** являются элементы и узлы радиотехнических систем контроля и управления сложными динамическими объектами.

**Предмет исследования** – методы и алгоритмы технологий контроля и управления радиотехническими объектами.

**Методы исследования.** При решении поставленных задач были использованы методы системного анализа, теории информационно-измерительных систем, теории погрешностей, современной теории автоматического управления.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработан способ построения следящих систем управления, обеспечивающий расширение функциональных возможностей синтезируемой системы с улучшением её характеристик;

рассмотрена задача быстродействующего перевода луча фазированной антенной решетки из одного установившегося состояния в другое;

разработано угломерное устройство, позволившее построить систему управления с нулевой установившейся ошибкой слежения;

разработана синтезированная следящая система, обеспечивающая более высокое качество регулирования.

**Практические результаты исследования** заключается в следующем:

разработано математическое и программно-алгоритмическое обеспечение задач управления азимутальным приводом антенны;

создана модель динамики опорно-поворотных устройств радиотехнических следящих систем;

разработано уравнение состояния для бортовой радиолокационной системы, осуществляющей слежение за целью угловое положение;

разработана математическая модель вращающегося рефлектора с противовесом;

разработана система быстродействующего перевода антенны по заданной программе из одного установившегося состояния в другое.

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность результатов исследования подтверждается итогами компьютерного моделирования и инженерной практикой при решении задач проектирования систем контроля и управления, а также корректным использованием математического аппарата, результатами научных экспериментальных исследований и испытаний существующих систем и их взаимной согласованностью.

### **Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов исследования определяется применением конструктивных методов и алгоритмов синтеза традиционных и интеллектуальных следящих систем с волновыми каналами. Разработана структура следящей системы с волновыми каналами, учитывающая как априорные данные, так и апостериорные данные при неполной информации о состоянии объекта управления с векторными входами и выходами.

Практическая значимость результатов работы заключается в разработке математического и алгоритмического обеспечений задач контроля и управления динамическими объектами в условиях неопределенности входных воздействий, решении задачи структурно-параметрической идентификации динамических систем в условиях неполноты информации о состоянии объекта управления.

**Внедрение результатов исследования.** На основе полученных научных результатов выполнения работы, посвященной разработке методов и алгоритмов синтеза элементов и устройств радиотехнических следящих систем:

математические модели и алгоритмы управления в составе следящих систем с волновыми каналами, в том числе для систем управления, обеспечивающих перевод луча фазированной антенной решетки из одного установившегося состояния в другое за минимальное время внедрена на ГУП «UNICON.UZ» (справка от 18 октября 2016 года № 09-8/5768 Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций). Научный результат обеспечивает расширение функциональных возможностей следящих систем управления при неотъемлемом улучшении их статических и динамических характеристик, повышение эффективности процессов управления и получение надежных оценок параметров исследуемых объектов;

устройство уровневой обработки сигналов амплитудными дискриминаторами с обратными связями в составе радиотехнических следящих систем с волновыми каналами внедрена на ООО «SANOATALOQA» (справка от 3 ноября 2016 года № 02-1585 Акционерной компании «O'ZELTEXSANOAT»). В результате появляется возможность осуществлять электронную регулировку крутизны дискриминаторной характеристики по алгоритму, линейно реализующему сочетание управляемого ограничителя и динамического фильтра;

проведены опытные испытания азимутального привода антенны и системы быстрого перевода антенны из одного установившегося состояния в другое внедрено на ООО «ZANGORI EKРАН» (справка от 3 ноября 2016 года № 02-1585 Акционерной компании «O'ZELTEXSANOAT»). В результате выявлена возможность совершенствования методов и алгоритмов управления систем слежения за электромагнитными сигналами;

научно-методические основы технологий интеллектуализации процессов регулирования и управления радиотехническими комплексами и

системами, работающими в сложных помехо-сигнальных условиях, а также решение задач синтеза следящих систем с волновыми каналами в условиях неопределенности входных воздействий использованы при выполнении фундаментального гранта Ф-4-56 – «Разработка теоретических основ и методов структурно-параметрического синтеза на основе нечетких интеллектуальных систем управления сложными технологическими объектами» (2012-2016 г.г.). В результате достигнуто повышение скорости и точности, расширение функциональных возможностей систем управления сложными динамическими объектами, функционирующими в сложных помехо-сигнальных условиях (справка от 3 ноября 2016 года № ФТК-0313/741 Агентства по науке и технологиям).

**Апробация результатов исследования.** Результаты данного исследования, доложены на 3 международных и 2 республиканских научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме исследования всего опубликовано 15 научных работ, из них 1 монография, 7 журнальных статей, в зарубежных, и республиканских журналах, а также получено 2 свидетельства о регистрации программных продуктов для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Объем диссертации составляет 122 страницы машинописного текста, проиллюстрированного 41 рисунками и 5 таблицами.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

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

В первой главе диссертации «**Современное состояние теории и практики синтеза следящих систем**» проанализировано современное состояние теории и практики рассматриваемой предметной области и раскрыты тенденции их дальнейшего развития и совершенствования.

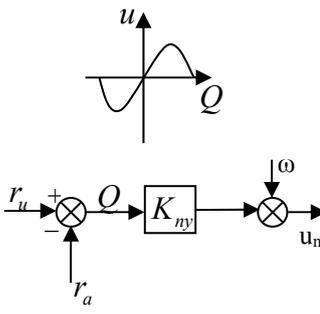
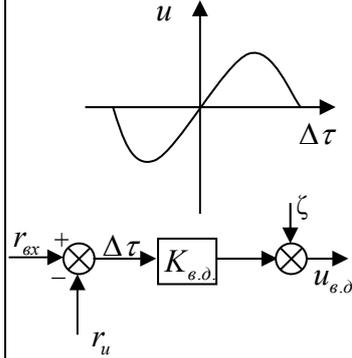
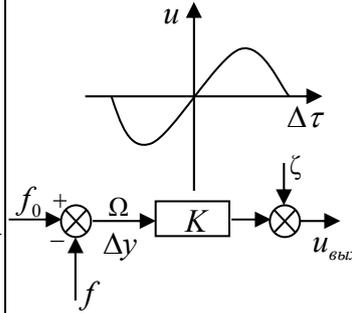
Синтез законов оптимального управления осуществлен для режимов: слежения, обеспечивающего наименьшие статические и динамические ошибки; сканирования, обеспечивающего обзор пространства за минимально возможное время (сюда же относится режим перехода луча из одного установившегося состояния в другое за минимально короткое время); автоматической коррекции фазового фронта электромагнитной волны при формировании узкой диаграммы направленности и др. вспомогательных задач (синтез автоматической регулировки усиления (АРУ) автоматической подстройки частоты (АПЧ) и т. п.). Заданная часть системы состоит из

