

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.13/30.12.2019.Т.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

РАҚАМЛИ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ВА СУНЪИЙ ИНТЕЛЛЕКТНИ
РИВОЖЛАНТИРИШ ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ

БАҲРИЕВА ХУРШИДА АСКАРХОДЖАЕВНА

ИССИҚЛИК ЭНЕРГЕТИКАСИ ОБЪЕКТЛАРИ БУҒ
ҚИЗДИРГИЧЛАРИНИ НОРАВШАН-МАНТИҚИЙ БОШҚАРИШ
АЛГОРИТМЛАРИ

05.01.02 – Тизимли таҳлил, бошқарув ва ахборотни қайта ишлаш

ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ
(PhD)ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент–2022

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

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

**Contents of dissertation abstract of the doctor of philosophy (PhD)
on technical sciences**

Бахриева Хуршида Аскарходжаевна

Иссиқлик энергетикаси объектлари буг қиздиргичларини норавшан-
мантикий бошқариш алгоритмлари.....3

Бахриева Хуршида Аскарходжаевна

Алгоритмы нечетко-логического управления пароперегревателей в
теплоэнергетических объектах.....21

Bakhrieva Khurshida Askarxodjaevna

Algorithms for fuzzy-logic control of superheaters in thermal power
objects.....39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works.....43

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.13/30.12.2019.Т.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

РАҚАМЛИ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ВА СУНЪИЙ ИНТЕЛЛЕКТНИ
РИВОЖЛАНТИРИШ ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ

БАҲРИЕВА ХУРШИДА АСКАРХОДЖАЕВНА

ИССИҚЛИК ЭНЕРГЕТИКАСИ ОБЪЕКТЛАРИ БУТ
ҚИЗДИРГИЧЛАРИНИ НОРАВШАН-МАНТИҚИЙ БОШҚАРИШ
АЛГОРИТМЛАРИ

05.01.02 – Тизимли таҳлил, бошқарув ва ахборотни қайта ишлаш

ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ
(PhD)ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент–2022

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2020.3.PhD/Т702. рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Рақамли технологиялар ва сунъий интеллектни ривожлантириш илмий-тадқиқот институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб саҳифасида (www.tuit.uz) ва «Ziyonet» Ахборот таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар: Сиддиков Исомидин Хакимович
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар: Кабулов Анвар Василевич
техника фанлари доктори, профессор

Арифжанов Абдулла Шамхатович
техника фанлари номзоди, катта илмий ходим

Етакчи ташкилот: Фарғона политехника институти

Диссертация ҳимояси Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги DSc.13/30.12.2019.Т.07.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2022 йил «28» соат 14⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-64-43, факс: (99871) 238-65-52, e-mail: tuit@tuit.uz).

Диссертация билан Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (240 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-65-44).

Диссертация автореферати 2022 йил «15» январ кун тарқатилди.
(2022 йил «30» декабр даги 51 рақамли реестр баённомаси.)



Р.Х.Хамдамов

Р.Х.Хамдамов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, техника фанлари доктори, профессор

Ф.М.Нуралиев

Ф.М.Нуралиев

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, техника фанлари доктори, доцент

А.В.Кабулов

А.В.Кабулов
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, техника фанлари доктори, профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Бугунги кунда жаҳонда иссиқлик энергетикасида электр-энергия ишлаб чиқариш жараёнида энергоресурслар сарфини камайтириш энг долзарб масалалардандир. Ушбу муаммони самарали ҳал этиш кўп жихатдан иссиқлик энергетикаси объектлари агрегатларининг технологик параметрларини бошқаришда қўлланиладиган илм-фан технологиялари билан белгиланади. Ушбу йўналишда дунёнинг қатор ривожланган мамлакатларида, жумладан, АҚШ, Германия, Россия Федерацияси, Буюк Британия, Япония ва бошқаларда кенг камровли илмий ва амалий тадқиқотлар олиб борилмоқда.

Жаҳонда электр энергетика объектлари ва уларда кечувчи жараёнларни автоматик бошқариш тизимини лойиҳалаштиришга қаратилган замонавий усуллар ва мақсадли тадқиқотларнинг илмий асослари яратилмоқда. Шу билан бирга электр энергетикаси объектларининг технологик жараёнларини бошқариш моделларини қуриш усуллари ва алгоритмларини илмий асослаш алоҳида аҳамиятга эга. Бироқ иссиқлик энергетикаси станцияларида электр энергиясини ишлаб чиқариш жараёнида иссиқлик юқламасининг нотекис ўзгариши, бошқариш объекти хусусиятларининг ноаниқлиги ва кўплаб назорат қилинмайдиган ғалаёнларнинг мавжудлиги билан боғлиқ энергия йўқотишлари мавжуд. Буларнинг барчаси иссиқлик энергетикаси объектлари агрегатларини бошқариш тизимларига нисбатан қатъий талаблар ва маълумотлар ноаниқлиги шароитида динамик объектларни бошқариш моделлари ва алгоритмларини ишлаб чиқишга олиб келади.

