

**«ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ  
МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ» МИЛЛИЙ  
ТАДҚИҚОТ УНИВЕРСИТЕТИ  
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.03/26.05.2022.Т.10.05 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ИСЛОМ КАРИМОВ НОМИДАГИ ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА  
УНИВЕРСИТЕТИ**

**УМУРЗАКОВА ДИЛНОЗАХАН МАҲАМАДЖАНОВНА**

**ИССИҚЛИК ЭНЕРГЕТИКАСИ ОБЪЕКТЛАРИНИНГ ИССИҚЛИК  
ЮКЛАМАСИНИ АДАПТИВ-ИНВАРИАНТ БОШҚАРИШ ТИЗИМИНИ  
СИНТЕЗЛАШ**

05.01.02 – Тизимли таҳлил, бошқарув ва ахборотни қайта ишлаш

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

**Тошкент - 2023**

**Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)**

**Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)**

**Умурзакова Дилнозахан Махамаджановна**

Иссиқлик энергетикаси объектларининг иссиқлик юкламасини адаптив-инвариант бошқариш тизимини синтезлаш..... 3

**Умурзакова Дилнозахан Махамаджановна**

Синтез адаптивно-инвариантной системы управления тепловой нагрузкой теплоэнергетических объектов..... 21

**Umurzakova Dilnozakhon Makhamadjanovna**

Synthesis of an adaptive-invariant control system for the heat load of thermal power objects..... 39

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ

List of published works..... 42

**«ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ  
МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ» МИЛЛИЙ  
ТАДҚИҚОТ УНИВЕРСИТЕТИ  
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.03/26.05.2022.Т.10.05 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ИСЛОМ КАРИМОВ НОМИДАГИ ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА  
УНИВЕРСИТЕТИ**

**УМУРЗАКОВА ДИЛНОЗАХАН МАҲАМАДЖАНОВНА**

**ИССИҚЛИК ЭНЕРГЕТИКАСИ ОБЪЕКТЛАРИНИНГ ИССИҚЛИК  
ЮКЛАМАСИНИ АДАПТИВ-ИНВАРИАНТ БОШҚАРИШ ТИЗИМИНИ  
СИНТЕЗЛАШ**

05.01.02 – Тизимли таҳлил, бошқарув ва ахборотни қайта ишлаш

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

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2022.4.PhD/T1113 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университетидида бажарилган.

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

**Илмий раҳбар:**

**Сиддиков Исомидин Хақимович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Расмий оппонентлар:**

**Сулюкова Лариса Фаритовна**  
техника фанлари доктори, катта илмий ходим

**Назаров Файзулло Махмадиярович**  
техника фанлари фалсафа доктори (PhD), доцент

**Етакчи ташкилот:**

**Фарғона политехника институти**

Диссертация ҳимояси «Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти» Миллий тадқиқот университети ҳузуридаги DSc.03/26.05.2022.T.10.05 рақамли Илмий кенгашнинг 2023 йил «08» февраль соат 14<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100000, Тошкент шаҳри, М.Улуғбек тумани, Қори Ниёзий кўчаси, 39-уй. Тел.: (99871) 237-19-36, факс: (99871) 237-54-79, e-mail: [admin@tiame.uz](mailto:admin@tiame.uz)).

Диссертация билан «Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти» Миллий тадқиқот университети ҳузуридаги Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (259 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100000, Тошкент шаҳри, М.Улуғбек тумани, Қори Ниёзий кўчаси кўчаси, 39-уй. Тел.: (99871) 237-19-45).

Диссертация автореферати 2023 йил «26» январ куни тарқатилди.  
(2023 йил «23» январ даги №3 рақамли реестр баённомаси.)



**Н.С. Маматов**  
Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш раиси,  
т.ф.д., профессор

**Д.Қ. Бекмуратов**  
Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш илмий котиби,  
техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)

**М.А. Исмаилов**  
Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси,  
т.ф.д., профессор

## **КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда сўнги йилларда электр энергияси ишлаб чиқишда асосий эътибор иссиқлик ва электр энергиясини ишлаб чиқиш жараёнида энергия ресурсларини камайтириш масалаларига қаратилмоқда. Мавжуд иссиқлик электр станцияларида иссиқлик юкламасини ўзгаришининг нотекислиги, ҳаво ва ёқилғининг ёқиш камерасига берилишини ўзгарувчанлиги, объектнинг динамик хусусиятларининг ноаниқлиги, турли хил ғалаёнларнинг қисман эҳтимоллик ва тасодифийлик хусусиятига эга эканлиги, ҳамда ҳаво ва ёқилғи нисбатини ростлаш сифатининг пастлиги энергиянинг йўқотилишига олиб келади. Шу сабабли, дастлабки маълумотларнинг ноаниқлиги шароитида иссиқлик энергетика объектлари технологик агрегатларини ахборот технологиялари ютуқларидан фойдаланган ҳолда бошқариш тизимларини замонавий бошқариш усуллари асосида такомиллаштириш муҳим рол ўйнайди.

Жаҳонда турли хил ноаниқликлар мавжуд бўлганда юқори бошқариш аниқлигини таъминлаш имконини берувчи иссиқлик энергетика объектларининг мавжуд бошқариш тизимларини такомиллаштириш ва янгиларини ишлаб чиқишга йўналтирилган илмий тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Шу нуқтаи назардан, ташқи ва ички таъсирларнинг тасодифий ўзгариши ва ноаниқлиги шароитида ишловчи иссиқлик юкламасини адаптив-инвариант тизимини ишлаб чиқиш муаммосини ҳал қилиш долзарб муаммолардан биридир. Шу муносабат билан, ҳозирги вақтда иссиқлик энергетика объектларида юқори самарали бошқариш тизимларини яратиш, турли хил ғалаёнларга нисбатан адаптив-инвариант бошқариш тизимини синтезлаш модел ва алгоритмларини ишлаб чиқиш ниҳоятда долзарб ҳисобланади.

Республикамизда қабул қилинган комплекс чоралар доирасида электр энергия объектларини бошқариш жараёнини интеллектуаллаштиришни бошқариш назарияси ва усуллари ривожлантиришга катта эътибор қаратилмоқда, хусусан, буғ генераторининг иш режимларини ноаниқлик шароитида энергия тежамкор технологияларни қўллаган ҳолда ҳар хил турдаги оператив ва техник чекловларни ҳисобга олиш долзарб масалалардандир. 2022-2026 йилларга мўлжалланган янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегиясида, жумладан «Иқтисодиётни электр энергияси билан узлуксиз таъминлаш ҳамда «Яшил иқтисодиёт» технологияларини барча соҳаларга фаол жорий этиш, иқтисодиётнинг энергия самарадорлигини 20 фоизга ошириш...»<sup>1</sup> каби муҳим вазифалар белгилаб берилган. Мазкур вазифаларни амалга оширишда замонавий бошқариш усулларида фойдаланиб тежамкор технологиялар асосида иссиқлик энергетикаси объектларининг энергия самарадорлигини оширишга алоҳида эътибор қаратилган.

---

<sup>1</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг «2022-2026 йилларга мўлжалланган янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида»ги 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон Фармони

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон «2022-2026 йилларга мўлжалланган янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида»ги, 2019 йил 1 февралдаги ПФ-5646-сон «Ўзбекистон Республикаси ёқилғи-энергетика тармоғини бошқариш тизимини тубдан такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Фармонлари, 2018 йил 27 апрелдаги ПҚ-3682-сон «Инновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳаларни амалий жорий қилиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги ва 2019 йил 27 мартдаги ПҚ-4249-сон «Ўзбекистон Республикасида электр энергетика тармоғини янада ривожлантириш ва ислох қилиш стратегияси тўғрисида»ги қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъерий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда муайян даражада хизмат қилади.

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

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Иссиқлик юкламасини адаптив-инвариант бошқариш тизимини синтезлаш усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш билан боғлиқ илмий-техникавий наشرлар таҳлили ушбу соҳада маълум даражада назарий ва амалий натижаларга эришилганлигидан далолат беради. Бу борада жаҳоннинг етакчи илмий марказлари, жумладан, Toqai Infra Logic, Micro Devices, Honeywell (АҚШ), LIFE халқаро лабораторияси, Mitsubishi Electric, Siemens (Германия), Wecan Agrotexservis (Жанубий Корея) ҳамда олий таълим муассасалари: BISC (АҚШ), Зиген Университети (Германия), Донгук университети (жанубий Корея), Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети ҳамда «Ўзэнергомарказ» МЧЖда кенг қамровли илмий тадқиқот ишлари олиб борилмоқда.

Динамик объектларни бошқариш жараёнларини интеллектуаллаштириш ва турли хил мураккабликлар ва ноаниқликларни ҳисобга олган ҳолда юқори самарали бошқариш тизимларини яратиш масалаларига қатор чет эл олимлари жумладан, Р.А.Алиев, А.Пиегат, М.Сугено, Л.А.Заде, С.Н.Васильев, Н.Н.Востриков, К.А.Пупков, Е.В.Цветков, Г.Б.Левенталь, Г.П.Плетнев, Э.К.Аракелян, В.Я.Ротач мамлакатимиз олимларидан М.М.Арипов, Т.Ф.Бекмуратов, Х.З.Игамбердиев, Н.Р.Юсупбеков, Ш.М.Гулямов, М.М.Камилов, А.Р.Марахимов, Д.Т.Мухаммадиева, И.Х.Сиддиқов, М.А.Исмаилов ва бошқалар ўзларининг улкан ҳиссаларини қўшиб келмоқдалар.

Шу билан бирга, илмий тадқиқотлар доирасининг доимий равишда мураккаблашиши ва кенгайиб бориши, маълумотларнинг тасодифийлик характери ва қисман ноаниқлигини ҳисобга олган ҳолда, технологик объектларининг иш режимларини самарали бошқариш усуллари ва алгоритмларини такомиллаштириш ва ишлаб чиқишни талаб этади. Хусусан, турли ноаниқликлар шароитида фаолият кўрсатувчи буғ генератори турли

ёқилғилар сарфини ва иссиқлик юкламасини ўзгаришига мос равишда иш режимлари қийматларини таъминлаш, ташқи таъсирларнинг тасодифийлиги ва объект хусусиятларини ўзгарувчанлигини ҳисобга олиш имконини берувчи интеллектуал технологиялар усулларига асосланган ҳолда адаптив-инвариант бошқариш тизимини синтезлашнинг моделлари ва алгоритмларини яратиш долзарб масалалардан биридир.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасаси илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университети илмий-тадқиқот ишлари режаларининг А-5-42-«Априор ноаниқлик шароитида технологик объектларнинг автоматлаштирилган мониторинги ва бошқаришни интеллектуаллаштиришни дастурий-инструментал воситаси» (2015-2017); АКТ-А-2021-3-«Қайта тикланувчи энергия манбалари асосида энерготизим чиқиш параметрларини тадқиқ қилиш дастурий таъминоти ва симуляцион стендини тажрибавий намунасини яратиш ва ишлаб чиқиш» (2021-2024) мавзуларидаги лойиҳалар доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** иссиқлик энергетика объектларининг иссиқлик юкламасини адаптив-инвариант бошқариш тизимларини синтезлаш моделлари ва алгоритмларини ишлаб чиқишдан иборатдир.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

буғ генераторининг иссиқлик юкламасини бошқариш муаммосининг замонавий ҳолатини тизимли таҳлил қилиш;

турли хил ёқилғиларни биргаликда ёқиш жараёнида буғ генератори фаолияти динамикасининг математик моделини ишлаб чиқиш;

дастлабки маълумотларнинг ноаниқлиги ва ночизиқлигини ҳисобга олган ҳолда иссиқлик юкламасини бошқариш жараёнининг аналитик ифодасини ишлаб чиқиш;

иссиқлик юкламаси кенг диапазонда ўзгарганда норавшан бошқариш тизими параметрларини адаптациялаш алгоритмларини ишлаб чиқиш;

иссиқлик юкламасининг ўзгарувчанлиги ва ташқи таъсирларга қараб буғ генератори технологик параметрларини адаптив-инвариант бошқариш тизимини ишлаб чиқиш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида иссиқлик энергетика объектларининг иссиқлик юкламасини бошқариш тизимлари олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** технологик чекловларни ҳисобга олган ҳолда дастлабки маълумотларнинг қисман ноаниқлиги шароитида иссиқлик энергетика объектларини бошқариш муаммоларини ҳал қилиш усуллари, моделлари ва алгоритмлари ҳисобланади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида тизимли таҳлил, имитацион моделлаштириш назарияси, интеллектуал бошқариш усуллари, норавшан ва адаптив бошқариш назарияси усулларидан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

турли хил ёқилғиларни биргаликда ёқиш жараёнида маълумотларнинг ноаниқлиги, объект динамикасининг ўзгарувчанлиги ҳамда технологик

чекловларни ҳисобга олган ҳолда иссиқлик юкламасини бошқариш жараёнининг динамик модели ишлаб чиқилган;

иссиқлик юкламасининг тасодифий ўзгариши ва дастлабки маълумотларнинг қисман ноаниқлиги шароитида ёқилғи сарфини ўзгартириш ҳисобига компенсациялаш ҳамда бошқариш жараёнини стабиллаш имконини берувчи бошқариш тизимини адаптив созлаш алгоритмлари ишлаб чиқилган;

маълумотлар ноаниқлиги шароитида бошқариш жараёнининг технологик чекловларни ҳисобга олган ҳолда, буғ генератори технологик параметрларини норавшан бошқариш тизимини синтезлаш алгоритмлари ишлаб чиқилган;

бошқариш объекти параметрлари ва ташқи ғалаёнларнинг кенг диапазонда ўзгариши шароитида иссиқлик юкламасини юқори сифатли бошқаришни таъминлаш имконини берувчи норавшан бошқариш тизими ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

буғ генераторининг оптимал иш режимларини ушлаб туриш ҳисобига энергия сарфини камайтиришга имкон берадиган, ташқи муҳит ва объект хусусиятлари ноаниқлиги шароитида динамик объектларнинг технологик параметрларини адаптив-инвариант бошқариш тизими синтези масаласини алгоритмик таъминоти ишлаб чиқилган;

жараёнлар кечишининг технологик режимлари барқарорлаштириш ва уларнинг ишлаш самарадорлигини оширишга имкон берувчи мос техник таъминотли буғ генератори иссиқлик юкламасини адаптив-инвариант бошқариш тизими ва автоматлаштиришнинг такомиллаштирилган структуравий ва функционал схемалари ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги** услубий жиҳатдан асосланган назарий ҳисоб-китобларни амалга оширилиши, мураккаб динамик объектларни адаптив-инвариант бошқаришнинг назарий асосланган мезонларини қўлланиши, замонавий бошқариш назариясининг амалий синовдан ўтган усуллари ва алгоритмларини ишлатилиши, адаптив-инвариант бошқаришнинг таклиф этилган усуллари ва алгоритмларини талаб даражадаги яқунлиги, назарий ва амалий тадқиқотларнинг олинган натижалари ва уларнинг ўзаро мувофиқлиги билан таъминланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқотнинг илмий натижалари аҳамияти режимли ва технологик чекловларни ҳисобга олган ҳолда, дастлабки маълумотларнинг тасодифийлик характери ва қисман ноаниқлиги шароитида ишлайдиган буғ генератори иссиқлик юкламасини адаптив-инвариант бошқариш тизимини синтезлаш моделлари ва алгоритмларининг яратилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти буғ генераторининг оптимал иш режимларини ушлаб туриш ҳисобига энергия сарфини камайтиришга имкон берадиган, ташқи муҳит ва объект хусусиятлари ноаниқлиги шароитида динамик объектларнинг технологик параметрларини адаптив-инвариант бошқариш тизими синтезлаш масаласини алгоритмик ва дастурий таъминотини ишлаб чиқилганлиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Иссиқлик энергетикаси объектлари буғ генератори иссиқлик юкламасини адаптив-инвариант бошқариш тизимларини синтезлаш натижалари асосида:

турли хил ёқилғиларни биргаликда ёқиш жараёнида маълумотларнинг ноаниқлиги, объект динамикасининг ўзгарувчанлиги ҳамда технологик чекловларни ҳисобга олган ҳолда иссиқлик юкламасини бошқариш жараёнининг ишлаб чиқилган динамик моделлари Фарғона вилояти «Иссиқлик манбаи» ишлаб чиқариш давлат корхонасида жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Энергетика вазирлигининг 2022 йил 30 мартдаги №13-8639-сон маълумотномаси). Натижада, алгоритмлар иссиқлик юкламасининг ўзгаришига мос равишда бошқариш объектининг оптимал функционал режимларини танлаш имконини берган;

иссиқлик юкламасининг тасодифий ўзгариши ва дастлабки маълумотларнинг қисман ноаниқлиги шароитида бошқариш жараёнининг технологик чекловларни ҳисобга олган ҳолда, норавшан бошқариш тизими параметрларига адаптациялаш хусусиятини берувчи алгоритмлар Фарғона вилояти «Иссиқлик манбаи» ишлаб чиқариш давлат корхонасида жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Энергетика вазирлигининг 2022 йил 30 мартдаги №13-8639-сон маълумотномаси). Натижада, ишлаб чиқилган алгоритмлар турли хил ёқилғилар биргаликда ёқилганда буғ генератори ҳарорат режимини ва иссиқлик юкламасини динамик ўзгаришини барқарорлаштириш имконини берган;

иссиқлик юкламасини бошқариш объекти параметрлари ва ташқи ғалаёнларнинг кенг диапазонда ўзгариши шароитида иссиқлик юкламасини юқори сифатли бошқаришни таъминлаш имконини берувчи норавшан бошқариш тизимининг дастурий мажмуаси Фарғона вилояти «Иссиқлик манбаи» ишлаб чиқариш давлат корхонасида жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Энергетика вазирлигининг 2022 йил 30 мартдаги №13-8639-сон маълумотномаси). Натижада, буғ ҳароратининг ўртача квадрат оғишини технологик регламентга нисбатан 1-2°C га камайтириш ҳисобланди, бу эса ёқилғи сарфини 95% дан 62% га камайтириш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Ушбу тадқиқот натижалари жами 4 та халқаро ва 3 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокама қилинган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Диссертация мавзуси бўйича жами ҳисобда 23 та илмий иш, шулардан 13 та мақола, жумладан 3 таси Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари бўйича илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрлардаги мақолалар, шундан 10 таси хорижий журналда нашр этилган, ҳамда 3 та ЭҲМ учун яратилган дастурий воситаларини қайд қилиш гувоҳномалари олинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат.

Диссертациянинг ҳажми 120 бетни ташкил этган.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш** қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари шакллантирилган, тадқиқот объекти ва предмети тавсифланган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

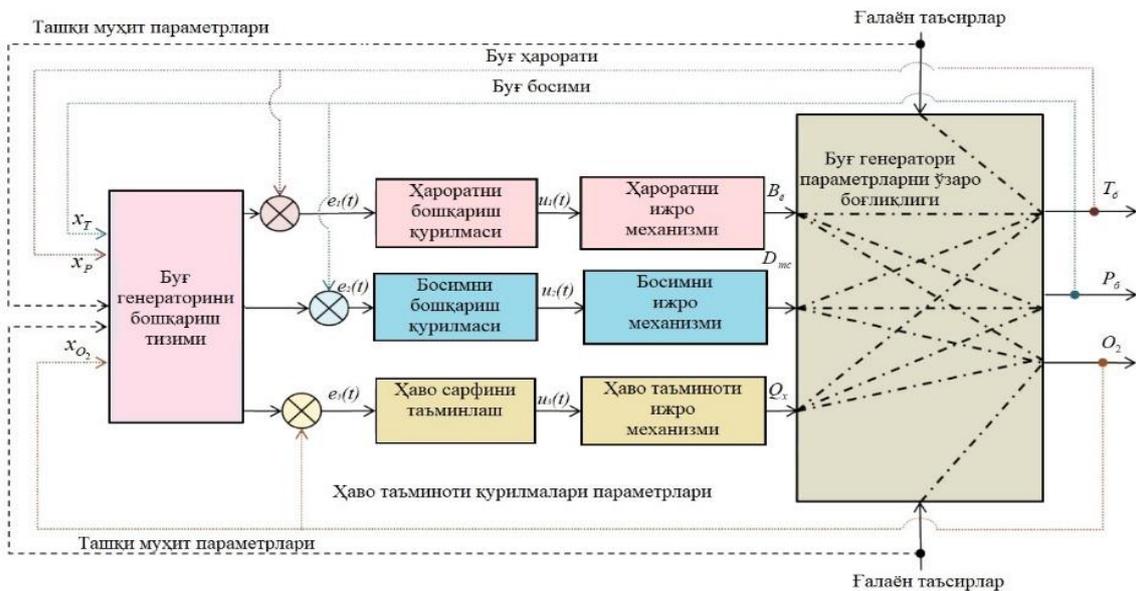
Диссертациянинг **“Иссиқлик электр станциялари буғ генератори иссиқлик юкламасини бошқариш муаммоларининг замонавий ҳолати”** номли биринчи бобида буғ генератори технологик параметрларни ўзаро таъсирини таҳлили ҳамда буғ генератори технологик параметрларини бошқариш жараёни самарадорлигига таъсир этувчи асосий омилларни аниқлаш мақсадида буғ генератори ҳарорат режимининг замонавий ҳолатини тизимли таҳлили натижалари келтирилган.

Ҳозирги вақтда мамлакатимизнинг электр энергиясининг асосий қисми (85% га яқини) табиий газ, кўмир, мазутдан фойдаланиб ишлаб чиқарилмоқда. Бугунги кунда иссиқлик электр станциялари энергоблокларнинг самарадорлик коэффициенти 30-40% ни ташкил этади. Иссиқлик электр станцияларида ёқилғи-энергетика балансининг ўзгариши билан ёқилғиларни тежамкор ёқишни ташкил этиш муаммоси энергетика саноатининг долзарб вазифаларидан бирига айланиб бормоқда.

Биргаликда ёқиладиган ёқилғиларнинг иссиқлик физик характеристикаларининг ўзгариши буғ генераторининг режим параметрларини барқарорлаштиришни қийинлаштиради, бу эса буғ генератори иссиқлик юкламаси технологик агрегатларининг самарадорлиги ва ишончлилигини пасайишига ва юқори самарали бошқариш тизимларини яратишга олиб келади. Турли хил ёқилғиларни ёқиш жараёнида иссиқлик юкламасини бошқариш тизимлари қиймати ўзгарувчан бўлиб, у кўп жиҳатдан буғ генератори асосий параметрларини барқарорлаштиришга боғлиқдир.

Буғ генераторининг асосий бошқарилувчи катталикларига буғ сарфи  $D_{кб}$  унинг ҳарорати  $t_{кб}$  ва босими  $p_{бб}$  киради. Иссиқлик юкламаси буғ сарфига мос равишда ўзгарувчан бўлиб, буғнинг босими ва ҳароратини юкламага мос равишда керакли қийматда ушлаб туриш зарур. Лекин ушбу параметрлар кенг диапазонда ростланувчи нозизиқлилиқ ҳамда доимий равишда ўзгарувчанлик хусусиятига эга ва турли хил ғалаёнлар таъсири остида бўлади, бу эса ўз навбатида юқори самарали бошқариш тизимининг синтезлаш масаласини ечишни мураккаблаштиради.

Мавжуд бошқариш тизимларини ҳамда буғ генераторида содир бўладиган физикавий жараёнлар хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда, уларни кириш ва чиқиш ўзгарувчиларига ажратиб олиш ва ўзаро бир-бирига таъсирини аниқлаш учун буғ генератори иссиқлик юкламасини умумлашган бошқарув тизимининг функционал схемаси ишлаб чиқилди (1-расм).



**1-расм. Буг генератори иссиқлик юкласини умумлашган бошқарув тизимининг функционал схемаси**

бу ерда  $x_T$ ,  $x_P$ ,  $x_{O_2}$  – бошқарилувчи катталиқлар;  $u_1(t)$ ,  $u_2(t)$ ,  $u_3(t)$  – бошқарувчи таъсирлар;  $e_1(t)$ ,  $e_2(t)$ ,  $e_3(t)$  – хатолик сигналлари;  $B_e$ ,  $D_{mc}$ ,  $Q_x$  – мос равишда ёқилғи, тозаланган сув ва ҳаво сарфлари;  $T_\sigma$ ,  $P_\sigma$ ,  $O_2$  – чиқиш катталиқлари: буг ҳарорати, босими ва кислород миқдори.

Буг генератори иссиқлик юкласи – ўзаро бир-бирига боғланган ўзгарувчилардан ( $B_e$ ,  $D_{mc}$ ,  $Q_x$ ) иборатдир. Бошқарилувчи катталиқлар ўзаро бир-бирига боғланганлиги сабабли, қурилмадан чиқувчи  $u_1(t)$ ,  $u_2(t)$ ,  $u_3(t)$  бошқарув тасирлари, ҳам  $x_T$ ,  $x_P$ ,  $x_{O_2}$  катталиқларнинг ҳозирги ва кейинги вақтдаги ўзгаришларини инобатга олиши зарур.

Ўтказилган таҳлилларга асосланиб, турли хил ёқилғиларни биргаликда ёқиш жараёнида буг генератори иссиқлик юкласини адаптив-инвариант бошқариш тизимларини ишлаб чиқиш учун қуйиладиган асосий талаблар шакллантирилди:

ёқилғилар сарфи ва унинг физик хусусиятларини тасодифий ўзгариши ҳисобга олган ҳолда буг генераторининг барқарор буг ишлаб чиқишини сақлаб туриш;

бир ёқилғидан иккинчисига ўтишда, юклама ўзгаришининг иш диапазонида ёқилғиларни биргаликда ёниш жараёнида уларнинг нисбатларини керакли қийматини таъминлашни амалга ошириш учун бошқариш қурилмасининг динамик созлаш параметрларини мос равишда ўзгартириш;

турли ёқилғилар сарфи ва уларнинг нисбатини бир вақтнинг ўзида ўзгартириш имконини бериш;

ёқилғи сарфи тебранишларини компенсациялаш ҳисобига юқори тезкорлик ва аниқликни таъминлаш.

Юқоридагиларни инобатга олган ҳолда, иссиқлик энергетикаси объектлари бошқариш тизимининг ривожланиш тенденциялари асосида буг

генераторини юқори самарали бошқариш тизимларини яратишда бошқариш усуллари ҳамда интеллектуал бошқариш назариясининг замонавий усуллари биргаликда қўллашнинг мақсадга мувофиқлигини кўрсатди. Шу муносабат билан, юқори аниқлик ва тезлик билан ажралиб турадиган буғ генератори иссиқлик юкламасини адаптив-инвариант бошқариш тизимларини ишлаб чиқиш ушбу диссертация ишининг мазмуни ҳисобланади.

Диссертациянинг “**Ёқилғиларни ёниш жараёнида буғ генератори бошқариш объекти сифатида**” номли иккинчи бобида бошқариш объекти жараёнларининг иссиқлик физик хусусиятлари, турли хил ёқилғиларни биргаликда ёқиш жараёнининг динамик математик моделини ишлаб чиқиш, буғ генератори иссиқлик юкламаси ва буғ ҳароратини статик ва динамик характеристикалари келтирилган.

Буғ генератори технологик жараёнларини бошқаришнинг муҳим босқичи шундан иборатки, тадқиқ қилинаётган жараёнларнинг хусусиятини аниқлаш учун буғ генератори динамикасини тавсифлашдир. Буғ генераторининг математик моделини ишлаб чиқишда гидродинамик (1) ҳамда термодинамик (2) тенгламалардан фойдаланилиб ёниш жараёни қуйидаги тенгламалар тизими билан ифодаланди:

$$\begin{cases} V \frac{dx_A}{dt} = v^0 x_A - vx_A - VKx_A x_B \\ V \frac{dx_B}{dt} = v^0 x_B - vx_B - VKx_A x_B \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} C_2 m_2 T_2 + C_{\text{ёжс}} m_{\text{ёжс}} T_{\text{ёжс}} + q_{\text{ё}} V_{\text{ё}} - C_x m_x (T_{\text{ё}}^0 - T_x) - \lambda m_{\text{ё}} - C_{\text{ё}} m_{\text{ё}} (T_{\text{ё}} - T_{\text{ё}}^0) - Q_{\text{II}} = 0 \\ Q_{\text{II}} - C_x m_x (T_x - T_x^0) - C_{\text{ёжс}} m_{\text{ёжс}} (T_{\text{ёжс}} - T_{\text{ёжс}}^0) - C_p^{\text{оэ}} m_{\text{оэ}} T_{\text{оэ}} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

бу ерда  $V$  – буғ генераторининг ҳажми;  $v^0 = v_A^0 + v_B^0$  – ёқилғи ва кислород аралашмасининг ўртача тезлиги;  $x_A$  – ёқилғидаги кислород концентрацияси;  $x_B$  – ҳаво сарфи,  $K$  – реакция тезлиги коэффициенти;  $C$  – модданинг солиштирма иссиқлик сифими;  $m$  – модда массаси;  $q_{\text{ё}}$  – ёқилғининг солиштирма ёниш иссиқлиги;  $V_{\text{ё}}$  – ёнувчи ёқилғининг ҳажми;  $\lambda$  – буғ ҳосил қилишнинг солиштирма иссиқлиги.

Агар термодинамик параметр  $x$  норматив қийматдан  $\Delta x$  оғса, у ҳолда турли хил ёқилғиларнинг (3) ва электр энергиянинг (4) ортиқча сарфи қуйидаги муносабат орқали аниқланди:

$$\Delta b_{\text{ё}} \approx -b_{\text{ё}} \left( \sum_{i=1}^5 \frac{1}{n_i} \frac{dn_i}{dx} + \frac{1}{\varepsilon_S} \frac{d\varepsilon_S}{dx} + \frac{1}{\varepsilon_N} \frac{d\varepsilon_N}{dx} \right); \quad (3)$$

$$\Delta b_N \approx -b_N \left( \sum_{i=1}^5 \frac{1}{n_i} \frac{dn_i}{dx} + \frac{1}{\varepsilon_S} \frac{d\varepsilon_S}{dx} + \frac{1}{\varepsilon_N} \frac{d\varepsilon_N}{dx} \right) \Delta x; \quad (4)$$

бу ерда  $\frac{dn_i}{dx}$ ,  $\frac{d\varepsilon_S}{dx}$ ,  $\frac{d\varepsilon_N}{dx}$  – жараёнга таъсир қилувчи омилларнинг ўзгариш тезлиги,  $i=1..5$  – қурилма элементлари,  $\varepsilon_S$ ,  $\varepsilon_N$  – мос равишда технологик муносабат ва иссиқлик генераторидаги йўқотишлар ( $\varepsilon_N > 1$ ) коэффицентлари.