измерителя (дискриминатора) и управляемой части, а также эталонного сигнала (ЭС) динамики цели. Входными сигналами дискриминаторов в этом случае являются электромагнитные колебания с длиной волны, определяемой типом следящей системы.

В таблице 1 приведены типы дискриминаторов ССВК.

Таблица 1

Основные типы дискриминаторов в составе следящих систем

Тип системы	Основные характеристики			
	Наименование измерителей и их назначение	Выход измерителя $y = g(x, t) + \omega$	Дискриминационная характеристика и эквивалентная схема измерителя	Шумы измерений
Угловое сопровождение	Пеленгационное устройство (измеритель углов). Измеряет угол между направлением на цель, от которой принимается электромагнитный сигнал, и установочной осью.	$U_n = g(q, t) + \omega$ $q = r_u - r_a$ $r_a$ - угол между РСЗ и установочной осью. Линейная аппроксимация пеленгационного устройства $u_n = K_{my}(r_u - r_a) = K_{my}Q$ $K_{my} = \left. \frac{\partial u_n}{\partial Q} \right _{Q=0}$		-радиопомехи, поступающие вместе с сигналом на вход и внутренний шум приемного устройства; -угловой шум цели; -амплитудный шум цели.
Слежение по дальности	Измеритель временного положения импульсного сигнала; временной селектор.	$u_{\epsilon.д.} = g(\Delta\tau, t) + \zeta$ Линеаризованная характеристика: $u_{\epsilon.д.} = K_{\epsilon.д.}\Delta\tau + \zeta$ , $K_{\epsilon.д.} = \left. \frac{\partial u_{\epsilon.д.}}{\partial \Delta\tau} \right _{\tau=0}$		-внутренний шум приемного устройства; -внешний шум на радиочастоте; -замирание сигналов; -амплитудный шум; -флуктуационное смещение центра отражения.
Слежение за частотой и фазой	Фазочастотные дискриминаторы. Измеряют разность частот или фаз между их заданным и фактическим значениями.	$u_{\epsilon.д.} = g(\Omega, t) + \zeta_{\epsilon.д.}$ , $u_{\phi.д.} = g(\Delta\varphi, t) + \zeta_{\phi.д.}$ Линеаризованные характеристики $u_{\phi.д.} = K_{\phi.д.}\Omega + \zeta_{\epsilon.д.}$ , $u_{\epsilon.д.} = K_{\phi.д.}\Delta\varphi + \zeta_{\phi.д.}$		-внутренний шум приемного устройства и т. п.

Во второй главе диссертации «Методы и алгоритмы построения следящих систем с волновыми каналами» рассматриваются вопросы синтеза законов оптимального управления ССВК. Первым шагом является обоснование критерия качества, характеризующего общую ошибку за весь период работы ССВК. Необходимые условия получаются при использовании процедуры динамического программирования в форме дифференциальных уравнений в частных производных Гамильтона-Якоби. Меру ошибки  $H$  определим как разность между действительным и желаемым выходами:

$$H[x^d(t), x(t)] = x^d(t) - x(t). \quad (1)$$

Тогда обычное управляющее устройство с обратной связью вырабатывает управление, являющееся функцией меры ошибки

$$u(t) = u\{H[x^d(t), x(t)]\} = u[x^d(t) - x(t)]. \quad (2)$$

Управление  $u(t)$  представляет собой функцию мгновенных значений действительного выхода  $x(t)$  и желаемого выхода  $x^d(t)$ .

Комбинация оптимальных фильтра и детерминированного регулятора является регулятором с ОС, оптимальным в смысле среднего по ансамблю для линейной задачи с квадратичным функционалом и аддитивным гауссовым белым шумом. В данном случае справедлив принцип стохастической эквивалентности (или известная теорема о разделимости). Закон оптимального управления находится в результате минимизации усредненного по ансамблю квадратичного функционала:

$$J = E \left[ \frac{1}{2} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T (x^T Q x + U^T L U) dt \right], \quad (3)$$

где  $E$  – символ математического ожидания.

При допущении эргодичности функционал из уравнения (3) переписывается:

$$J = \frac{1}{2} T_2 [QX + G^T L G x], \quad (4)$$

где  $x$  – отклонение состояния процесса от желаемого;  $T_2$  – след матрицы;  $X$  – стационарная ковариационная матрица переменных состояния;  $G$  – искомая матрица оптимальной ОС;

$$U^* = -L^{-1} B^T P x = G x. \quad (5)$$

Здесь:  $U^*$  – оптимальное управление;  $P(t)$  – коэффициенты, которые находят интегрированием уравнений в обратном времени.

В общем виде заданная часть ССВК описывается уравнением состояния  $\dot{x} = f(x, U, V, t)$ ; уравнением наблюдения  $y = g(x, t) + w$ , где  $x = [x_1 : x_2 : x_3]^T$  –  $(n_1 + n_2 + n_3)$  – мерный вектор состояния, компонентами которого являются:  $(x_1 - n_1)$  – мерный вектор состояния управляемой части;  $(x_2 - n_2)$  – мерный вектор возмущения;  $(x_3 - n_0)$  – мерный вектор эталонного сигнала.