Республикамизда қабул қилинган комплекс чоралар доирасида электр энергия объектларини бошқариш жараёнини интеллектуаллаштиришни бошқариш назарияси ва усулларини ривожлантиришга катта эътибор қаратилмоқда, хусусан буғ қиздиргичнинг иш режимларини ноаниқлик шароитида энергия тежамкор технологияларни қўллаган ҳолда ҳар хил турдаги оператив ва техник чекловларни ҳисобга олиш долзарб масалалардандир. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «...иктисодиётда энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежамкор технологияларни кенг жорий этиш, энергетика соҳасида ахборот-коммуникацион технологияларини қўллаш ва бошқариш»¹ каби вазифалар белгилаб берилган. Мазкур вазифаларни амалга оширишда замонавий ҳисоблаш воситаларини қўллаш орқали, замонавий бошқариш усулларида фойдаланиш ҳисобига, иссиқлик энергетикаси объектларининг энергия самарадорлигини оширишга алоҳида эътибор қаратилган.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича

¹ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантиришнинг Ҳаракатлар стратегияси тўғрисидаги» Фармони.

Харакатлар стратегияси тўғрисида»ги ва 2019 йил 29 мартдаги ПҚ-4249-сон «Ўзбекистон Республикасида электр энергетика тармоғини янада ривожлантириш ва ислоҳ қилиш стратегияси тўғрисида»ги Фармонлари, 2018 йил 19 февралдаги ПФ-5349-сон «Ахборот технологиялари ва коммуникациялари соҳасини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-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. Жаҳонда турли дастлабки маълумотларга эга бўлган электр энергияси тизимларининг технологик жараёнларини самарали бошқариш усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқишга кўпгина хорижий олимлар С.А.Совалов, Ю.Н.Руденко, В.А.Семенов, В.И.Воропай, Д.А.Арзамасцев, А.В.Лыкин, В.М.Гонштейн, Е.В.Цветков, Г.Б.Левенталь, А.И.Андрюшенко, В.А.Иванов, Г.П.Плетнев, Э.К.Аракелян, В.Я.Ротач юртимиз олимларидан Х.Ф.Фазылов, Т.Х.Насиров, К.Р.Аллаев, Д.А.Абдуллаев, В.К.Соколов, Р.А.Зоҳидов, М.З.Хамудханов, Т.С.Камалов, Э.П.Пайзиев ва бошқалар катта ҳисса қўшдилар.

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, 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.Сиддиков, М.А.Исмаилов ва бошқалар ўзларининг улкан ҳиссаларини қўшишган. 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 қиздиргичнинг иш режимларига мос қийматларини таъминлашда, ташқи таъсирларнинг тасодифийлиги ва объект хусусиятларини ўзгарувчанлигини ҳисобга олиш имконини берувчи интеллектуал технологиялар усуллари асосланган бошқариш 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 ва Тошкент ахборот технологиялари университети илмий-тадқиқот ишлари режаларининг

А-5-42—«Априор ноаниқлик шароитида технологик объектларнинг автоматлаштирилган мониторинги ва бошқаришни интеллектуал-лаштиришни дастурий-инструментал воситаси» (2015-2017); №Ф4-002 «Бикубик сплайнлар асосида мураккаб сигналларни қайта ишлаш учун ихтисослаштирилган тизимларни ишлаб чиқишнинг назарий ва услубий асослари» (2017-2019) мавзуларидаги лойиҳалар доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади нейро-норавшан технологиялари усуллари асосида буғ қиздиргичнинг бошқариш тизимини самарадорлигини ошириш имконини берувчи бошқариш алгоритмларини ишлаб чиқишдан иборатдир.

Тадқиқотнинг вазифалари:

Буғ қиздиргичнинг ҳарорат режимларини бошқаришнинг ахборот-концептуал моделини ишлаб чиқиш;

маълумотларнинг қисман ноаниқлиги ва эҳтимоллиги шароитида буғ қиздиргичнинг норавшан-мантиқий моделларини ишлаб чиқиш;

буғ қиздиргичнинг технологик параметрларини бошқаришнинг норавшан-мантиқий моделларини яратиш алгоритминини ишлаб чиқиш;

буғ қиздиргичнинг иш режимларини норавшан-мантиқий бошқариш тизимини имитацион моделлаштиришнинг дастурий таъминотини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида буғ қиздиргичлардаги технологик параметрларни бошқариш тизимлари олинган.

Тадқиқотнинг предмети қозон агрегати буғ қиздиргичларининг технологик параметрларини норавшан-мантиқий бошқариш усуллари, моделлари ва алгоритмлари мавжуд.