Материал ва иссиқлик баланси тенгламалари асосида Р-100-130/15 буғ

генераторининг аналитик ифодаси аниқланди. Буғ генераторининг умумэтироф этилган материал (5) ва иссиқлик (6) баланси, буғ сарфини ифодаловчи тенгламалар (7), иссиқлик трактдаги иссиқликни узатиш тенгламаси (8) ҳамда ёқилғи-ҳаво аралашмаси тенгламалари (9) асосида жараённинг динамикаси қуйидаги муносабатларда ифодаланди:

$$T_1 \frac{d\varphi_{\bar{o}\bar{o}}}{dt} + T_2 \frac{d\varphi_{\bar{o}x}}{dt} + T_5 \frac{d\varphi_{\bar{o}cc}}{dt} + B_1 \lambda_{\bar{o}c-1} + B_2 \lambda_{\bar{o}c} + B_3 \lambda_{ccc} = 0; \quad (5)$$

$$T_3 \frac{d\varphi_{\bar{o}\bar{o}}}{dt} + T_4 \frac{d\varphi_{\bar{o}x}}{dt} + A_1 \lambda_{\bar{o}c-1} + A_2 \lambda_{\bar{o}c} + A_3 \psi_{uo} + A_4 \varphi_{\bar{o}\bar{o}-1} + A_5 \varphi_{\bar{o}x-1} + A_6 \varphi_{\bar{o}\bar{o}} + A_7 \varphi_{\bar{o}xc} + A_8 \lambda_{ccc} + A_9 \varphi_{ccc} = 0; \quad (6)$$

$$B_1 \lambda_{\bar{o}c} + B_2 \varphi_{\bar{o}\bar{o}} + B_3 \varphi_{\bar{o}x} + B_4 \varphi_{\bar{o}\bar{o}-1} + B_5 \varphi_{\bar{o}x+1} + B_6 \mu_{\bar{e}} = 0; \quad (7)$$

$$A_1 \lambda_{\bar{o}c-1} + A_2 \lambda_{\bar{o}c} + A_3 \psi_{uo} + A_4 \varphi_{\bar{e}\bar{e}x-1} + A_5 \varphi_{\bar{e}\bar{e}x} + A_6 \varphi_{\bar{o}\bar{o}-1} + A_7 \varphi_{\bar{o}x-1} + A_8 \varphi_{\bar{o}\bar{o}} + A_9 \varphi_{\bar{o}x} + A_{10} \mu_{\bar{e}} + A_{11} \Delta r + A_{12} \mu_x = 0; \quad (8)$$

$$B_1 \psi_{uo} + B_2 \varphi_{\bar{e}\bar{e}x-1} + B_3 \varphi_{\bar{e}\bar{e}x} + B_4 \mu_{\bar{e}} + B_5 \Delta r + B_6 \mu_x = 0; \quad (9)$$

бу ерда  $T_{1-5}$ ,  $B_{1-6}$ ,  $A_{1-12}$  – буғ генераторининг иссиқлик, гидравлик ва бошқа хоссаларини тавсифловчи доимий коэффициентлар;  $\varphi_{\bar{o}\bar{o}}$ ,  $\varphi_{\bar{o}x}$ ,  $\varphi_{\bar{o}cc}$  – буғ генераторидаги буғнинг босими ва ҳарорати, барабандаги сув сатҳи;  $\varphi_{\bar{e}\bar{e}x}$ ,  $\lambda_{\bar{o}c}$ ,  $\psi_{uo}$  – ёқиладиган ёқилғининг ҳарорати, буғ сарфи ва иссиқлик оқими;  $\mu_{\bar{e}}$ ,  $\mu_x$ ,  $\Delta r$ ,  $\lambda_{ccc}$  – ёқилғи, ҳаво сарфи, ёқилғи ва ҳаво аралашмаси, сочилишдаги сув сарфининг ўзгариши.

Ишлаб чиқилган математик модел буғ генератори динамикасининг хусусиятларни тавсифлайди ва унинг хоссаларини ҳисобга олган ҳолда ёниш жараёнининг юқори сифатли бошқариш тизимини яратиш учун хизмат қилади. (5)-(9) муносабатлардаги ўзгарувчилар сонининг ўзаро бир-бирига таъсири бошқарув тизимининг мураккаблашинувига олиб келади. Шунинг учун тадқиқот ишида уларни айрим содда қисмларга ажратиб олиш, уларнинг динамик характеристикаларини ўрганиш асосида буғ генератори иссиқлик юқламасини бошқариш тизимларини ишлаб чиқиш таклиф этилган. Бунда жараённинг амалга ошиш кетма-кетлиги объект хусусиятларини инобатга олган ҳолда айрим қисмларга ажратиб олинди. Бундай қисмлар сифатида ёқилғи ва ҳаво сарфини берилиши олинган бўлиб, бунда ёндирувчи қурилма бу компонентларни аралаштиришни, ҳаво-ёқилғи аралашмасини ёқиш жараёнини, ёндириш жараёни – иситиш юзаларига ва тозаланган сувга иссиқлик ўтказиш, буғланиш қисми ҳамда ёқиладиган ёқилғилар иссиқлигини сақлаш қисмларига ажратиш орқали турли хил ёқилғиларни биргаликда ёқиш жараёнида буғ генераторининг функционал динамикаси тадқиқ қилинди. Ёқилғи ва ҳаво сарфи ўртасидаги динамик боғлиқлик тажриба натижасида олинган маълумотларни аппроксимациялаш асосида бошқариш тизимининг узатиш функциялари қуйидаги кўринишида ифодаланди:

$$W_1(p) = \frac{K_{R_1}}{1 + T_{B_1} p}; \quad W_2(p) = \frac{K_{R_2}}{1 + T_{B_2} p}; \quad W_3(p) = \frac{K_{R_3}}{K_{\alpha} \cdot V_x (1 + T_{B_3} p)};$$

бу ерда  $K_{R_1}$ ,  $K_{R_2}$ ,  $K_{R_3}$  – мос равишда ёқилғиларнинг сарфларининг узатиш коэффициентлари;  $T_{B_1}$ ,  $T_{B_2}$ ,  $T_{B_3}$  – ўзгармас вақт доимийси;  $K_\alpha$  –  $\alpha = 1,0$  да солиштирма ҳаво миқдори;  $V_x$  – ҳаво сарфи.

Ушбу муносабатлар асосида ёқилғи-ҳаво аралашмаси нисбати қуйидаги узатиш функцияси орқали ифодаланди:

$$W(p) = a_i e^{-T_i p} \cdot \frac{1}{1+T_i p} = \frac{a_i}{1+T_i p} \cdot e^{-T_i p}, \quad (10)$$

бу ерда табиий газ учун узатиш коэффициентлари  $a_1 = \frac{C_{e_1} - C_e}{B_1 + B_2 + V_x}$  га тенг; домен

газ  $a_2 = \frac{C_{e_2} - C_e}{B_1 + B_2 + V_x}$ ; ҳаво  $a_x = \frac{C_{e_x} - C_e}{B_1 + B_2 + V_x}$  доимий вақтга тенг; ўтказиш учун

$T_i = \frac{m}{B_1 + B_2 + V_x}$ , аралаштириш учун  $T = \frac{m}{B_1 + B_2 + V_x}$ , яъни  $T_i = T$ ;  $B_1$ ,  $B_2$  – табиий

ва домен газ сарфи;  $m$  – ёнаётган аралашмадаги модда миқдори;  $C_e$  – концентрация.

Ўчоқда газ-ҳаво аралашмасининг ёниши газ ва ҳаво сарфининг ўзаро нисбатига боғлиқдир. У ҳолда иссиқлик миқдори  $Q$ , ҳаво-газ нисбати  $\alpha$  ва чиқишдаги газлар ҳарорати  $t$  ўртасидаги муносабат қуйидаги узатиш функцияси кўринишида ифодаланди:

$$W_{Q_t}(p) = \frac{a_p - B_p K_Q}{K_S} \cdot \frac{1}{1+T_1 p}; \quad W_{\alpha}(p) = -\frac{B_p K_\alpha}{K_S} \cdot \frac{1}{1+T_1 p}.$$

Чиқишдаги газ сарфи  $B_3$  қуйидагича аниқланди:

$$W_{QB_3}(p) = K_Q; \quad W_{\alpha B_3}(p) = K_Q;$$

бу ерда  $K_S$  – ҳарорат коэффициенти.

Турли хил ёқилғиларни биргаликда ёқиш жараёнида буғ генераторининг математик моделини таҳлил қилиш шуни кўрсатдики, бошқариш объектининг динамик параметрлари кечикувчи хусусиятли биринчи тартибли инерциал звено билан ифодаланиб, у ўчоқдаги иссиқлик ажралишининг ўзгариши ёқилғиларнинг ўзаро нисбатига боғлиқ. Турли хил ёқилғиларни ёқиш жараёнида буғ генераторининг статик ва динамик хоссалари ёнаётган аралашмадаги ёқилғи сарфи нисбатига боғлиқ бўлиб, бу эса бошқариш тизимини параметрларини ушбу нисбатга мос равишда корректлашни талаб қилади.

Диссертациянинг “**Буғ генератори иссиқлик юкламасини адаптив-инвариант бошқариш алгоритмлари**” номли учинчи бобида детерминистик ва тасодифий ғалаёнларда иссиқлик юкламасини бошқариш тизими, бошқариш қонунини адаптациялаш алгоритмлари ҳамда буғ генератори параметрларини адаптив-инвариант бошқариш тизимини тадқиқ қилиш натижалари келтирилган.

Маълумки, бошқариш тизимини тўлиқ инвариантлик тамойилини таъминлашда нафақат бошқарилувчи катталикларнинг оғиши бўйича, балки бир вақтда ғалаён таъсирларини камайтириш, яъни инвариант тизимни яратиш

зарурдир. Тизимнинг тўлиқ инвариантлигини таъминлаш учун бошқариш тизими икки каналлик тамойили асосида ғалаён сигналлари бўйича узатиш канал мавжуд бўлиши керак. Ушбу тамойилга асосланган ҳолда, бошқариш тизимининг инвариантлигини таъминлашнинг етарли ва зарурий шартини бажаришда тизимнинг таркибига ғалаён сигналларини компенсациялаш учун узатиш функцияси таркибига  $W_K(p)$  қўшимча канал киритилди. Бунинг учун дастлаб ҳар бир ёқилғи тури бўйича узатиш каналининг узатиш функциялари  $W_1(p)$ ,  $W_2(p)$  ва  $W_3(p)$  аниқланди. Бунда ташқи ғалаёнлар табиий газ ва ҳаво сарфи тўғридан-тўғри каналларнинг киришига таъсир кўрсатади. Табиий газ сарфи ҳаво сарфининг ўзгаришига қараб ўзгаради ва уларнинг сигналлари оператор  $W_K(p)$  билан компенсацияловчи қурилмадан иссиқлик юкламаси ростлагичига  $W_P(p)$  берилади. Компенсацияловчи қурилма параметрларини тўғри танлаш асосида чиқишда буғ сарфи ўзгаришининг қийматлари аниқланди. Шунингдек, ростлаш ва ғалаён каналларининг узатиш функциялари қуйидагича ифодаланди:

$$W_1(p) = W_{OP}(p) = \frac{K_{OP}}{1 + T_1 p} \cdot e^{-\tau_1 p}; \quad W_2(p) = W_{OG}(p) = \frac{K_{OG}}{1 + T_2 p} \cdot e^{-\tau_2 p};$$

$$W_3(p) = \frac{K_{OG}}{V_x(1 + T_3 p)} \cdot e^{-\tau_3 p}; \quad W_P(p) = K_P + \frac{K_P}{T_H} \cdot \frac{1}{p}.$$

У ҳолда компенсацияловчи қурилманинг узатиш функцияси қуйидаги муносабат орқали ифодаланди:

$$W_K(p) = \frac{K_{OG} p \cdot (T_1 p + 1)}{K_{OP} \left[ K_P + \frac{K_P}{T_H} T_2 \right] p + \frac{K_P}{T_H}} \cdot e^{-(\tau_2 - \tau_1) p}. \quad (11)$$

(11) муносабат асосида компенсацияловчи қурилма параметрлари аниқланди:

$$T = T_2 + T_H - T_1; \quad K = \frac{K_{OG}}{K_{OP}} \cdot \frac{1}{K_P} \cdot \frac{T_H}{(T_2 + T_H - T_1)}; \quad \tau = \tau_2 - \tau_1.$$

Ростлаш каналининг узатиш функцияси параметрлари:

$$K_1 = K_{OP} = 0,9 \frac{MB}{\text{нм}^3/\text{соат}}; \quad T_1 = 10 \text{ секунд}; \quad \tau_1 = 5 \text{ секунд}; \quad \text{ва ғалаён каналининг}$$

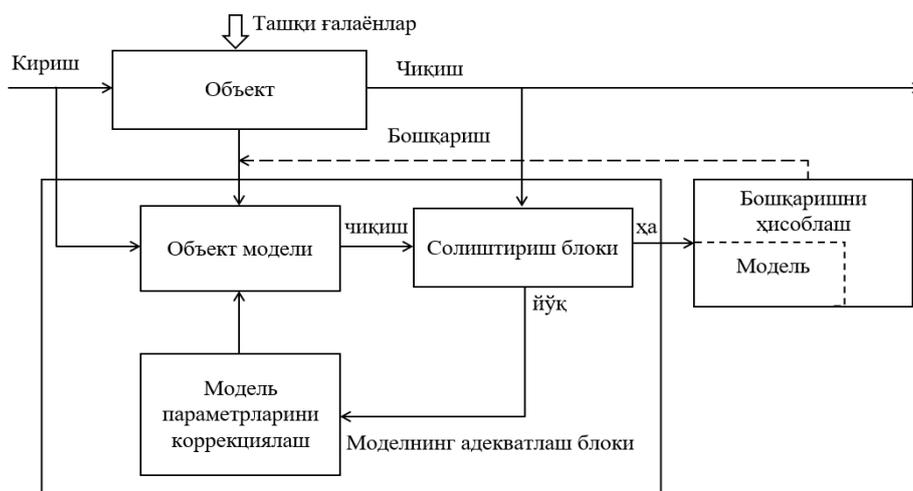
$$\text{узатиш функцияси коэффициентлари: } K_2 = K_{OG} = 0,02 \frac{MB}{\text{нм}^3/\text{соат}}; \quad T_2 = 40 \text{ секунд};$$

$\tau_2 = 25$  секунд бўлганда бошқариш қурилмасининг параметрлари қуйидагича ифодаланди:

$$T = 36,2 \text{ секунд}; \quad K = 0,0035 \frac{MB}{\text{нм}^3/\text{соат}}.$$

Буғ генераторининг параметрлари ташқи ғалаёнлар ва иссиқлик юкламаси ўзгарувчан характерга эга бўлганлиги сабабли юқорида таклиф этилган бошқариш алгоритмининг математик модели етарли натижани бермайди. Шунинг учун, тадқиқот ишида бошқариш тизими ҳақидаги маълумотларнинг ноаниқлиги ва тасодифий ўзгариши шароитида бошқариш

жараёнига адаптациялаш хусусиятини берувчи адаптив бошқариш қонуниятидан фойдаланиш таклиф этилди (2-расм).



**2-расм. Иссиқлик юкламасини бошқаришни адаптациялаш механизмининг функционал схемаси**

Модел параметрларини коррекциялашда стохастик аппроксимациялаш жараёни орқали амалга оширилди. Бу ҳолда параметрларнинг ўзгариши қуйидагича ҳисобланди:

$$x^{k+1} = x^k + \gamma \delta x^k; \quad (12)$$

бу ерда  $x^{k+1}$  – ўзгарувчининг янги қиймати;  $\delta x^k$  –  $k$  ўзгарувчига киритилган тузатиш  $k$ ,  $\gamma$  – тузатиш коэффициенти.

Шуни таъкидлаш жоизки, ёқилғи, ҳаво, қиздирилган буғ сарфи ва унинг босими каби асосий бошқарилувчи параметрлар кенг диапазонда ўзгариши ночизикли ҳисобланади. Бундай ҳолда, типик бошқарув қонунларидан фойдаланиш зарурий натижани бермайди, чунки жараённинг инерцияси сабабли бошқариш тизимининг тезлиги пасаяди, бу эса энергия харажатларининг ошишига олиб келади. Бундан ташқари, иссиқлик юкламасидаги ўзгаришларининг ноаниқлиги ва эҳтимоллик хусусиятлари ва бошқариш сифатига сезиларли таъсир кўрсатади. Шу муносабат билан буғ генераторининг иш режимларини бошқариш алгоритмларини ишлаб чиқиш учун интеллектуал технология усулларидан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир.