Линеаризованная модель ССВК описывается уравнениями:

$$\dot{x}_1 = A x_1 + B U + C v, \quad y_1 = D_1 x_1 + \omega, \quad (6)$$

где  $x_1$  –  $n$ -мерный вектор возмущений;  $U$  –  $z$ -мерный вектор управления;  $v$  –  $s$ -мерный вектор возмущений;  $y_1$  –  $n_1$ -мерный вектор измерений, связанных с  $x_1$ ;  $W_1$  –  $m$ -мерный вектор шумов измерения.

Синтезируемая система (рис. 1) работает следующим образом.

Окружающие условия, создающие возмущения, описываются как:

$$\dot{x}_2 = E x_2 + F n; \quad v = H x_2; \quad y_2 = D_2 x_2 + W_2; \quad (7)$$

где  $x_2$  –  $q$ -мерный вектор возмущений;  $n(t)$  – вектор белого шума с нулевым средним значением;  $y_2$  –  $m_2$ -мерный вектор измерений, связанных с  $x_2$ ;  $W_2$  –

$m_2$ -мерный вектор шума измерений.

Аналогичным образом моделируется поведение цели – вектор  $x_3$ . В уравнениях (6) – (7) значения  $A, B, C, D_1, D_2, E, F$  и  $H$  представляют собой матрицы, размерности которых определяются размерностями соответствующих векторов.

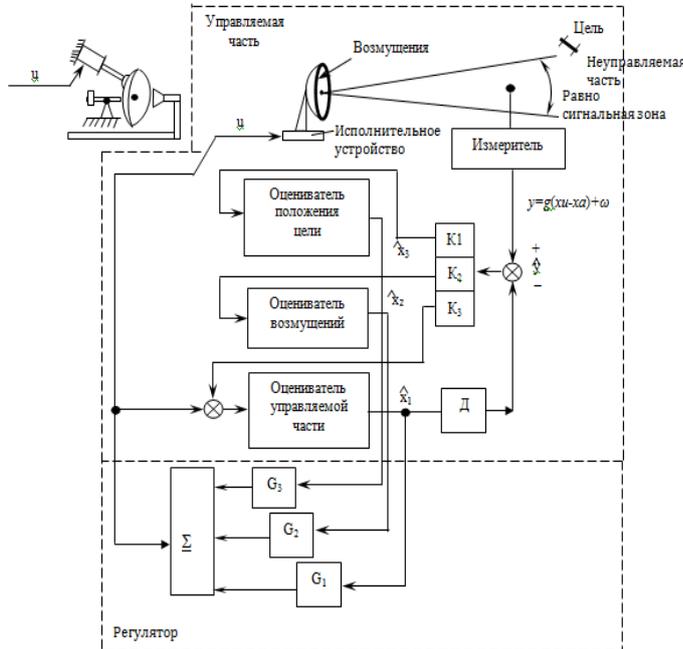


Рис. 1. Схема следящей системы

Соотношения (7) являются моделью случайных возмущающих функций, отличных от белого шума. Выходной сигнал стационарного гауссовского марковского процесса первого порядка имеет экспоненциальную корреляционную функцию. Используя формирующие фильтры первого или высшего порядка с белым шумом на входе, получаем на выходе коррелированный во времени или окрашенный шум.

Корреляционную функцию шума можно аппроксимировать соответствующим выбором

коэффициентов в формирующем фильтре. Состояние системы в этом случае будет определяться расширенным вектором состояния  $x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$  или (с учетом цели)  $x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$ . Расширенный вектор состояния является также гауссовским

марковским процессом. Состояние системы с расширенным пространством состояний, описывается при помощи уравнений:

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & CH \\ O & E \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} B & O \\ O & O \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \\ O \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} O & O \\ F & O \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n \\ o \end{bmatrix}, \quad y = \begin{bmatrix} D_1 & O \\ O & D_2 \end{bmatrix} x, \quad w = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \end{bmatrix}, \quad y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix},$$

которые могут быть переписаны в виде:

$$\dot{X} = \tilde{A}x + \tilde{B}U + \tilde{F}n, \quad y = \tilde{D}x + w. \quad (8)$$

При этом процесс  $x$  и помеха  $w$  полагаются независимыми. Оптимальное линейное уравнение с квадратичным функционалом для такой системы имеет форму:

$$u^* = Gx = [G_1 : G_2] \begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Структура оптимального фильтра, осуществляющего оценку по методу наименьших квадратов, описывается:

$$\dot{\hat{x}} = \begin{bmatrix} \dot{\hat{x}} \\ \hat{x}_1 \\ \dot{\hat{x}} \\ \hat{x}_2 \end{bmatrix} = \tilde{A} \hat{X} + \tilde{B} U + \tilde{K} (y - \tilde{y}), \quad \hat{X}(t_0) = 0, \quad (10)$$

где  $\hat{X}$  – оценка  $\hat{x}$ ;  $\tilde{K}$  – соответствующим образом рассчитанная матрица.

За счет соответствующего выбора  $K$  ошибку восстановления  $(x - \hat{x})$  можно сделать нулевой для произвольных состояний модели уравнения (10). Начальное значение вектора  $\hat{X}(t_0)$  обычно полагается нулевым. В уравнении (10) матрица  $\tilde{K}$  определяется как:

$$\tilde{K}(t) = \begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \end{bmatrix} = \Delta X(t) \tilde{D}^T w, \quad (11)$$

где размерность  $K_1$  –  $n \times m$ , а  $K_2$  –  $g \times m$ ,  $\Delta X$  и  $w \delta(\tau) = E[w(t)w^T(t + \tau)]$  – квадратные ковариационные матрицы ошибок оценки состояния и шумов измерения соответственно.

Матрица пропорциональности  $\tilde{K}$  фактически характеризует соотношение между неопределенностью состояния  $\Delta X$  и неопределенностью в измерениях  $w$ . Матрица ковариаций:

$$\Delta X(t) = E[\Delta X(t) \Delta X^T(t)] = E \left\{ \left[ \hat{X}(t) - X(t) \right] \left[ \hat{X}(t) - X(t) \right]^T \right\} \quad (12)$$

Оператор математического ожидания применяется к каждому элементу матрицы. Диагональные элементы матрицы являются дисперсиями компонент вектора. Элементы, стоящие вне диагонали, есть смешанные элементы второго порядка. Матрица  $\Delta X(t)$  – симметричная, состоящая из  $n(n+1)/2$  различных элементов. Таким образом, элементами этой матрицы являются дисперсии и взаимные дисперсии ошибок фильтрации ожидаемых составляющих вектора  $X(t)$ . Значения элементов матрицы  $\Delta X(t)$  могут быть определены в результате решения нелинейного уравнения типа матричного уравнения:

$$\dot{\Delta X}(t) = \tilde{A} \Delta X(t) + \Delta X(t) \tilde{A}^T + \tilde{F} N \tilde{F}^T - \Delta X(t) \tilde{D}^T w^1 \tilde{D} \Delta X(t), \quad \Delta X(t_0) = \Delta X_0, \quad (13)$$

где  $N \delta(\tau) = E[n(t)n^T(t + \tau)]$ .

Для определения управления решается уравнение (13) для матрицы  $\Delta X$  при заданном начальном условии и уравнение

$$U^* = -L^{-1} B^T P X = G X \quad (14)$$

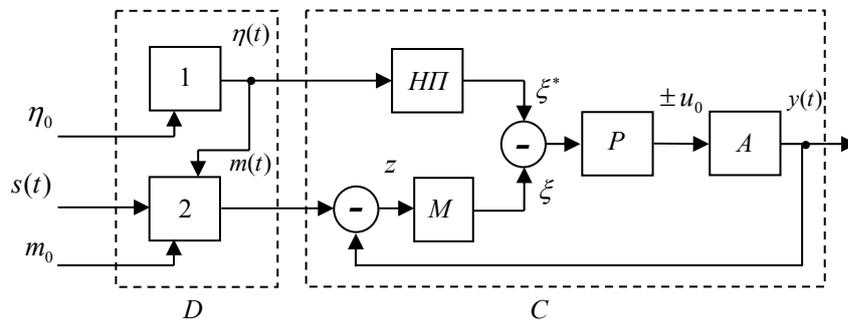
для матрицы  $P$  при заданном конечном условии. Здесь коэффициенты  $P(t)$  находят интегрированием в обратном времени уравнений:

$$\dot{P} = -P \tilde{A} - \tilde{A}^T P + P \tilde{B} L^{-1} \tilde{B}^T P - Q. \quad (15)$$

Ключ к практическому расчету фильтра Калмана состоит в правильном выборе величин элементов ковариационных матриц  $w$  и  $N$ . Как правило, ширина полосы пропускания фильтра зависит от отношения  $\|w\| \|N\|^{-1}$ .

На рис. 2 представлена блок-схема оптимальной следящей системы.

Фактически система распадается на два элемента – собственно следящую систему  $C$  и устройство  $D$ , обрабатывающее входной сигнал. В систему вводятся априорные значения  $\eta_0, m_0$  в качестве начальных условий.



**Рис. 2. Блок-схема оптимальной следящей системы**  
1,2 – решающие блоки; НП – нелинейный преобразователь,  
M – масштабный блок, P – реле

Блоки 1,2 решают уравнения

$$\frac{dm}{dt} = -\frac{2D}{N}(m-s) + a, \quad \frac{dD}{dt} = -\frac{2D^2}{N} + B. \quad (16).$$

В блоке НП образуется функция  $\xi^*$  согласно выражения

$$\xi^* = \frac{1}{2} \beta (1 + \eta^2) \frac{q_1 + q_2}{q_1 q_2} = \xi_2^* (1 + \eta^2). \quad (17)$$

Сравним установившиеся погрешности  $\Gamma_1$

$$\Gamma_1 = \beta + \frac{\beta^2}{4} (1 + \eta^2) \frac{q_1^2 + q_2^2}{q_1^2 q_2^2} \quad (18)$$

для оптимальной системы и  $\Gamma_0$  для аналогичной системы, где отсутствует блок НП. Для последней системы ошибка  $\Gamma_0$  может быть вычислена методом медленно меняющихся параметров или иным способом, что дает:

$$\Gamma_0 = \beta + \frac{\beta^2}{2} (1 + \eta^2) \frac{q_1^2 + q_1 q_2 + q_2^2}{q_1^2 q_2^2}. \quad (19)$$

Подставляя значения  $q_1, q_2$  из

$$\varphi(z, D) = \left( \frac{2B}{N} \right)^{\frac{3}{2}} f_0(z, D), \quad q_1 = a - u_0, \quad q_2 = a - u_0, \quad (20)$$

в (18) и (19), получим

$$\Gamma_1 = \beta + \frac{\beta^2}{2} (1 + \eta^2) \frac{u_0^2 + a^2}{(u_0^2 - a^2)^2}, \quad (21)$$

$$\Gamma_0 = \beta + \frac{\beta^2}{2} (1 + \eta^2) \frac{u_0^2 + 3a^2}{(u_0^2 - a^2)^2}. \quad (22)$$

Как следует из сравнения (21) и (22), оптимизация системы существенно сказывается при больших флуктуациях (характеризуемых параметром  $\beta$ ) в случае, когда скорость сноса  $a$  не очень мала по сравнению с  $u_0$ .

В третьей главе диссертации «**Математическое описание элементов и узлов следящих систем**» показано, аналитическими приемами выведены математические описания статики и динамики элементов и узлов исследуемой следящей системы. Выполнено моделирование азимутального привода антенны. При расчете опорно-поворотного устройства учитываются основные факторы: упругость системы, моменты инерций частей устройства; моменты возмущений, связанные с порывами ветра. Зеркало антенны характеризуется моментом инерции  $I_d$  и связано с основанием эквивалентной упругой пружины с жесткостью  $K$ , имитирующей упругость башенных опор. Зеркала антенны обладают «парусностью», которая приводит к возмущениям, зависящим от скорости ветра и положения антенны относительно направления ветра. В качестве исполнительного устройства используется гидравлический двигатель поршневого типа.