Диссертация ишининг «**Буғ генератори иссиқлик юкламасини норавшан адаптив-инвариант бошқариш тизимини синтезлаш**» деб номланган тўртинчи бобида буғ генератори иссиқлик юкламасини адаптив-инвариант бошқариш тизимини синтезлаш, буғ генераторини норавшан бошқариш тизимининг структуравий схемаси ҳамда бошқариш тизимини имитацион моделлаштириш натижалари келтирилган.

Ўчоқдаги ёниш жараёнига таъсир этувчи ғалаёнларнинг математик ифодаси қуйидаги узатиш функцияси (13) кўринишида ифодаланди:

$$W_c(p) = \frac{k_c}{T_c p + 1} = \frac{5}{30p + 1}; \quad (13)$$

бу ерда  $k_2$  – ғалаённинг кучайтириш коэффициенти;  $T_2$  – ғалаённинг ўзгармас вақт доимийси. Бажарувчи механизм ҳолатининг ўзгаришини газ сарфига боғлиқлиги иккинчи тартибли инерцион звено шаклида ифодаланди:

$$W_{ul}(p) = \frac{k_{ul}}{(T_{ul}p + 1)(\sigma_{ul}p + 1)} = \frac{1}{(10p + 1)(1,2p + 1)}; \quad (14)$$

бу ерда  $k_{ul}$  – узатиш коэффициенти;  $T_{ul}$  – катта ўзгармас вақт доимийси;  $\sigma_{ul}$  – кичик ўзгармас вақт доимийси.

Бошқариш тизими ички контурининг узатиш функциясини шундай танланлаш керакки, у ташқи таъсирлар бўйича қуйидаги сифат мезонини бажариши зарур:

$$W_{y,x_{\text{бep1}}}(p) = W_{\text{бep1}}^{\text{opt}}(p) = \frac{W_{p1}(p)W_{ul}(p)}{1 + W_{p1}(p)W_{ul}(p)}; \quad (15)$$

бу ерда  $W_{\text{бep1}}^{\text{opt}}(p)$  – берилган таъсир бўйича ички контурнинг оптимал узатиш функцияси. (15) муносабат орқали стабилловчи қурилманинг оптимал узатиш функцияси  $W_{p1}(p)$  қуйидагича аниқланди:

$$W_{p1}(p) = \frac{1}{W_{ul}(p)} \cdot \frac{W_{\text{бep1}}^{\text{opt}}(p)}{1 - W_{\text{бep1}}^{\text{opt}}(p)}. \quad (16)$$

Бошқариш тизимининг илгариланмалик қисмининг узатиш функцияси иккинчи тартибли бўлганлиги сабабли берилган таъсир бўйича каналнинг узатиш функцияси  $W_{\text{бep1}}^{\text{opt}}(p)$  қуйидаги муносабат орқали аниқланди:

$$W_{\text{бep1}}^{\text{opt}}(p) = \frac{1}{(T_{\text{бep1}}p + 1)^2}; \quad (17)$$

бу ерда  $T_{\text{бep1}}$  – берилган вақт доимийси. (17) муносабат асосида стабилловчи қурилманинг узатиш функцияси қуйидаги ифода орқали аниқланади:

$$W_{p1}(p) = \frac{(T_{ul}p + 1)(\sigma_{ul}p + 1)}{2k_{ul}T_{\text{бep1}}p \left( \frac{T_{\text{бep1}}}{2}p + 1 \right)}. \quad (18)$$

Эквивалент объектнинг қуйидаги кўринишдаги узатиш функциясини аниқлаш орқали корректловчи қурилманинг структураси ва динамик созланувчи параметрлари танланди:

$$W_{\text{эkv}}(p) = W_{\text{об}}(p)W_{\text{бep1}}^{\text{opt}}(p) = \frac{1}{T_{\text{бep1}}p(\tau_1p + 1)(T_{\text{бep1}}p + 1)^2}. \quad (19)$$

Объектининг эквивалент узатиш функциясининг (19) тартиби тўртга тенг бўлганлиги сабабли унинг оптимал узатиш функцияси  $W_{\text{бep2}}^{\text{opt}}(p)$  қуйидагича ифодаланди:

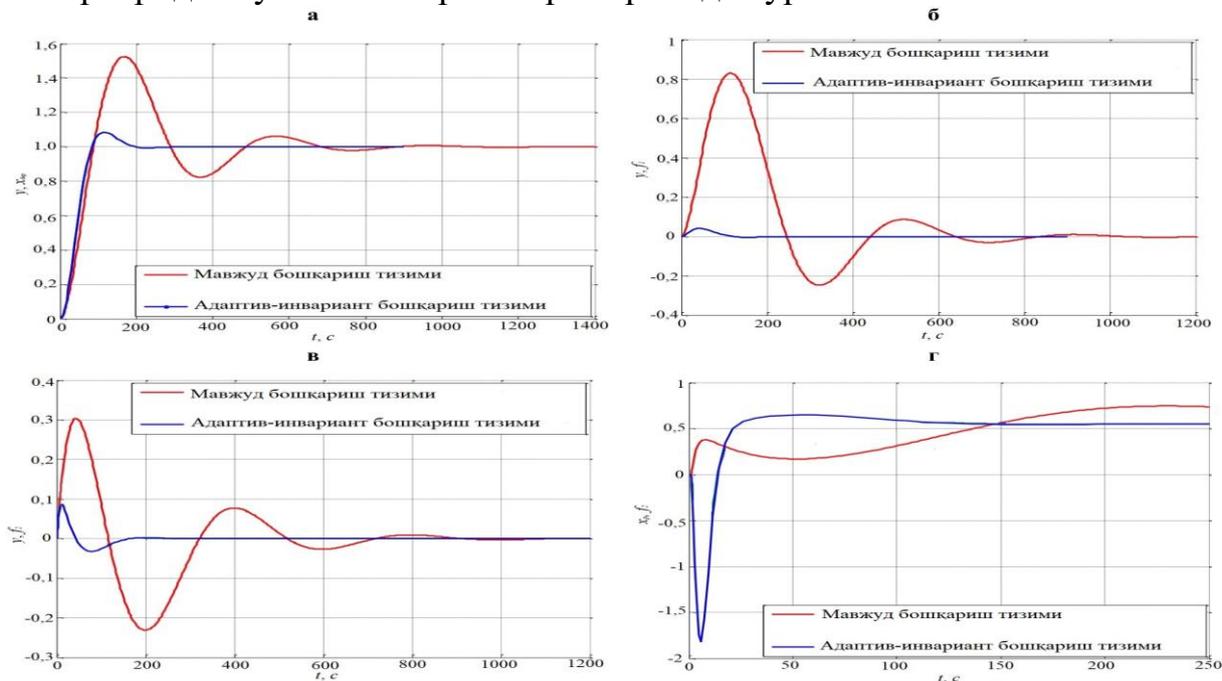
$$W_{\text{бep2}}^{\text{opt}}(p) = \frac{1}{(T_{\text{бep2}}p + 1)^4}, \quad (20)$$

бу ерда  $T_{\text{бep2}}$  нинг қийматини топиш учун олтин кесма қонунидан фойдаланилди:  $T_{\text{бep2}} = 0,145\tau_1 = 3,07$  секунд;  $T_{\text{бep2}} = 0,246\tau_1 = 4,97$  секунд.

(20) узатиш функциясини ҳисобга олган ҳолда ғалаён сигнали  $f_2$  бўйича компенсацияловчи қурилманинг узатиш функциясини аниқланди:

$$W_{\kappa\kappa}^{f_2}(p) = \frac{(1 - W_{\delta ep 2}^{opt}(p))}{W_{\delta ep 2}^{opt}(p)} = [W_{\delta ep 2}^{\delta m}(p)]^{-1} = \frac{4T_{\delta ep 2}p \left( \frac{T_{\delta ep 2}^3 p^3}{4} + T_{\delta ep 2}^2 p^2 + 1,5T_{\delta ep 2}p + 1 \right)}{(T_{\delta ep 2}p + 1)^4}. \quad (21)$$

Таклиф этилган адаптив-инвариант бошқариш тизимининг ғалаён таъсирларидаги ўткинчи жараёнлари 3-расмда кўрсатилган.



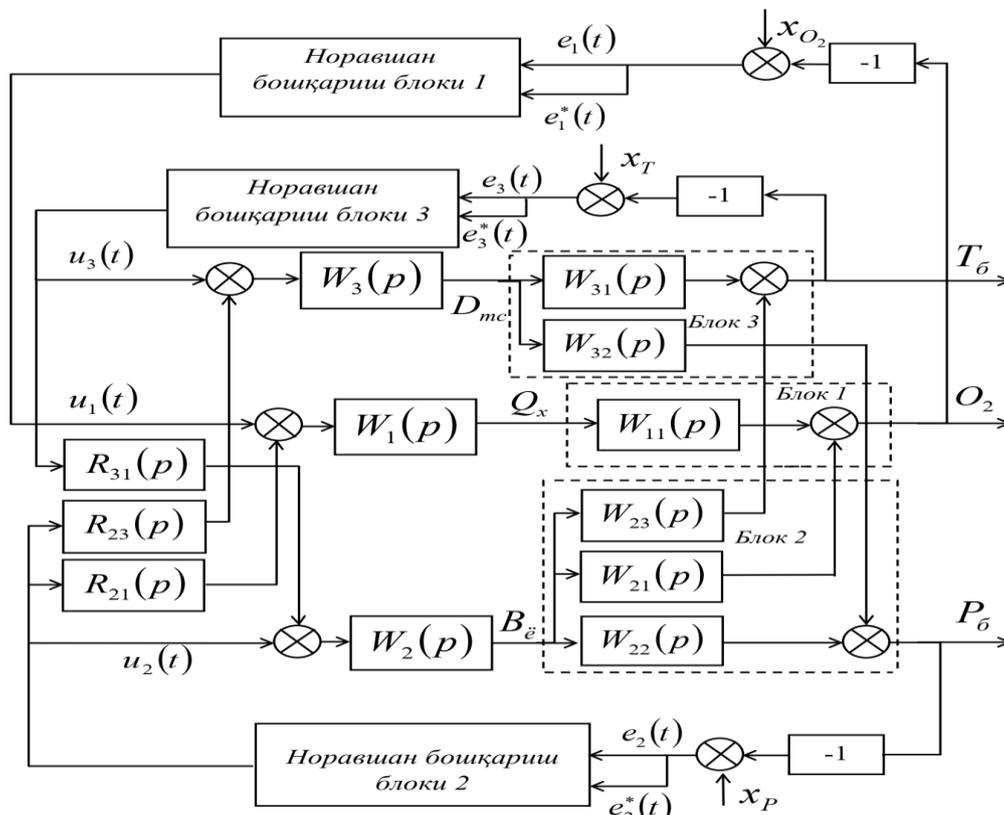
**3-расм. Адаптив-инвариант бошқариш тизимининг ғалаён таъсирларидаги ўткинчи жараёнлари**

бу ерда а –  $x_{\delta ep}$  нинг сакрашсимон сигнали кўринишидаги таъсирга реакцияси; б – ички ғалаёнлар учун  $f_1$ ; в – ташқи ёниш ғалаёнлар учун  $f_2$ ; г – иссиқлик юкламасининг ташқи ғалаёнларини ростловчи  $x_p(t)$  таъсирининг ўзгариш графиги.

Ўткинчи жараён графиклари таҳлили шуни кўрсатадики, ғалаён таъсирларида адаптив-инвариант бошқариш тизими мавжуд бошқариш тизими билан солиштирилганда ростлаш вақти 30% га камайди. Топширик сигнали сакрашсимон ўзгарганда ўта ростлаш қиймати 70% га камайди, максимал динамик ростлаш хатолиги: ички ғалаёнларда – 16,5 бараварга ҳамда ташқи ёниш ғалаёнларида – 3 бараварга камайди. Бунда астатик звено яъни интегралловчи звено қўшилиши ҳисобига хатолик 0 га тенг бўлди. Иссиқлик юкламасини ростлаш вақти 33% га камайди, максимал динамик ростлаш хатолиги эса 65% га камайди. Ўткинчи жараён графикларидан кўришиб турибдики, таклиф этилган адаптив-инвариант бошқарув тизими мавжуд бошқариш тизимига қараганда сифат кўрсаткичининг юқорилигини кўрсатди.

Буғ генераторидаги иссиқлик юкламасини ўзгариши тасодифийлик, ночизиклилик ва ноаниқлик характерга бўганлиги ҳамда бошқарилувчи ўзгарувчиларни кенг диапазонда (мақбул режимларда) бошқариш ва мавжуд бошқарув тизимлари ёрдамида бошқариш даврининг мураккаб ўзаро

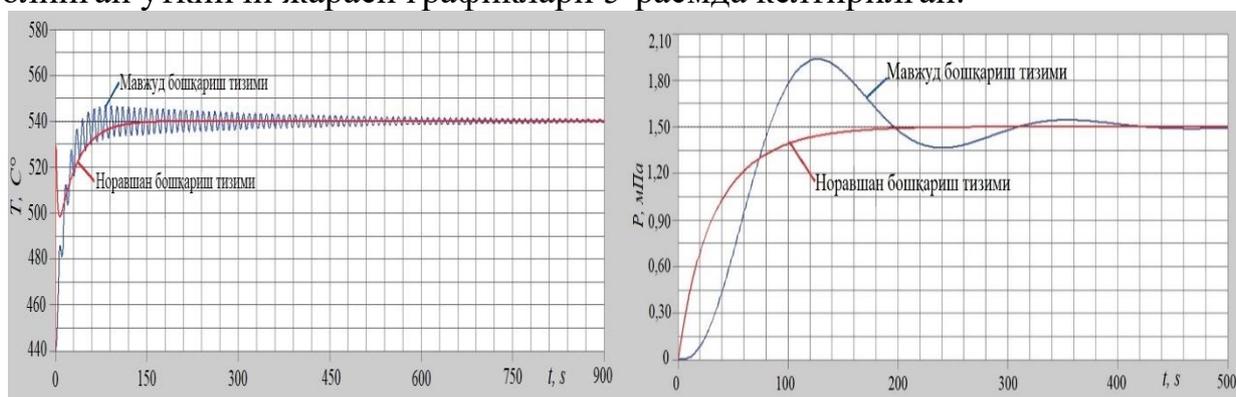
таъсирини компенсациялашнинг иложи йўқлиги сабабли энергия сарфини камайтирадиган кўп ўлчамли норавшан-мантиқий бошқариш тизимларидан фойдаланиш таклиф этилди. Юқоридаги таҳлиллар асосида, буғ генераторини норавшан бошқариш тизимининг структуравий схемаси ишлаб чиқилди (4-расм).



**4-расм. Буғ генераторини норавшан бошқариш тизимининг структуравий схемаси**

Схемадан кўриниб турибдики, буғ генераторини норавшан бошқариш тизими ёқилғи ва ҳаво сарфини бошқариш хатолигини камайтиришга ва бошқариш тезлигини ошириш ҳисобига энергия сарфини камайтириш имконини беради.

Мавжуд бошқариш тизими ва синтезланган норавшан бошқариш тизимида қиёсий таҳлиллаш учун имитацион тажриба ўтказиш натижасида олинган ўткинчи жараён графиклари 5-расмда келтирилган.