В работе выведено уравнение состояния для бортовой радиолокационной станции (РЛС), осуществляющей слежение за целью – угловое положение и дальность. Получено уравнение состояния для ускорения цели. Принято, что формализация вектора ускорения цели адекватна описанию его составляющей вдоль любого фиксированного или медленно изменяющегося в пространстве направления  $x$  при помощи марковского процесса первого порядка. Модели для составляющих ускорения цели вдоль любых ортогональных осей в пространстве считаются статистически независимыми.

Предполагается, что опорно-поворотное устройство (ОПУ) описывается уравнением вида:

$$\dot{x} = Ax + Bu, \quad (23)$$

где  $x$  –  $n$ -мерный вектор состояния;  $U$  –  $m$ -мерный вектор управления.

Вектор управления  $u$  ограничен, т. е.  $-u_i \leq u_i(t) \leq u_i$  при всех  $t$ .

Гамильтониан для рассматриваемой задачи выражается как

$$H = I + \lambda^T(Ax + Bx), \quad (24)$$

где множители Лагранжа  $\lambda$  определяются из сопряженных уравнений

$$\dot{\lambda} = A\lambda, \quad (25)$$

Из уравнения (24) следует, что управление, обеспечивающее оптимальное значение критерия, должно удовлетворять уравнению:

$$u_i^* = -U_i S_{gn} B^T \lambda, \quad (26)$$

которое показывает, что управление носит переключательный характер и имеет не более  $(n-1)$  переключений. Эта информация может быть использована для вычисления оптимального управления.

Осуществлена оптимизация процесса импульсно-кодовой модуляции сигналов следящих систем с учетом ограничений, обусловленных оборудованием телеметрической системы (частотная полоса пропускания, пиковая мощность передающего устройства).

В работе синтезировано угломерное следящее устройство, позволяющее проектировать следящую систему с нулевой установившейся ошибкой слежения при реализации пропорционально-интегрального закона регулирования. Задача сведена к стохастическому регулированию путем

расширения пространства состояния. Заданная часть состоит из антенны и двигателя. На антенну воздействует момент ветровой нагрузки – возмущение. Задача заключается в таком воздействии на двигатель, при котором

$$Q(t)Q^d(t), t \geq t_0, \quad (27)$$

где  $Q(t)$  обозначает угловое положение антенны, а  $Q^d(t)$  – угловое положение объекта из предположения, что угол  $Q^d(t)$  доступен для измерения с помощью пеленгационного устройства.

Заданная часть системы описывается при помощи уравнения

$$J\ddot{\theta}(t) + \tau\dot{\theta}(t) = m(t) + m_b(t), \quad (28)$$

где  $J$  – момент инерции всех вращающихся элементов конструкции;  $r$  – коэффициент вязкого трения;  $m(t)$  – момент, развиваемый двигателем;  $m_b(t)$  – момент возмущения, вызываемый ветром.

Предполагается, что момент, развиваемый двигателем, пропорционален входному напряжению  $U(t)$ , т. е.

$$m(t) = kU(t). \quad (29)$$

Вводя переменные  $x_{11}(t) = Q(t)$  и  $x_{12}(t) = \dot{Q}(t)$ , запишем уравнение (28) в виде:

$$\dot{x}_1(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -a_{22} \end{bmatrix} x_1(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ b_{22} \end{bmatrix} u(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ C_{22} \end{bmatrix} g(t), \quad (30)$$

где  $x_1(t) = [x_{11}(t) \ x_{12}(t)]^T$ ;  $a_{22} = r/J = 4,6 \text{ с}^{-1}$ ;  $B_{22} = k/J = 0,787 \text{ рад/Вс}^2$ ;  $C_{22} = 1/J = 0,1 \text{ к}^{-1} \text{ м}^{-2}$ ;  $J = 10 \text{ кг м}^2$ ;  $m_b(t) = g(t)$ .

Возмущение  $g(t)$  аппроксимируется белым шумом с постоянной скалярной интенсивностью  $\mathcal{G}$ . Наблюдаемой переменной является выходной сигнал потенциометра на валу антенны:

$$y_1(t) = x_{11}(t) + W_1(t), \quad (31)$$

где  $W_1$  – белый шум с постоянной скалярной интенсивностью  $\mathcal{G}$ ,  $x_{11}(t) = Q(t)$  – угловое положение антенны.

Модель отслеживания цели представлена в виде:

$$\dot{x}_3(t) = -\frac{1}{\tau} x_3(t) + n(t), t \geq t_0, \quad (32)$$

где  $\tau$  – среднее время маневра;  $n(t)$  – скалярный белый шум с постоянной интенсивностью  $N$ .

Предполагается, что эталонная переменная – цель – наблюдается с аддитивным шумом

$$y_3(t) = x_3(t) + W_3(t), \quad (33)$$

где шум имеет постоянную интенсивность  $W_3$  и не коррелирован с шумом  $n(t)$ . Интенсивности  $\mathcal{G}$  ( $t$ ) и  $W_1(t)$  равны  $\mathcal{G}_1 = 10 \text{ h}^2 \text{ м}^2 \text{ с}$ ;  $W_1 = 10^{-7} \text{ рад}^2 \text{ с}$ .