**5-расм. Буғ генератори иссиқлик юклагасининг ўткинчи жараён графикларини қиёсий таҳлили**

Ўтиш жараёни графикларидан кўриниб турибдики, ташқи таъсир мавжуд бўлганда норавшан бошқариш тизими барқарор ишлайди ва бошқариш объектини бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга етарлича тезликда ўтказди. Бунда ўта ростлаш қийматини 25% га камайтириш, бошқариш аниқлигини  $\pm 0,23$  дан  $\pm 0,09$  гача камайтириш имконини берди. Иссиқлик электр станциялари буғ генераторини иссиқлик юкламасини бошқаришда норавшан бошқариш тизимларидан фойдаланиш ёқилғиларни тўлиқ ёнишини таъминлайди. Натижада ёқилғи сарфини 95% дан 62% гача камайтиришга эришилади.

## ХУЛОСА

Диссертацияда тизимли таҳлил, автоматик, адаптив ва инвариант бошқариш назарияси усуллари асосида иссиқлик энергетика объектлари иссиқлик юкламасини адаптив-инвариант бошқариш тизимларини синтезлаш алгоритмлари ишлаб чиқилди. Тадқиқот нихоясида кўйидаги илмий натижалар олинди:

1. Қозон агрегатларида буғ ҳосил бўлиш жараёнининг технологик ва физик хусусиятларини тизимли таҳлил қилиш, жараёнга таъсир этувчи омилларнинг ўзаро боғлиқлигини ифодалаш асосида агрегатда содир бўладиган иссиқлик масса алмашинуви жараёнининг ахборот модели ишлаб чиқилди.

2. Буғ генераторларида турли хил ёқилғиларни биргаликда ёқиш жараёнида маълумотларнинг ноаниқлиги, объект динамикасининг ўзгарувчанлиги ҳамда технологик чекловларни ҳисобга олган ҳолда иссиқлик юкламасини бошқариш жараёнининг динамик модели ишлаб чиқилди.

3. Иссиқлик юкламасининг тасодифий ўзгариши ва дастлабки маълумотларнинг қисман ноаниқлигини ёқилғи сарфини ўзгартириш ҳисобига компенсациялаш асосида бошқариш жараёнини стабиллаш имконини берувчи адаптив созлаш алгоритмлари ишлаб чиқилди.

4. Иссиқлик юкламаси ўзгаришининг тасодифийлиги ва дастлабки маълумотларнинг қисман ноаниқлиги шароитида ёқилғи сарфининг ўзгаришини ҳисобга олган ҳолда, буғ генератори технологик параметрларини норавшан бошқариш тизимини синтезлаш алгоритмлари ишлаб чиқилди.

5. Бошқариш объекти параметрлари ва ташқи ғалаёнларнинг кенг диапазонда ўзгариши шароитида юқори сифатли бошқаришни таъминлаш имконини берувчи норавшан бошқариш тизимини имитацион моделлаштириш дастурий мажмуаси ишлаб чиқилди.

6. Объектнинг динамик хоссалари ва маълумотларнинг априор ноаниқлиги шароитида буғ генератори иссиқлик юкламасининг норавшан бошқариш тизимини адаптациялаш алгоритми ишлаб чиқилди. Норавшан бошқариш тизимини адаптациялаш ёқилғининг тўлиқ ёнишини таъминлаш ҳисобига ёқилғи сарфини 95% дан 62% гача камайтириш имконини беради.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/26.05.2022.Т.10.05 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ НАЦИОНАЛЬНОМ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ «ТАШКЕНТСКИЙ  
ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И МЕХАНИЗАЦИИ  
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА»**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

**УМУРЗАКОВА ДИЛНОЗАХАН МАХАМАДЖАНОВНА**

**СИНТЕЗ АДАПТИВНО-ИНВАРИАНТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
ТЕПЛОЙ НАГРУЗКОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

05.01.02 – Системный анализ, управление и обработка информации

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

**Ташкент – 2023**

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2022.4.PhD/T1113.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице научного совета ([www.tiiame.uz](http://www.tiiame.uz)) и в Информационно-образовательном портале «Ziyonet» ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Научный руководитель:** Сиддиков Исомидин Хакимович  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** Сулюкова Лариса Фаритовна  
доктор технических наук, старший научный сотрудник

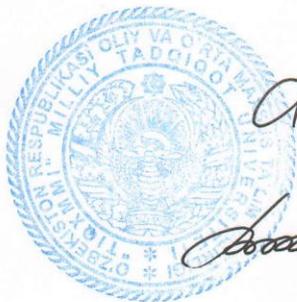
Назаров Файзулло Махмадиярович  
PhD по техническим наукам, доцент

**Ведущая организация:** Ферганский политехнический институт

Защита диссертации состоится «08» Февраля 2023 года в 14<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета DSc.03/26.05.2022.T.10.05 при Национальном исследовательском университете «Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства» (Адрес: 100000, г. Ташкент, ул. Кари Ниязи, 39. Тел: (99871) 237-19-36; факс: (99871) 237-54-79; e-mail: [admin@tiiame.uz](mailto:admin@tiiame.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрировано №254). (Адрес: 100000, г. Ташкент, ул. Кари Ниязи, 39. Тел.: (99871) 237-19-45).

Автореферат диссертации разослан «26» января 2023 года.  
(реестр протокола рассылки №3 от «23» января 2023 года)



**Н.С. Маматов**  
Председатель Научного совета  
по присуждению учёных степеней,  
д.т.н., профессор

**Д.К. Бекмуратов**  
Ученый секретарь научного совета  
по присуждению учёных степеней,  
доктор философии по техническим наукам (PhD)

**М.А. Исмаилов**  
Председатель научного семинара  
при научном совете по присуждению учёных степеней,  
д.т.н., профессор

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире в настоящее время при выработке электроэнергии на тепловых электростанциях особое внимание уделяется уменьшению энергоресурсов в процессе производства тепловой и электрической энергии. В существующих ТЭС потери энергии происходят из-за неравномерного изменения тепловой нагрузки, неравномерности подачи топлива и воздуха в камеру сгорания котла, неопределенности динамических свойств объекта и наличие различных видов возмущений, имеющие частично вероятностный и случайный характер, а также низкого качества регулирования соотношения воздуха и топлива. В связи с этим важно совершенствовать систему управления технологических агрегатов теплоэнергетических объектов, функционирующих в условиях неопределенности исходной информации с применением современных достижений информационной технологии.

В мире ведутся научные исследования по разработке новых и совершенствованию существующих систем управления теплоэнергетическими объектами, обеспечивающие высокую точность управления при наличии различных видов неопределенностей. По этой причине наиболее важным является решения проблемы разработки адаптивно-инвариантной системы управления тепловой нагрузкой работающей, в условиях неопределенности и случайности изменения внешних и внутренних воздействий. В связи с этим в настоящее время возникает острая необходимость вопросам создания высокоэффективных систем управления теплоэнергетическими объектами, разработке моделей и алгоритмов синтеза адаптивно-инвариантной системы управления по отношению к различным возмущениям.

В Республике большое внимание уделяется в рамках, принятых комплекса мер, по развитию интеллектуализации процесса управления электроэнергетических объектов, в частности развития теории и методов управления режимов работы парогенератора в условиях неопределенности с учетом различных видов режимных и технологических ограничений с применением энергосберегающих технологий является актуальной задачей. В Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 гг., в том числе: «Бесперебойное обеспечение экономики электроэнергией, активное внедрение технологий «зеленой экономики» во все сферы, увеличение энергоэффективности экономики на 20 процентов...»<sup>1</sup>. В этом аспекте одним из важных задач являются повышение энергоэффективности энергетических объектов, за счёт использования методов интеллектуального управления, с применением современных вычислительных средств.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан № УП-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития нового Узбекистана», от 01 февраля 2019 года № УП-5646 «О мерах по коренному

---

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан «О стратегии развития нового Узбекистана на 2022 - 2026 годы» УП-60 от 28 января 2022 года.

совершенствованию системы управления топливно-энергетической отраслью Республики Узбекистан», Постановлениями №ПП-3682 от 27 апреля 2018 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов» и №ПП-4249 от 27 марта 2019 года «О стратегии дальнейшего развития и реформирования электроэнергетической отрасли Республики Узбекистан», а также другими нормативно-правовыми актами, принятыми в данной сфере.

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

**Степень изученности проблемы.** Анализ научно-технических публикаций, связанных с разработкой методов и алгоритмов синтеза адаптивно-инвариантной системы управления тепловой нагрузки в условиях неопределенности, свидетельствует о достижении значительных теоретических и практических результатов в этой области. В связи с этим в ведущих мировых исследовательских центрах, в том числе Toqai Infra Logic, Micro Devices, Honeywell (США), международной лаборатории LIFE, Hitachi, Mitsubishi Electric, Siemens (Германия), Wecan Agrotexservis (Южная Корея), и в высших учебных заведениях: BISC (США), Зигенский университет (Германия), Ташкентский государственный технический университет, ООО «Узэнергоцентр» ведутся обширные научные исследования.

Вопросам исследования теоретических и практических задач по интеллектуализации процессов управления динамическими объектами и созданию высокоэффективных систем управления с учетом различных факторов сложности и неопределенности, посвящены работы ряда зарубежных ученых таких как Р.А.Алиев, А.Пиегат, М.Сугено, Л.А.Заде, С.Н.Васильев, Н.Н.Востриков, К.А.Пупков, Е.В.Цветков, Г.Б.Левенталь, Г.П.Плетнев, Э.К.Аракелян, В.Я.Ротач и ученых Республики М.М.Арипов, Т.Ф.Бекмуратов, Х.З.Игамбердиев, Н.Р.Юсупбеков, Ш.М.Гулямов, М.М.Камилов, А.Р.Марахимов, Д.Т.Мухаммадиева, И.Х.Сиддииков, М.А.Исмаилов и многих других.

Вместе с тем, постоянное усложнение и расширение круга научных исследований требует разработки методов и алгоритмов оптимального управления режимами работ технологических агрегатов теплоэнергетических объектов, с учетом вероятностного характера и частичной неопределенности информации. В связи с вышеизложенным, возникает необходимость дальнейшего совершенствования и создания высокоэффективных моделей и алгоритмов синтеза системы управления технологических агрегатов с применением методов интеллектуальных технологий, позволяющая учесть вероятности изменения внешних воздействий и режимов работы агрегатов теплоэнергетических объектов.

**Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.**

Диссертационное исследование выполнено в рамках следующих научно-исследовательских проектов Ташкентского государственного технического университета по темам: А-5-42-«Программно-инструментальные средства интеллектуализации автоматизированного мониторинга и управления технологическими объектами в условиях априорной неопределенности» (2015-2017), АКТ-А-2021-3-«Разработка пробного варианта стенда и программного обеспечения исследования выходных параметров энерго-системы на базе возобновляемого источника энергии» (2021-2024).

**Целью исследования** является разработка моделей и алгоритмов синтеза адаптивно-инвариантной системы управления тепловой нагрузки теплоэнергетических объектов.

**Задачи исследования:**

системный анализ современного состояния проблемы управления тепловой нагрузкой парогенератора;

разработка математической модели динамики функционирования парогенератора при совместном сжигании различных видов топлива;

разработка аналитической модели процесса управления тепловой нагрузки с учетом нелинейности и неопределенности исходной информации;

разработка алгоритмов адаптации параметров нечеткой системы управления при широком диапазоне изменения тепловой нагрузки;

разработка адаптивно-инвариантной системы управления технологическими параметрами парогенератора в зависимости от изменчивости тепловой нагрузки и внешних воздействий.

**Объектом исследования** является системы управления тепловой нагрузки теплоэнергетических объектов.

**Предметом исследования** являются методы, модели и алгоритмы решения задачи управления теплоэнергетических объектов в условиях частичной неопределенности исходной информации с учетом технологических ограничений.

**Методы исследований.** При выполнении диссертационной работы использованы методы системного анализа, теории имитационного моделирования, методы интеллектуального управления, нечеткого и адаптивного управления.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработана динамическая модель процесса управления тепловой нагрузкой с учетом неопределенности данных, изменчивость динамики объекта и технологических ограничений при совместном сжигании различных видов топлива;

разработаны алгоритмы адаптивной настройки системы управления, позволяющие компенсировать случайные изменения тепловой нагрузки и частичной неопределенности исходных данных и стабилизировать процесс управления за счет изменения расхода и соотношения топлив;

разработаны алгоритмы синтеза нечеткой системы управления технологическими параметрами парогенератора с учетом технологических ограничений процесса управления и неопределенности исходных данных;

разработана нечеткая система управления, обеспечивающая высококачественного управления тепловой нагрузкой при широком диапазоне изменения параметров объекта управления и внешних возмущений.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработаны алгоритмическое обеспечение и программный комплекс синтеза адаптивно-инвариантной системы управления технологическими параметрами динамических объектов в условиях неопределенности внешней среды и характеристик объекта, позволяющее снизить энергозатраты за счет поддержания оптимальных режимов работы парогенератора;

разработана усовершенствованная структурно-функциональные схемы автоматизации и адаптивно-инвариантной системы управления тепловой нагрузки парогенератора, с соответствующим техническим обеспечением, позволяющие стабилизировать технологические режимы протекания процесса и повысить эффективность их функционирования.

**Достоверность результатов исследования** обеспечивается выполнением методически обоснованных теоретических выкладок; применением теоретически обоснованных концепций адаптивно-инвариантного управления сложными динамическими объектами; использованием апробированных методов и алгоритмов современной теории управления; требуемой степенью сходимости предлагаемых методов и алгоритмов адаптивно-инвариантного управления; полученными результатами теоретических и прикладных исследований и их взаимной согласованностью.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов исследования заключается в разработке моделей и алгоритмов синтеза адаптивно-инвариантной систем управления тепловой нагрузки парогенераторов, функционирующих в условиях вероятностного характера и частичной неопределенности исходной информации с учетом режимных и технологических ограничений.

Практическая значимость заключается в разработке программного и алгоритмического обеспечения синтеза адаптивно-инвариантной системы управления технологическими параметрами динамических объектов в условиях неопределенности внешней среды и свойств объекта, позволяющие снизить энергозатраты за счет поддержания оптимальных режимов работы парогенератора.

**Внедрение результатов исследования.** На основе полученных результатов синтеза адаптивно-инвариантной системы управления тепловой нагрузки парогенератора теплоэнергетических объектов:

разработанные динамические модели процесса управления тепловой нагрузкой с учетом неопределенности данных, изменчивость динамики объекта и технологических ограничений при совместном сжигании различных видов топлива, внедрены на «Исиклик манбаи» Ферганского областного производственного управления (Справка Министерства энергетики №13-8639 от 30 марта 2022 г.). В результате разработанные алгоритмы позволят

выбирать оптимальное функционирование режима объекта управления в соответствии с изменением тепловой нагрузки;

разработанные алгоритмы адаптации параметров нечеткой системы управления с учетом технологических ограничений процесса управления к случайным изменениям тепловой нагрузки и изменения расхода топлива внедрены на «Иссиклик манбаи» Ферганское областное производственное управление (Справка Министерства энергетики №13-8639 от 30 марта 2022 г.). В результате разработанные алгоритмы позволят стабилизировать температурный режим и динамическое изменение тепловой нагрузки парогенератора при совместном сжигании различных видов топлива;

программный комплекс синтеза нечеткой системы управления тепловой нагрузкой, позволяющий обеспечить качественное управление в условиях широкого диапазона изменения параметров объекта управления тепловой нагрузкой и внешних возмущений внедрен на «Иссиклик манбаи» Ферганское областное производственное управление (Справка Министерства энергетики №13-8639 от 30 марта 2022 г.). В результате было рассчитано снижение среднеквадратичного отклонения температуры пара на 1-2°C относительно технологического регламента, что позволило снизить расход топлива с 95% до 62%.