Оптимальный наблюдатель (оцениватель) описывается уравнениями:

$$\dot{\hat{x}}_1(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & a_{22} \end{bmatrix} \hat{x}_1(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ b_{22} \end{bmatrix} U(t) + \begin{bmatrix} K_1^1 \\ K_2^1 \end{bmatrix} [y_1(t) - [1 \ 0] \hat{x}_1(t)] \quad (34)$$

$$\dot{\hat{x}}_3(t) = -\frac{1}{\tau} \hat{x}_3(t) + K_3 [y_3(t) - \hat{x}_3(t)] \quad (35)$$

Уравнение для дисперсии заданной части имеет вид:

$$\Delta \dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -a_{22} \end{bmatrix} \Delta x_1(t) + \Delta x^1(t) \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & -a_{22} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & C_{22}^2 V_1 \end{bmatrix} - \Delta x^1(t) \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \frac{1}{W_1} [1 \ 0] \Delta x_1(t), \quad (36)$$

Используя тот факт, что  $\Delta x_{12}^1(t) = \Delta x_{21}^1(t)$ , получим следующую систему уравнений, записанную через члены  $\Delta x_{ij}^1$ ;  $i, j = 1, 2$ :

$$\begin{aligned} \Delta \dot{x}_{11}^1(t) &= 2\Delta x_{12}^1(t) + \frac{1}{W_1} \Delta x_{11}^1(t), \quad \Delta \dot{x}_{12}^1(t) = \Delta x_{12}^1(t) - a_{22} \Delta x^1(t) - \frac{1}{W} \Delta x_{11}^1(t) \Delta x_{12}^1(t), \\ \Delta \dot{x}_{22}^1(t) &= -2a_{22} \Delta x_{22}^1(t) + C_{22} \mathcal{G}_1 - \frac{1}{W_1} \Delta x_{12}^1(t). \end{aligned} \quad (37)$$

Решение этих выражений при  $t \rightarrow \infty$ :

$$\Delta x^1 = W_1 = \begin{bmatrix} -a_{22} + a_{22} \sqrt{a_{22}^2 + 2\beta} & a_{22}^2 + \beta - a_{22} \sqrt{a_{22}^2 + 2\beta} \\ a_{22}^2 + \beta - a_{22} \sqrt{a_{22}^2 + 2\beta} & -a_{22}^2 - 2a_{22}\beta + (a^2 + \beta) \sqrt{a_{22}^2 + 2\beta} \end{bmatrix}. \quad (38)$$

Из (7) следует:

$$\bar{K} = \begin{bmatrix} K_1^1 \\ K_2^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_{22} + \sqrt{a_{22}^2 + 2\beta} \\ a_{22} + \beta - a_{22} \sqrt{a_{22}^2 + 2\beta} \end{bmatrix}. \quad (39)$$

При используемых численных значениях имеем:

$$\Delta \bar{X} = \begin{bmatrix} 0,04036 \cdot 10^{-4} & 0,8143 \cdot 10^{-4} \\ 0,8143 \cdot 10^{-4} & 36,61 \cdot 10^{-4} \end{bmatrix}; \quad \bar{K} = \begin{bmatrix} K_1^1 \\ K_2^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 40,36 \\ 814,3 \end{bmatrix}. \quad (40)$$

Целевой функционал или критерий качества выражается в виде:

$$J = E \left[ \int_{t_0}^{t_1} \{ [x_1(t) - x_3(t)]^2 + p U^2(t) \} dt \right]. \quad (41)$$

Результирующее управление

$$u^*(t) = -\bar{G}_1 \hat{x}_1(t) + \bar{G}_3 \hat{x}_3(t). \quad (42)$$

В случае системы с нулевой установившейся ошибкой слежения на вход объекта, кроме возмущающего момента  $\mathcal{G}(t)$ , поступает постоянное возмущение в форме постоянного момента  $\mathcal{G}_0$ . Уравнение заданной части в этом случае запишется:

$$\dot{x}_1(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -a_{22} \end{bmatrix} x_1(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ b_{22} \end{bmatrix} U(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ C_{22} \end{bmatrix} \mathcal{G}_0, \quad (43)$$

Оптимальное управление

$$U^*(t) = -G \hat{X}(t) - \frac{G_{22}}{b_{22}} \hat{\mathcal{G}}_0. \quad (44)$$

Постоянную часть возмущения можно представить как

$$\dot{x}_{20}(t) = n_0(t). \quad (45)$$

Оптимальный наблюдатель описывается соотношениями:

$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}}(t) &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -a_{22} \end{bmatrix} \hat{x}_1(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ b_{22} \end{bmatrix} U(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ C_{22} \end{bmatrix} \mathcal{G}_0 + \begin{bmatrix} \bar{K}_1 \\ \bar{K}_2 \end{bmatrix} [y(t) - [1 \ 0] \hat{x}_1(t)]; \\ \dot{\hat{\mathcal{G}}}_0(t) &= \bar{K}_0 [y(t) - [1 \ 0] \hat{x}_1(t)], \end{aligned} \quad (46)$$

где скалярные коэффициенты  $K_0$ ,  $K_1$ ,  $K_2$  определяются из уравнения Риккати для оценителя ( $K_1 = 42,74$ ,  $K_2 = 913,2$ ,  $K_0 = 24495$ .  $\mathcal{Q}_0 = 60 \text{ Н}^2\text{м}^2\text{с}^{-1}$ ).

Предполагается, что среднеквадратичная величина приращения  $\mathcal{Q}_0$  за период  $1\text{с}$  составляет  $\sqrt{60} \cong 7,75 \text{ Н} \cdot \text{м}$ . Этот момент эквивалентен входному напряжению порядка  $1\text{В}$ . В результате подстановки закона управления (38) в уравнение оценителя можно видеть, что система имеет нулевой полюс, т. е. оказывает интегрирующее действие.

Обоснована структура оптимальной системы АРУ при наличии внешних возмущений, а также при не полностью измеряемом векторе состояния. Предложенная методика расчета может быть применена для построения системы АРУ порядка выше первого, а также может быть реализована в виде алгоритма машинного проектирования оптимальных систем АРУ.

Выполнено моделирование и исследование амплитудных дискриминаторов с обратными связями, позволяющих реализовывать электронную регулировку крутизны дискриминаторной характеристики по алгоритму, линейно реализующему сочетание схем управляемого ограничителя и фильтра.

В среде моделирования Micro-Cap 8 исследован амплитудный дискриминатор с обратными связями (АДОС).

В четвертой главе диссертации «**Реализация интеллектуальных следящих систем с волновыми каналами**» дано решение задачи оперативного прогнозирования в условиях априорной неопределенности математической модели исследуемого объекта, предполагающей нахождение оценок параметров управляемого процесса с произвольно заданным интервалом упреждения адаптивного фильтра калмановского типа при использовании предикатора любого порядка. Предложен подход к синтезу следящих регуляторов, обеспечивающих устойчивость замкнутой системы и нулевую статическую ошибку регулирования.

Выполнена содержательная постановка и решена задача оперативного прогнозирования в условиях априорной неопределенности математической модели исследуемого объекта, предполагающая нахождение оценок параметров управляемого процесса с произвольно заданным интервалом упреждения адаптивного фильтра калмановского типа при использовании предикатора любого порядка.

Обоснована базовая структура нечеткой следящей системы с волновыми каналами и сформулированы задачи фаззификации и дефаззификации сигналов, возникающие при синтезе интеллектуальных систем управления. Раскрыт механизм дискретизации, нормализации универсума, нечеткого разделения пространства входов и выходов, определения функций принадлежности нечетких множеств при проектировании баз данных и баз знаний в нечетких системах управления. Дана сравнительная оценка потенциальных возможностей различных стратегий дефаззификации при отображении допустимого пространства нечетких управляющих воздействий в пространство четких управляющих воздействий.

В составе следящих систем предложен нечеткий регулятор, определяемый набором лингвистических переменных, построение которого основано на специализированной нечеткой логике класса Мамдани и все лингвистические термы которого в базе знаний представляются как нечеткие множества, заданные соответствующими функциями принадлежности. Генерирование базы правил нечеткого регулятора осуществляется на основе знаний экспертов и предварительного эксперимента и сводится к отысканию значений последних двух столбцов так называемой разрешающей матрицы.

На основе предложенной методики была сгенерирована база правил нечеткого регулятора и проведено имитационное моделирование синтезированной системы в среде MATLAB 7, показавшее, что последняя является малочувствительной к возмущающим воздействиям в достаточно широком диапазоне и имеет лучшие качественные характеристики по сравнению с традиционными системами управления.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований доктора философии (PhD) по техническим наукам на тему «Методы и алгоритмы синтеза элементов и устройств радиотехнических следящих систем» представлены следующие выводы:

1. С критических позиций проанализировано современное состояние и выявлены тенденции дальнейшего развития теории и практики синтеза следящих систем с волновыми каналами.

2. Синтезирована оптимальная ССВК как результат минимизации функционала в виде интеграла от квадрата меры ошибки регулирования на интервале упреждения с использованием метода неопределенных множителей Лагранжа. Использован принцип максимума Понтрягина при решении задачи быстродействующего перевода луча фазированной антенной решетки из одного установившегося состояния в другое за минимально короткий отрезок времени.

3. Выполнено математическое моделирование вращающегося рефлектора с противовесом. Решена задача синтеза автоматической системы быстродействующего перевода антенны по заданной программе из одного установившегося состояния в другое.

4. Решена задача оптимизации импульсной характеристики двухкаскадного линейного усилителя по схеме с общим эмиттером как задача синтеза автокорректора, сведенная к определению приращения входного сигнала усилителя, минимизирующего функционал качества и требующего перевода системы в установившееся состояние при ограниченной энергии, затрачиваемой на управление в течение переходного процесса.

5. Решена задача наведения пеленгационного устройства при перехвате цели, имеющей случайные ускорения, с учетом замирания отраженного сигнала и радиопомех, поступающих вместе с сигналом на вход системы, а

также предложена схема оптимального регулятора, осуществляющего наведение при перехвате цели.

6. Синтезировано угломерное следящее устройство, позволяющее реализовать систему с нулевой установившейся ошибкой слежения при соблюдении пропорционально-интегрального закона управления.

7. Предложена функционально-структурная схема системы АРУ, функционирующей в условиях внешних возмущений и неполностью измеряемом векторе состояния системы и позволяющей осуществлять параметрическую идентификацию векторного динамического объекта.

8. Синтезирован нечеткий следящий регулятор, обеспечивающий требуемую устойчивость системы и нулевую статическую ошибку регулирования.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.27.06.2017.T.03.02 ON THE ADMISSION OF  
SCIENTIFIC DEGREES AT THE TASHKENT STATE TECHNICAL  
UNIVERSITY**

---

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

**ATAULLAEV AZIZJON ODILOVICH**

**METHODS AND ALGORITHMS OF SYNTHESIS OF ELEMENTS AND  
DEVICES OF RADIO ENGINEERING FOLLOWING SYSTEMS**

**05.01.06–Components and devices of computer facilities and control systems**

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

**Tashkent–2017**

**The theme of doctor of philosophy (Doctor of Philosophy) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2017.1.PhD/T6**

The dissertation has been prepared at the Tashkent State Technical University.

The abstract of the dissertation is posted in Three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) Is placed on the web page of the Scientific Council ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) and on the Information and Educational Portal "Ziyonet" ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Scientific adviser:** **Yusupbekov Azizbek Nodirbekovich,**  
doctor of technical sciences

**Officialopponents:** **Radjabov Telman Dadaevich**  
doctor of physical and mathematical sciences, professor  
academician of the ASc RUz,  
**Aliev Ravshan Maratovich**  
Candidate of technical sciences, associate professor

**Leading organization:** **Bukhara institute of engineering and technology**

Defense of dissertation will be take place in «20» July 2017 at 12<sup>00</sup> o'clock the meeting of scientific council DSc.27.06.2017.T.03.02 at Tashkent State Technical University (Address: 100095, Tashkent city, Street. University 2. Tel./fax: (+99871) 246-46-00; (99871) 227-10-32; e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz)).

The doctoral dissertation can be reviewed at the Information-recourse centre of the Tashkent State Technical University (registration number \_\_\_\_). Address: 100095, Tashkent str. University 2. Tel.: (99871) 246-03-41.