**Апробация результатов исследования.** Всего результаты данного исследования были обсуждены на 4 международных и 3 республиканских научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** Основные результаты исследования опубликованы в 23 научных работ. Из них 13 в журнальных изданиях, в том числе 3 рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, 10 в зарубежном журнале, а также получены 3 свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений.

Объем диссертации составляет 120 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обоснованы актуальность и востребованность темы диссертационного исследования, сформулированы цели и задачи исследования, определены объект и предмет исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, приведены сведения о внедрении в практику результатов исследования, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Современное состояние проблемы управления тепловой нагрузки парогенераторов в теплоэнергетических**

**станциях»** приведены результаты анализа взаимодействия технологических параметров парогенератора и системного анализа современное состояние температурного режима парогенератора, с целью определения основных факторов, влияющих на эффективность процесса управления технологическими параметрами парогенератора.

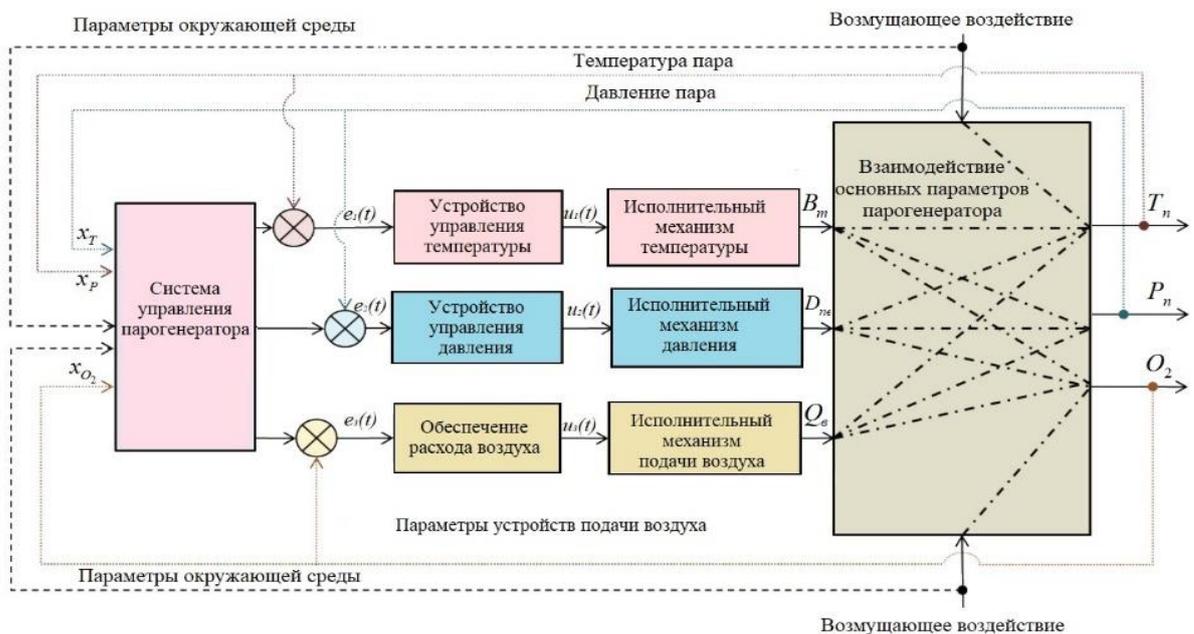
В настоящее время в нашей Республике, основная часть электроэнергии (около 85%) вырабатывается с использованием природных ископаемых топлив-природного газа, угля, мазута. На сегодняшний день эффективность энергоблоков составляет 30-40%. В связи с изменением топливно-энергетического баланса электростанций проблема организации экономичного сжигания становится одной из актуальных задач энергетики.

Изменение теплофизических характеристик совместно сжигаемых топлив затрудняет стабилизацию режимных параметров парогенератора, которая приводит к ухудшению экономичности и надежности технологических агрегатов парогенератора и обуславливает создание высокоэффективной системы управления тепловой нагрузки парогенератора. Значение системы управления тепловой нагрузки при совместном сжигании определяется переменным характером поступления различных видов топлива и во многом зависит от стабилизации основных параметров парогенератора.

Основными регулируемыми параметрами парогенератора является расход пара  $D_m$ , его давление  $p_m$  и температура  $t_m$ . Тепловая нагрузка является переменной величиной в зависимости от расхода пара, а его давление и температура поддерживаются в пределах допустимых отклонений, что обуславливается требованиями заданного режима работы. Перечисленные величины изменяются в результате регулирующих воздействий и под действием внешних и внутренних возмущений, носящих детерминированный или случайный характер, что, в свою очередь, усложняет решение задачи синтеза системы управления с высокой эффективностью.

С учетом существующих систем управления, а также особенностей физических процессов, парогенератор как объект управления представляет собой сложную динамическую систему с несколькими взаимосвязанными входными и выходными величинами, в связи с этим была разработана функциональная схема обобщенной системы управления тепловой нагрузкой парогенератора (рис. 1).

Тепловая нагрузка парогенератора состоит из взаимосвязанных переменных ( $B_m, D_m, Q_g$ ). Поскольку входные параметры взаимосвязаны друг с другом, необходимо учитывать текущие и будущие изменения  $x_T, x_P, x_{O_2}$ , а также управляющие воздействия  $u_1(t), u_2(t), u_3(t)$  со стороны устройства.



**Рис. 1. Функциональная схема обобщенной системы управления тепловой нагрузкой парогенератора**

Где  $x_T$ ,  $x_P$ ,  $x_{O_2}$  – входные переменные;  $u_1(t)$ ,  $u_2(t)$ ,  $u_3(t)$  – управляющие воздействие;  $e_1(t)$ ,  $e_2(t)$ ,  $e_3(t)$  – сигналы ошибки;  $B_m$ ,  $D_{пв}$ ,  $Q_в$  – расход топлива, питательной воды и воздуха соответственно;  $T_n$ ,  $P_n$ ,  $O_2$  – выходные переменные: температура пара, давление и содержание кислорода.

На основе проведенных анализов были сформулированы основные требования к разработке адаптивно-инвариантных систем управления тепловой нагрузкой парогенератора в процессе совместного сжигания различных видов топлива:

поддерживать стабильным паропроизводительность парогенератора с учетом расхода топлива и случайного изменения его физических свойств;

необходимость соответствующим образом подстройки параметров динамической настройки устройства управления при переходе с одного топлива на другой, изменении соотношения совместно сжигаемых топлив в рабочем диапазоне изменений нагрузки;

одновременно воздействовать на расходы всех топлив при изменении и их соотношения;

компенсация колебаний расходов топлив с максимальным быстродействием и точностью.

Вышеперечисленные факторы и выполнения вышеприведенных требования, а также тенденция развития системы управления теплоэнергетическими объектами обуславливает целесообразность совместного применения современных методов теории интеллектуального управления, с методом автоматического управления при создании высокоэффективных системы управления парогенератора. В связи с этим разработка адаптивно-инвариантной системы управления тепловой нагрузки парогенератора отличающейся высокой точностью и быстродействием

является актуальной проблемой, которой посвящена данная диссертационная работа.

Вторая глава диссертации «**Парогенератор как объекта управления при совместном сжигании топлив**» посвящена анализу теплофизических особенностей процессов в объекте управления, разработке динамической математической модели процесса совместного сжигания различных видов топлив, статические и динамические характеристики парогенератора по тепловой нагрузке и температуре пара.

Для разработки системы управления технологическим процессом в парогенераторе важным этапом является описание динамики парогенератора. Математическая модель парогенератора с помощью уравнений гидродинамики (1) и термодинамики (2):

$$\begin{cases} V \frac{dx_A}{dt} = v^0 x_A - vx_A - VKx_A x_B \\ V \frac{dx_B}{dt} = v^0 x_B - vx_B - VKx_A x_B \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} C_2 m_2 T_2 + C_{\epsilon_3} m_{\epsilon_3} T_{\epsilon_3} + q_m V_m - C_6 m_6 (T_n^0 - T_6) - \lambda m_n - C_n m_n (T_n - T_n^0) - Q_{II} = 0 \\ Q_{II} - C_6 m_6 (T_6 - T_6^0) - C_{\epsilon_3} m_{\epsilon_3} (T_{\epsilon_3} - T_{\epsilon_3}^0) - C_p^{\partial z} m_{\partial z} T_{\partial z} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

где  $V$  – объем парогенератора;  $v^0 = v_A^0 + v_B^0$  – средняя скорость смеси топлива с кислородом;  $x_A$  – концентрация кислорода в топливе;  $x_B$  – расход воздуха;  $K$  – коэффициент скорости реакции;  $C$  – удельная теплоемкость вещества;  $m$  – масса вещества;  $q_m$  – удельная теплота сгорания топлива;  $V_m$  – объем сгораемого топлива;  $\lambda$  – удельная теплота парообразования.

При отклонении на  $\Delta x$  от нормативного значения параметра  $x$  перерасход условного топлива при производстве теплоты (3) и электроэнергии (4) будет определяться как:

$$\Delta b_m \approx -b_m \left( \sum_{i=1}^5 \frac{1}{n_i} \frac{dn_i}{dx} + \frac{1}{\epsilon_S} \frac{d\epsilon_S}{dx} + \frac{1}{\epsilon_N} \frac{d\epsilon_N}{dx} \right); \quad (3)$$

$$\Delta b_N \approx -b_N \left( \sum_{i=1}^5 \frac{1}{n_i} \frac{dn_i}{dx} + \frac{1}{\epsilon_S} \frac{d\epsilon_S}{dx} + \frac{1}{\epsilon_N} \frac{d\epsilon_N}{dx} \right) \Delta x; \quad (4)$$

где  $\frac{dn_i}{dx}$ ,  $\frac{d\epsilon_S}{dx}$ ,  $\frac{d\epsilon_N}{dx}$  – частные производные каждого влияющего фактора;  $i = 1 \dots 5$  – функциональные элементы парогенератора;  $\epsilon_S$ ,  $\epsilon_N$  – коэффициенты структуры технологических связей и турбогенераторных потерь ( $\epsilon_N > 1$ ).

Используя уравнений материального и теплового баланса определено аналитическое выражение парогенератора Р-100-130/15. На основании дифференциальных уравнений материального (5) и теплового (6) балансов пароводяного тракта, а также уравнений расхода рабочей среды (7), теплопередачи (8) и топливовоздушного (9) тракта, динамика процесса выражается в следующем соотношении:

$$T_1 \frac{d\varphi_{\partial n}}{dt} + T_2 \frac{d\varphi_{mn}}{dt} + T_5 \frac{d\varphi_{yen}}{dt} + B_1 \lambda_{pm-1} + B_2 \lambda_{pm} + B_3 \lambda_{enp} = 0; \quad (5)$$

$$T_3 \frac{d\varphi_{\partial n}}{dt} + T_4 \frac{d\varphi_{m m}}{dt} + A_1 \lambda_{p m-1} + A_2 \lambda_{p m} + A_3 \psi_{m n} + A_4 \varphi_{\partial n-1} + A_5 \varphi_{m m-1} + A_6 \varphi_{\partial n} +$$

$$+ A_7 \varphi_{y e n} + A_8 \lambda_{e n p} + A_9 \varphi_{e n p} = 0; \quad (6)$$

$$B_1 \lambda_{p m} + B_2 \varphi_{\partial n} + B_3 \varphi_{m n} + B_4 \varphi_{\partial n-1} + B_5 \varphi_{m m+1} + B_6 \mu_m = 0; \quad (7)$$

$$A_1 \lambda_{p m-1} + A_2 \lambda_{p m} + A_3 \psi_{m n} + A_4 \varphi_{m m m-1} + A_5 \varphi_{m m m} + A_6 \varphi_{\partial n-1} + A_7 \varphi_{m m-1} +$$

$$+ A_8 \varphi_{\partial n} + A_9 \varphi_{m n} + A_{10} \mu_m + A_{11} \Delta r + A_{12} \mu_e = 0; \quad (8)$$

$$B_1 \psi_{m n} + B_2 \varphi_{m m m-1} + B_3 \varphi_{m m m} + B_4 \mu_m + B_5 \Delta r + B_6 \mu_e = 0; \quad (9)$$

где  $T_{1-5}$ ,  $B_{1-6}$ ,  $A_{1-12}$  – постоянные коэффициенты, характеристики теплового, гидравлического, механических свойств парогенератора;  $\varphi_{\partial n}$ ,  $\varphi_{m n}$ ,  $\varphi_{y e n}$  – давление, температура пара, уровень воды в парогенераторе;  $\varphi_{m m m}$ ,  $\lambda_{p m}$ ,  $\psi_{m n}$  – температура подаваемого топлива, расход топлива, тепловой поток;  $\mu_m$ ,  $\mu_e$ ,  $\Delta r$ ,  $\lambda_{e n p}$  – внешние возмущения расходом топлива, воздуха, топлива и воздуха, расход воды на впрыске.

Разработанная математическая модель позволяет описывать особенности динамики парогенератора и с учетом его свойств служит для разработки высококачественной системы управления процессом горения. Взаимодействие количества переменных в выражении (5)-(9) приводит к усложнению системы управления. Поэтому в диссертации предлагается разделить их на более простые части и разработать систему управления тепловой нагрузкой парогенераторов на основе исследования их динамических характеристик. В этом случае последовательность процесса была разделена на несколько частей в зависимости от свойства объекта. В качестве таких элементов можно рассмотреть подачу топлива и воздуха, горелочное устройство осуществляющее смешивание этих компонентов, процесс сжигания топливно-воздушной смеси, топочный процесс - передача тепла поверхностям нагрева и питательной воде, испарительную часть, аккумулирующее тепло сжигаемых топлив. С этой целью будем исследовать динамики функционирования парогенератора при совместном сжигании различных топлив. Динамика расхода различных видов топлива с воздухом описывается в виде передаточной функции на основе аппроксимации данных, полученных в результате эксперимента:

$$W_1(p) = \frac{K_{R_1}}{1 + T_{B_1} p}; \quad W_2(p) = \frac{K_{R_2}}{1 + T_{B_2} p}; \quad W_3(p) = \frac{K_{R_3}}{K_{\alpha} \cdot V_m (1 + T_{B_3} p)};$$

где  $K_{R_1}$ ,  $K_{R_2}$ ,  $K_{R_3}$  – коэффициенты передачи топлива соответственно;  $T_{B_1}$ ,  $T_{B_2}$ ,  $T_{B_3}$  – постоянные времени;  $K_{\alpha}$  – удельное количество воздуха при  $\alpha = 1,0$ ;  $V_e$  – расход воздуха.

Исходя из этого, процесс смешивания топлива с воздушным потоком описывается передаточной функцией:

$$W(p) = a_i e^{-T_i p} \cdot \frac{1}{1 + T p} = \frac{a_i}{1 + T p} \cdot e^{-T_i p}, \quad (10)$$

где коэффициенты передачи равны для природного газа  $a_1 = \frac{C_{e_1} - C_e}{B_1 + B_2 + V_g}$ ;

доменного газа  $a_2 = \frac{C_{e_2} - C_e}{B_1 + B_2 + V_g}$ ; воздуха  $a_g = \frac{C_{e_g} - C_e}{B_1 + B_2 + V_g}$ , постоянные времени

равны; для переноса  $T_t = \frac{m}{B_1 + B_2 + V_g}$ ; перемешивания  $T = \frac{m}{B_1 + B_2 + V_g}$  т.е.  $T_t = T$ ;

$B_1, B_2$  – весовые расходы природного и доменного газов;  $m$  – количество вещества в сжигаемой смеси;  $C_e$  – концентрация.