Abstract of dissertation sent out on «08» July 2017 year.  
(mailing report №.1 \_\_ on «01» July 2017 year)

**N.R. Yusupbekov**  
Chairman of the scientific council  
awarding scientific degrees,  
doctor of Technical Sciences, Professor,  
Academician of the ASc RUz

**Sh.A. Turaev**  
Scientific secretary of scientific council  
awarding scientific degrees,  
candidate of technical sciences, associate professor

**X.Z. Igamberdiev**  
Chairman of the academic seminar under  
the scientific council awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor

## INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**The aim of the research work** Is the development of methods and algorithms for analyzing and synthesizing elements and assemblies of radio tracking systems that significantly increase their monitoring and control potential.

**The tasks of research:**

analysis of the current state of the theory and practice of analysis and synthesis of tracking systems and the identification of trends in their further development and improvement;

solving the problems of constructing tracking systems and developing criteria for their effective functioning under conditions of inaccuracy and uncertainty of input effects;

structurally-parametric synthesis of the servo system, functioning in complex noise-signal conditions;

modeling of static and dynamic modes of functioning of elements and assemblies of radio engineering complexes and systems;

implementation of the radio tracking system.

**The object of the research work** are elements and nodes of radio engineering systems for monitoring and managing complex dynamic objects.

**Scientific novelty of the research work** is as follows:

a method for constructing servo mechanical control systems is developed, which ensures the expansion of the functionality of the synthesized system with the improvement of its characteristics;

the problem of fast-transferring a beam of a phased array antenna from one steady state to another is solved;

a goniometry device was developed that made it possible to build a control system with zero steady-state tracking error;

the tracking system is synthesized, which ensures a higher quality of regulation.

**The outline of the thesis.** The volume of the thesis is 122 pages of typewritten text, illustrated by 41 drawings and 5 tables.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙЎАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

1. Юсупбеков А.Н., Атауллаев А.О. Интеллектуальная следящая система с волновыми каналами: Монография, ТашГТУ, Ташкент., 2015. - 152 с.
2. Атауллаев А.О. Задачи быстродействия в следящих системах с волновыми каналами // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». - Ташкент, 2010. - №5. – С. 96-97. (05.00.00; №12).
3. Юсупбеков А.Н., Атауллаев А.О. Задача синтеза угломерного устройства системы азимутального слежения за подвижным объектом // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». - Ташкент, 2011. - №5. – С.52-55. (05.00.00; №12).
4. Юсупбеков А.Н., Атауллаев А.О., Зикриллаев Б.Х. Проектирование интеллектуальной следящей системы // Журнал, «Проблемы энерго- и ресурсосбережения». - Ташкент. 2013. - №1-2. – С. 186-189. (05.00.00; №21).
5. Гулямов Ш.М., Юсупбеков А.Н., Атауллаев А.О. Управление опорно-поворотным устройством антенны // Журнал «Промышленные АСУ и контроллеры». - Москва. 2015. - №8. – С. 11-16. (05.00.00; №69).
6. A.O. Ataullayev. Control of Support-rotating Device of Antenna // Special issue International Scientific and Technical Jurnal «Chemical technology. Control and management». Jointly With the «Journal of Korea Multimedia Society», South Korea, Seoul – Uzbekistan, Tashkent, 2015, № 3-4. – pp. 172-175. (ОАК раёсат қарори № 217/6, 2015 йил 30 июнь).
7. Ш.М.Гулямов, А.Н.Юсупбеков, А.О. Атауллаев, К.Р.Абдуллаева. Некоторые вопросы синтеза следящих систем с волновыми каналами // Журнал «Автоматизация и современные технологии». - Москва. 2016. - № 1. – С. 37-42. (05.00.00; №4).
8. A.N.Yusupbekov, A.O. Ataullayev, Ruziev U.A. Synthesis Azimuth Tracking Device // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, April 2016. - Volume 3, Issue 4. – pp. 1786-1791. ISSN 2350-0328, (05.00.00; №8).
9. Yusupbekov A.N., Latipov V.B., Ataulaev A.O. Algorithm Monitoring Reliability of Information in Automated Intelligent Process Control Systems // Proceedings on Tenth International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing - «ICAFS – 2012». - Lisbon, Portugal. b-Quadrat Verlag, 2012. – pp. 223-228.
10. Yusypbekov A.N., Gulyamov Sh.M., Temerbekova B.M., Ataulaev A.O., Kurdashev S. Performance of Dispatching Control // Technical university of Gabrovo Unitech-2014, International scientific conference. - Bulgaria, Gabrovo, 2014, – pp. 262-265.

11. Yusupbekov A.N., Ataulaev A.O. Implementation of Intelligent Servo System with a Wave Channels // Eighth world conference on intelligent systems for industrial automation - «WCIS – 2014» «b-Quadrat Verlag». - Tashkent, 2014. – pp. 246-249.
12. Yusupbekov A.N., Zaripov O.O., Temerbekova B.M., Ataulayev A.O. Simulation of Technological Complexes with Continuous Nature of Production Without Recycle // Eighth International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control - September 3-4, 2015, Antalya, Turkey, - pp. 229-233.
13. Yusupbekov A.N., Ataulaev A.O. Synthesis of Algorithms for Optimal Functioning of Tracking Systems// Ninth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation - «WCIS – 2016» «b-Quadrat Verlag». - Tashkent, 2016. – pp. 67-70.
14. Темербекова Б.М., Атауллаев А.О. Программное обеспечение для решения задачи контроля достоверности измерительной информации в автоматизированной системе управления технологическими процессами // Государственное Патентное ведомство РУз. Свидетельство №DGU 2012 0183, 24.09.2012 г.
15. Атауллаев А.О., Уринов Ш.Р. Система фазовой автоподстройки частоты // Государственное Патентное ведомство РУз. Свидетельство №DGU 2016 0215. 28.04.2016 г.

Автореферат «ТошДТУ хабарлари» журнали тахририятида тахрирдан ўтказилди.

Бичими 60x84<sup>1/16</sup>. Ризограф босма усули. Times гарнитураси.  
Шартли босма табағи: 3. Адади 100. Буюртма № 24.

«ЎзР Фанлар Академияси Асосий кутубхонаси» босмахонасида чоп этилган.  
Босмахона манзили: 100170, Тошкент ш., Зиёлилар кўчаси, 13-уй.