Горение газозвоздушной смеси в объеме топки зависит от изменения расхода газов и коэффициента избытка воздуха. Тогда зависимость между тепловыделением  $Q$ , соотношением воздух-газ  $\alpha$  и температурой уходящих газов  $t$  описывается в виде следующей передаточной функции:

$$W_{Q_t}(p) = \frac{a_p - B_p K_Q}{K_S} \cdot \frac{1}{1 + T_1 p}; \quad W_{\alpha_t}(p) = -\frac{B_p K_\alpha}{K_S} \cdot \frac{1}{1 + T_1 p}.$$

Расход газа  $B_3$  на выходе определяется следующим образом:

$$W_{Q_{B_3}}(p) = K_Q; \quad W_{\alpha_{B_3}}(p) = K_Q;$$

где  $K_S$  – температурный коэффициент.

Анализ математической модели парогенератора при совместном сжигании газа показывает, что динамические параметры объекта управления зависят от соотношения совместно сжигаемых топлив, следует за изменением тепловыделения в топке с инерцией первого порядка с запаздыванием. Статистические и динамические характеристики парогенератора при совместном сжигании зависят от соотношения расходов топлив в сжигаемой смеси, что требует соответствующей корректировки параметров настройки системы управления.

В третьей главе диссертации «**Алгоритмы адаптивно-инвариантного управления тепловой нагрузки парогенератора**» приведены результаты исследования системы управления тепловой нагрузки при детерминированных и случайных возмущениях, алгоритмы адаптации закона управления и адаптивно-инвариантной системы управления параметрами парогенератора.

Известно, что при выполнении принципа полной инвариантности системы управления необходимо уменьшить воздействие возмущений не только на отклонение регулируемых величин, т.е. создать инвариантную систему. Для обеспечения полной инвариантности системы, система автоматического управления должна иметь канал передачи возмущений, основанный на принципе двухканальности. Существующая инвариантная система управления по отклонению тепловой нагрузки парогенератора от заданного при совместном сжигании топлива полностью отвечает вышеприведенным необходимым и достаточным условиям создания инвариантной системы, поэтому его можно дополнить компенсирующим устройством с передаточной функцией  $W_K(p)$ . Для этого изначально и были определены передаточные функции  $W_1(p)$ ,  $W_2(p)$  и  $W_3(p)$  канала передачи на

каждом топливе. Для этого изначально и были определены передаточные функции канала передачи по каждому виду топлива. Контролируемые возмущения - расходы природного газа и воздух поступают на входы каналов непосредственно. Расход управляющего воздействия природных газов изменяется в зависимости от колебаний расходов воздуха, сигналы которых подаются компенсирующим устройством с оператором  $W_K(p)$  на регулятор тепловой нагрузки  $W_P(p)$ . При соответствующем выборе параметров компенсирующего устройства на выходе можно получить значение изменения расхода пара.

На основе этого передаточная функция канала регулирования и канала возмущения имеет вид:

$$W_1(p) = W_{OP}(p) = \frac{K_{OP}}{1 + T_1 p} \cdot e^{-\tau_1 p}; \quad W_2(p) = W_{OB}(p) = \frac{K_{OB}}{1 + T_2 p} \cdot e^{-\tau_2 p};$$

$$W_3(p) = \frac{K_{OB}}{V_g(1 + T_3 p)} \cdot e^{-\tau_3 p}; \quad W_P(p) = K_P + \frac{K_P}{T_{II}} \cdot \frac{1}{p}.$$

Тогда передаточная функция компенсирующего устройства определяется следующим образом:

$$W_K(p) = \frac{K_{OB} p \cdot (T_1 p + 1)}{K_{OP} \left[ K_P + \frac{K_P}{T_{II}} T_2 \right] p + \frac{K_P}{T_{II}}} \cdot e^{-(\tau_2 - \tau_1) p}. \quad (11)$$

С учетом (11) введенного обозначения рассчитаем параметры компенсирующего устройства:

$$T = T_2 + T_{II} - T_1; \quad K = \frac{K_{OB}}{K_{OP}} \cdot \frac{1}{K_P} \cdot \frac{T_{II}}{(T_2 + T_{II} - T_1)}; \quad \tau = \tau_2 - \tau_1.$$

В этом случае параметры передаточной функции канала регулирования будут следующими:  $K_1 = K_{OP} = 0,9 \frac{MB}{нм^3/час}$ ;  $T_1 = 10$  секунд;  $\tau_1 = 5$  секунд; и

параметры передаточной функции канала возмущения:  $K_2 = K_{OB} = 0,02 \frac{MB}{нм^3/час}$ ;

$T_2 = 40$  секунд;  $\tau_2 = 25$  секунд, с учетом приведенной выше обозначения определяем параметры управления:

$$T = 36,2 \text{ секунд}; \quad K = 0,0035 \frac{MB}{нм^3/час}.$$

Построение системы управления при полностью или недостаточно определенных параметрах объекта является существенным препятствием на пути использования математических моделей алгоритмов управления. Это требует адаптации математических моделей управления или, в более широком смысле, систем управления так, чтобы при изменяющихся параметрах объекта точность и качество работы систем управления оставались приемлемыми (рис. 2).

Коррекция параметров модели производится с использованием процедуры стохастической аппроксимации. Изменение параметров рассчитывается следующим образом:

$$x^{k+1} = x^k + \gamma \delta x^k; \quad (12)$$

где  $x^{k+1}$  – значение переменной на шаге  $k+1$ ;  $\delta x^k$  – поправка на шаге  $k$ ;  $\gamma$  – поправочный коэффициент.



**Рис. 2. Функциональная схема механизма адаптации управления тепловой нагрузки**

Следует отметить, что основные регулируемые параметры таких как расход топлива, воздуха, перегретого пара и его давления является нелинейными с широким диапазоном изменения. В этом случае применение типовых законов управления не дает желаемый эффект, так как уменьшается быстродействие системы управления из-за инерционности процесса что приводит к увеличению энергозатрат. Кроме того, неопределённый и вероятностный характер изменения тепловой нагрузки существенно влияет на качество управления. В связи с этим для разработки алгоритмов управления режимами работы парогенератора предложено применения методов интеллектуальных технологий.

В четвертой главе «Синтез нечеткой адаптивно-инвариантной системы управления тепловой нагрузки парогенератора» приведены результаты применения разработанных алгоритмов для решения задачи синтеза адаптивно-инвариантной системы управление тепловой нагрузки парогенераторах, и структурная схема нечеткая система управления парогенератором а также результаты имитационного моделирования системы управления.

Математическое выражение возмущений влияющей на процесс горения в топке, можно описать в виде следующей передаточной функции:

$$W_g(p) = \frac{k_g}{T_g p + 1} = \frac{5}{30p + 1}; \quad (13)$$

где  $k_g$  – коэффициент усиления возмущения;  $T_g$  – постоянная времени топочного возмущения. Зависимость изменения состояния исполнительного

механизма от расхода газа записывается в виде инерционное звено второго порядка:

$$W_{on}(p) = \frac{k_{on}}{(T_{on}p + 1)(\sigma_{on}p + 1)} = \frac{1}{(10p + 1)(1,2p + 1)}; \quad (14)$$

где  $k_{on}$  – коэффициент передачи;  $T_{on}$  – большая постоянная времени;  $\sigma_{on}$  – меньшая постоянная времени.

Передаточная функция внутреннего контура выбирается так, чтобы она соответствовала критерию качества по задающему воздействию:

$$W_{y,x_{301}}(p) = W_{301}^{opt}(p) = \frac{W_{p1}(p)W_{on}(p)}{1 + W_{p1}(p)W_{on}(p)}; \quad (15)$$

где  $W_{301}^{opt}(p)$  – оптимальная передаточная функция внутреннего контура по задающему воздействию. Из условия (15) находим оптимальную передаточную функцию  $W_{p1}(p)$  стабилизирующего устройства

$$W_{p1}(p) = \frac{1}{W_{on}(p)} \cdot \frac{W_{301}^{opt}(p)}{1 - W_{301}^{opt}(p)}. \quad (16)$$

Выбор структуры и оптимальной динамической настройки стабилизирующего устройства осуществляется с использованием передаточной функции опережающего участка  $W_{301}^{opt}(p)$ :

$$W_{301}^{opt}(p) = \frac{1}{(T_{301}p + 1)^2}; \quad (17)$$

где  $T_{301}$  – заданная постоянная времени. На основе условия (17) определяется передаточная функция стабилизирующего устройства следующим выражением:

$$W_{p1}(p) = \frac{(T_{on}p + 1)(\sigma_{on}p + 1)}{2k_{on}T_{301}p \left( \frac{T_{301}}{2}p + 1 \right)}. \quad (18)$$

Выбор структуры и параметров оптимальной динамической настройки корректирующего устройства производим на основе передаточной функции. Для этого определяем передаточную функцию эквивалентного объекта:

$$W_{экв}(p) = W_{об}(p)W_{301}^{opt}(p) = \frac{1}{T_{301}p(\tau_1p + 1)(T_{301}p + 1)^2}. \quad (19)$$

Так как передаточная функция эквивалентного объекта (19) имеет четвертый порядок, то заданная передаточная функция  $W_{301}^{opt}(p)$  критерия оптимальности основной регулируемой величины принимает следующий вид:

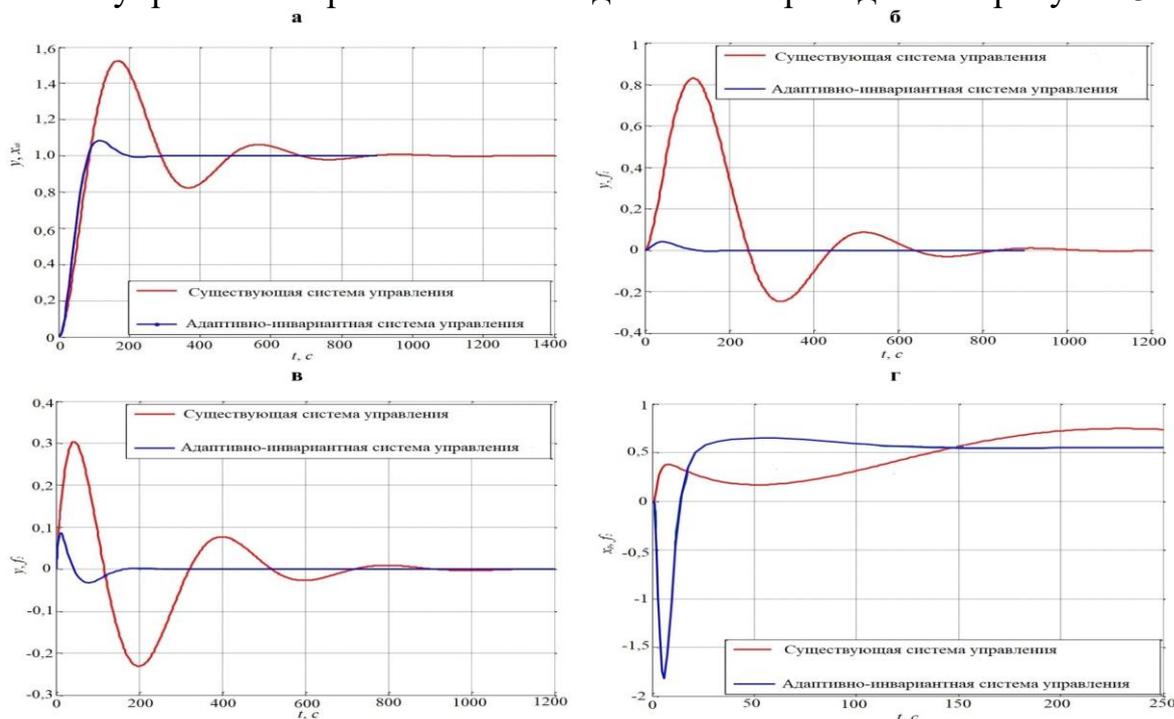
$$W_{302}^{opt}(p) = \frac{1}{(T_{302}p + 1)^4}; \quad (20)$$

где выбор численных значений  $T_{302}$  осуществляем с использованием ряда чисел правила золотого сечения:  $T_{302} = 0,145\tau_1 = 3,07$  секунд;  $T_{302} = 0,246\tau_1 = 4,97$  секунд.

Из условия (20) компенсации  $f_2$  с учетом передаточной функции находим передаточную функцию устройства компенсации:

$$W_{y_k}^{f_2} = \frac{(1 - W_{3\partial 2}^{opt})}{W_{3\partial 2}^{opt}} = [W_{3\partial 2}^{pc}(p)]^{-1} = \frac{4T_{3\partial 2}p \left( \frac{T_{3\partial 2}^3 p^3}{4} + T_{3\partial 2}^2 p^2 + 1,5T_{3\partial 2}p + 1 \right)}{(T_{3\partial 2}p + 1)^4}. \quad (21)$$

Графики переходных процессов предлагаемой адаптивно-инвариантной системы управления при основных воздействиях приведены на рисунке 3.



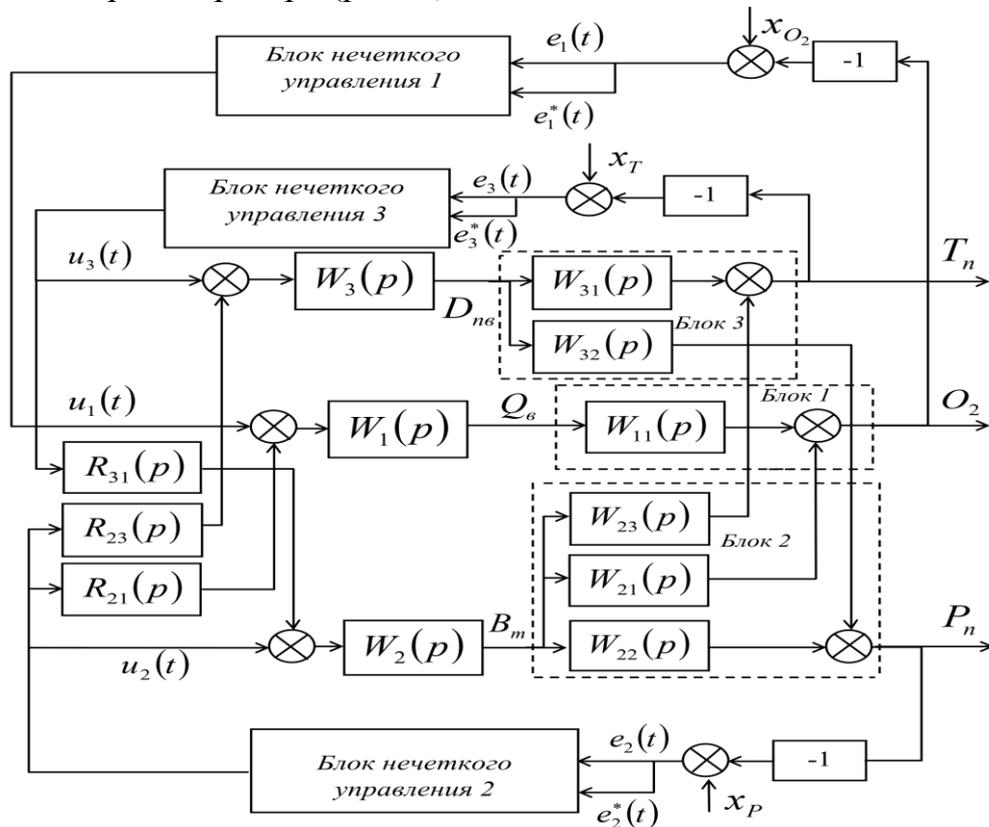
**Рис. 3. График переходных процессов адаптивно-инвариантной системы управления при основных воздействиях**

где а – реакция системы на скачкообразный сигнала  $x_{30}$ ; б – для внутреннего возмущения  $f_1$ ; в – для внешнего топочного возмущения  $f_2$ ; г – изменения регулирующего воздействия  $x_p(t)$  при отработке внешнего возмущения тепловой нагрузки.

Из графиков переходных процессов следует, что при всех возмущающих воздействиях время регулирования у адаптивно-инвариантной системы управления сокращается на 30% по сравнению с традиционной системой управления. Величина перерегулирования при отработке задающего воздействия сокращается на 70%, а максимальные динамические ошибки регулирования уменьшаются: при отработке внутреннего возмущения – в 16,5 раза; при отработке внешнего топочного возмущения – в 3 раза. Время регулирования тепловой нагрузки сокращается на 33%, максимальная динамическая ошибка регулирования – на 65%. Как видно из графиков переходных процессов, предложенная адаптивно-инвариантная система управления показала более высокий показатель качества, чем традиционная система управления.

В связи с характером случайности, нелинейности и неопределенности изменения тепловой нагрузки парогенератора, а также невозможностью регулирования регулируемых величин в широком диапазоне (допустимых

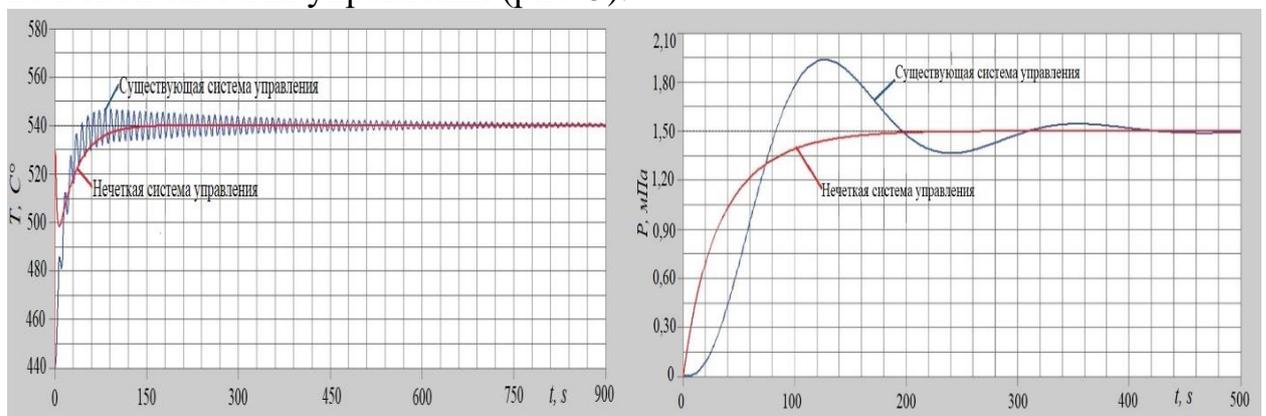
режимах) и компенсации сложного взаимодействия периода регулирования с существующим систем управления была предложена многомерная нечеткая система управления, позволяющая снизить энергопотребление. На основании проведенного анализа была разработана структурная схема системы нечеткого управления парогенератора (рис. 4).



**Рис. 4. Структурная схема нечеткой система управления парогенератором**

В схеме нечеткая система управления парогенератором позволяет снизить погрешность регулирования расхода топлива и расхода воздуха и увеличить быстродействие управления.

Приведен сравнительный анализ результатов имитационного эксперимента с существующей системой управления с синтезированной нечеткой системы управления (рис. 5).



**Рис. 5. Сравнительный анализ графиков переходных процессов тепловой нагрузки парогенератора**

Как видно из графиков переходных процессов, нечеткая система управления работает стабильно при наличии внешнего воздействия и переводит объекта управления из одного состояния в другое с достаточной скоростью. Применение нечетких систем управления при управлении тепловой нагрузкой парогенератора тепловых электростанций позволило повысить полноту сгорания топлива, что привело к снижению расхода топлива с 95% до 62%, а также снизить перерегулирование на 25% и снизить погрешность регулирования с  $\pm 0,23$  до  $\pm 0,09$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основе методов системного анализа, теории автоматического, адаптивного и инвариантного управления разработаны алгоритмы синтеза адаптивно-инвариантной системы управления тепловой нагрузки теплоэнергетических объектов. В итоге получены следующие научные результаты:

1. На основе системного анализа технологических и физических свойств процесса парообразования в котельных агрегатах, выявления взаимосвязи основных факторов, влияющее на рассматриваемый процесс разработана информационная модель тепломассообменного процесса.

2. Разработана динамическая модель процесса управления тепловой нагрузкой с учетом неопределенности данных, изменчивости динамики объекта и технологических ограничений в процессе совместного сжигания различных топлив в парогенераторах.

3. Разработаны адаптивные алгоритмы компенсации случайного изменения тепловой нагрузки и частичной неопределенности исходных данных за счет изменения расхода топлива, позволяющие стабилизировать процесс управления.

4. Разработаны алгоритмы синтеза нечеткой системы управления технологическими параметрами парогенератора с учетом изменения расхода топлива в условиях случайности изменения тепловой нагрузки и частичной неопределенности исходных данных.

5. Разработан программный комплекс имитационного моделирования системы нечеткого управления, позволяющая обеспечить качественное управление в условиях широкого диапазона изменения параметров объекта управления и внешних возмущений.

6. Разработан алгоритм адаптации нечеткой системы управления тепловой нагрузкой парогенератора в условиях динамических свойств объекта и априорной неопределенности информации. Предложенная система позволяет снизить расхода топлива с 95% до 62% за счет обеспечения полного сгорания топлива.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES  
DSc.03/26.05.2022.T.10.05 AT THE NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY  
«TASHKENT INSTITUTE OF IRRIGATION AND AGRICULTURAL  
MECHANIZATION ENGINEERS»**

---

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY NAMED AFTER ISLAM  
KARIMOV**

**UMURZAKOVA DILNOZAKHAN MAKHAMADJANOVNA**

**SYNTHESIS OF AN ADAPTIVE-INVARIANT CONTROL SYSTEM FOR  
THE HEAT LOAD OF THERMAL POWER OBJECTS**

05.01.02 – System analysis, management and information processing

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

**Tashkent – 2023**

The theme of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2022.1.PhD/T1113.

The dissertation has been prepared at Tashkent State Technical University named after Islam Karimov.

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

**Scientific adviser:**

**Sidikov Isamidin Xakimovich**  
doctor of technical sciences, professor

**Official opponents:**

**Sulyukova Larisa Faritovna**  
doctor of Technical Sciences, Senior Researcher

**Nazarov Fayzullo Makhmadiyarovich**  
PhD of Technical Sciences, associate professor

**Leading rganization:**

**Fergana Polytechnic Institute**

Defense of dissertation will take place in «08» February 2023 at 14<sup>00</sup> o'clock at a meeting of the scientific council DSc.03/26.05.2022.T.10.05 at the National research university «Tashkent institute of irrigation and agriculture mechanization engineers» (Address: 100000, Tashkent, str. Kari Niyazi 39, tel.: (99871) 237-19-36; fax: (99871) 237-54-79; e-mail: admin@tiame.uz).

The doctoral dissertation could be reviewed at t the Information-resource center the National research university «Tashkent institute of irrigation and agriculture mechanization engineers» (registration number 254). Address: 100000, Tashkent, str. Kari Niyazi 39, tel . (99871) 237-19-45).

Abstract of dissertation sent out on «26» January 2023 year.  
(mailing report № 3 , on «23» January 2023 year).



**N.S. Mamatov**  
Chairman of Scientific council  
awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor

**D.K. Bekmurotov**  
Scientific secretary of Scientific council  
awarding scientific degrees,  
doctor of philosophy (PhD) on technical sciences

**M.A. Ismailov**  
Chairman of the Academic seminar  
under the Scientific council awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor

## INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**The purpose of the research** is to develop models and algorithms for the synthesis of an adaptive-invariant control system for the heat load of thermal power objects.

**The objects of the research** are the control system for the thermal load of thermal power objects.

**The scientific novelty** of the dissertation research is as follows:

a dynamic model of the thermal load management process has been developed taking into account the uncertainty of data, the variability of the dynamics of the object and technological limitations in the co-combustion of various types of fuel;

adaptive control system adjustment algorithms have been developed to compensate for random changes in the thermal load and partial uncertainty of the initial data and to stabilize the control process by changing the fuel consumption and ratio;

algorithms for the synthesis of a fuzzy control system for the technological parameters of a steam generator, taking into account technological limitations and uncertainty of the initial data, have been developed;

a fuzzy control system has been created that provides high-quality control of the thermal load with a wide range of changes in the parameters of the control object and external disturbances.

**Implementation of the research results.** Based on the obtained results of the synthesis of an adaptive-invariant control system for the thermal load of a steam generator of thermal power facilities:

the developed algorithms for compensating for random changes in the heat load and the ratios of various fuels have been implemented in Issiklik Manbai, Ferghana Regional Production Department (Reference of the Ministry of Energy No. 13-8639 dated March 30, 2022). As a result, the developed algorithms make it possible to choose the optimal functioning modes of the control object in accordance with the change in thermal load;

the developed algorithms for adapting the parameters of the fuzzy control system, taking into account the technological limitations of the control process to random changes in the heat load and changes in fuel consumption, have been implemented in Issiklik Manbai, Fergana Regional Production Department (Reference of the Ministry of Energy No. 13-8639 dated March 30, 2022). As a result, the developed algorithms will make it possible to stabilize the temperature regime and the dynamic change in the heat load of the steam generator during the co-combustion of various types of fuel.

**Structure and volume of the dissertation:** The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and applications.

The volume of the dissertation is 120 pages.

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

**I бўлим (Часть I; Part I)**

1. Sidikov I.X., Umurzakova D.M. Adaptive neuro-fuzzy regulating system of the temperature mode of the drum boiler // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – India, 2019. – Vol. 6, Issue 1. – Pp. 7869-7872. (05.00.00, №8)
2. Siddikov I.X., Umurzakova D.M. Mathematical Modeling of Transient Processes of the Automatic Control System of Water Level in the Steam Generator // Universal Journal of Mechanical Engineering. – USA, 2019. – 7(4). – Pp. 139-146. (№3; Scopus; IF=0,2)
3. Сиддиков И.Х., Умурзакова Д.М. Синтез многомерной цифровой системы управления по критерию минимума среднеквадратической ошибки // ТГТУ Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». – Тошкент, 2019. – №2(86). – С. 52-57. (05.00.00, №12)
4. Siddikov I.X., Umurzakova D.M. Neuro-fuzzy Adaptive Control system for Discrete Dynamic Objects // International conference on information science and communications technologies applications, trends and opportunities. – Tashkent, 2019. – Pp. 1-4. (№3; Scopus)
5. Siddikov I.X., Umurzakova D.M., Bakhrieva H.A. Adaptive system of fuzzy-logical regulation by temperature mode of a drum boiler // IJUM Engineering Journal, – Kuala Lumpur, 2020. – Vol. 21. No.1. – Pp. 185-192. (05.00.00, №6)
6. Siddikov I.X., Umurzakova D.M. Fuzzy-logical Control Models of Nonlinear Dynamic Objects // Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal. – USA, 2020. – Vol. 5. No.4. – Pp. 419-423. (№3; Scopus; IF=0,57)
7. Siddikov I.X., Umurzakova D.M. System synthesis fuzzy-logic regulation of nonlinear dynamic objects // Technical science and innovation. – Tashkent, 2020. - №1/2020. – Pp. 102-108. (05.00.00, №16)
8. Siddikov I.X., Umurzakova D.M. The Research on the Dynamics of the Three-impulse System of Automatic Control of Water Supply to the Steam Generator When the Load Changes // Journal of Physics: Conference Series. – USA, 2020. – 1706 (2020) 012196. – Pp. 1-8. (№3; Scopus; IF=0,8)
9. Umurzakova D.M. Neuro-fuzzy Control Algorithm of Dynamic Objects with Uncertainty of a Priori Information // International conference on information science and communications technologies applications, trends and opportunities. – Tashkent, 2020. – Pp. 1-5. (№3; Scopus)
10. Umurzakova D.M. Synthesis of an Automatic Control System of a Multidimensional Dynamic Object Under Information Uncertainty // International conference on information science and communications technologies applications, trends and opportunities. – Tashkent, 2020. – Pp. 1-5. (№3; Scopus)

11. Umurzakova D.M. System of automatic control of the level of steam power generators on the basis of the regulation circuit with smoothing of the signal // IJUM Engineering Journal. – Kuala Lumpur, 2021. – Vol. 22. No.1. – Pp. 287-297. (05.00.00, №6)

12. Umurzakova D.M. Mathematical Modeling of Transient Processes of a Three-pulse System of Automatic Control of Water Supply to the Steam Generator When the Load Changes // 14th International IEEE Scientific and Technical Conference Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines, Dynamics. – Russia, 2020. – Pp. 1-4. (№3; Scopus; IF=0,452)

13. Siddikov I.X., Umurzakova D.M. Simulation of a Two-level Control System for Nonlinear Dynamic Objects with a Neurofuzzy Adaptive Regulator // International conference on information science and communications technologies applications, trends and opportunities. – Tashkent, 2021. – Pp. 1-5. (№3; Scopus)

## **II бўлим (Часть II; PartII)**

14. Умурзакова Д.М. Система автоматического регулирования питания барабанного парового котла // РНПК «Современные проблемы и их решения информационно-коммуникационных технологий и телекоммуникаций». – Фергана, 2019 г. – III часть. – С. 360-363.

15. Умурзакова Д.М. Способы регулирования тепловой нагрузкой котла с использованием регулятора с переменной структурой // РНПК «Инновационное развитие современной науки». – Андижан, 2019 г. – С. 340-343.

16. Umurzakova D.M. Automatic water-level regulating invariant system in the boiler shell // PISC «Advanced Information Technologies and Scientific Computing - 2019». – Samara, 2019 y. – Pp. 657-659.

17. Умурзакова Д.М. Система автоматического регулирования параметров настроек робастных типовых регуляторов // МНПК «Перспективные информационные технологии - 2019». – Самара, 2019 г. – С. 659-661.

18. Умурзакова Д.М. Исследование методов повышения эффективности управления тепловой нагрузки парогенератора в теплоэлектрических станциях // “Ахборот коммуникация технологиялари ва дастурий таъминот яратиш” мавзусидаги профессор ўқитувчилар ва талабаларнинг XV – илмий-амалий конференцияси. – Самарканд, 2020 й. – С. 115-118.

19. Умурзакова Д.М. Обзор методов повышения качества работы системы автоматического регулирования тепловой нагрузки // МНПК «Перспективные информационные технологии - 2020». – Самара, 2020 г. – С. 64-66.

20. D.M. Umurzakova Development of models and algorithms for studying the dynamics of multidimensional systems with pulse-width modulation // IV МНПК «САПР и моделирование в современной электронике». – Брянск, 2020 г. – С. 59-63.

21. Бахриева Х.А., Умурзакова Д.М. Программное обеспечение для управления теплоэнергетическими объектами // Агентство по

интеллектуальной собственности при Министерстве Юстиции РУз. Свидетельство № DGU 06212 от 11.04.2019 г.

22. Сиддиков И.Х., Ядгарова Д.Б., Умурзакова Д.М., Бахриева Х.А. Микроконтроллерное управление технологическими параметрами динамических объектов непрерывного характера в реальном времени // Агентство по интеллектуальной собственности при Министерстве Юстиции РУз. Свидетельство № DGU 06876 от 28.08.2019 г.

23. Сиддиков И.Х., Файзиев Ш.И., Искандаров З.Э., Ядгарова Д.Б., Умурзакова Д.М. Автоматизация процесса управления параметрами технологических агрегатов непрерывных производств // Агентство по интеллектуальной собственности при Министерстве Юстиции РУз. Свидетельство № DGU 07958 от 26.03.2020 г.

Автореферат «Соҳибқирон юлдузи» илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ҳамда ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларини мослиги текширилди.