Тадқиқотнинг усуллари. Тизимли таҳлил усуллари, бошқариш назарияси ва моделлаштириш усуллари, интеллектуал бошқариш назарияси, матрицалар назарияси, дифференциал тенгламалар назарияси усулларида фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгиллиги қуйидагилардан иборат:

буғ қиздиргичнинг динамик хоссаларини, тизимли боғланишларини ва ишлаш қонуниятлари асосида иссиқлик алмашинуви жараёнининг ахборот-концептуал модели яратилган;

автоматик ва интеллектуал бошқариш усуллари биргаликда қўллаш асосида динамик объектларнинг норавшан-мантиқий бошқариш моделларини яратиш алгоритми ишлаб чиқилган;

маълумотлар ноаниқлиги шароитида технологик чекловларни ҳисобга олган ҳолда, буғ қиздиргичнинг технологик параметрларини бошқариш ва барқарорлаштириш алгоритмлари ишлаб чиқилган;

интерактив адаптация ва юзалар фарқи усуллари асосида норавшан-мантиқий адаптив бошқариш тизимини синтезлаш алгоритми ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

буғ қиздиргич ва электр энергетика объектларининг технологик параметрларини норавшан-мантиқий бошқариш тизими функционал схемаси ишлаб чиқилган;

ростлаш параметрларини адаптациялаш ҳисобига технологик жараёнларни оптималлаштирувчи буг қиздиргичнинг технологик параметрларини норавшан-мантиқий бошқариш тизимини яратиш учун сифат жиҳатидан янги ёндошув таклиф этилган;

турли хил ишлаб чиқариш вазиятларида буг қиздиргичнинг технологик параметрларини таҳлил қилиш ва башоратлаш асосида бошқариш қарорларини қабул қилиш имконини берадиган бошқариш тизимининг имитацион моделлаштириш дастурий мажмуаси ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончилиги норавшан тўпламлар, нейрон тўрлар назарияси асосида динамик объектларнинг интеллектуал бошқаришнинг методик асосланган назарий концепцияларини амалга ошириш; замонавий бошқариш назариясининг тасдиқланган усулларидан фойдаланиш; назарий ва амалий тадқиқотлар натижасида олинган натижалар ва уларнинг ўзаро изчиллиги.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқотнинг илмий натижалари аҳамияти режимли ва технологик параметрларни инобатга олган ҳолда, дастлабки ахборотларнинг тасодифийлик характери ва қисман ноаниқлиги шароитида ишлайдиган динамик объектларни норавшан-мантиқий бошқариш тизимини нейрон-норавшан моделлари ва синтезлаш алгоритмларининг яратилганлиги билан тавсифланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти буг қиздиричнинг мақбул иш режимларини ушлаб туриш ҳисобига энергия сарфини камайтиришга имкон берадиган, ташқи муҳит ва объект хусусиятлари, ноаниқлиги шароитида динамик объектларнинг технологик параметрларини норавшан-мантиқий бошқариш тизими синтези масаласини алгоритмик таъминлаш билан ифодаланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Маълумотлар ноаниқлиги шароитида технологик чекловларни ҳисобга олган ҳолда, буг қиздиргичнинг технологик параметрларини бошқариш ва барқарорлаштириш алгоритмлари асосида ишлаб чиқилган дастурий мажмуа «Тошкент иссиқлик энергетикаси станцияси» АЖда жорий этилган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларни ривожлантириш вазирлигининг 2021 йил 5 октябрдаги 33-8/6990-сон маълумотномаси). Тадқиқот натижасида буг қиздиргичнинг технологик параметрларини бошқаришни оптималлаштирувчи норавшан-мантиқий ростлагич дастури ва норавшан адаптив ростлагич коэффициенти ёрдамида энерго захираларни минималлаштириш ва бошқаришнинг аниқлигини ўртача 13% га ошириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Ушбу тадқиқот натижалари жами 7 та халқаро ва 10 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокама қилинган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация тадқиқотининг асосий натижалари 7 та илмий ишларда эълон қилинган, улардан 1 таси монография, 6 таси Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссияси томонидан докторлик диссертацияларининг асосий

илмий натижаларини эълон қилиш учун тавсия қилинган журналларда, жумладан, Scopus базасига кирувчи журналда 2 та мақола нашр қилинган ҳамда 3 та ЭХМ учун дастурларни расмий рўйхатдан олинганлиги тўғрисида гувоҳнома олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 113 бетни ташкил этган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида илмий тадқиқотнинг долзарблиги, мақсад ва вазифалари асосланади, тадқиқот объекти ва предмети тавсифланади, фанни ривожлантириш ва устувор йўналишларнинг мувофиқлиги кўрсатилган, илмий янгилик ва амалий натижалар баён этилган, ишнинг илмий ва амалий мазмуни очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга татбиқ этиш тўғрисида маълумотлар берилган, бажарилган ишлар ва маълумотлар берилган. Диссертациянинг тузилиши ҳақида маълумотлар ҳақида чоп этилган.

Диссертациянинг «**Буғ қиздиргични бошқариш муаммоларининг замонавий ҳолати**» номли биринчи бобида бошқариш объекти сифатида буғ қиздиргич ҳарорат режими технологик жараёнини тизимли таҳлил қилиш ва бошқаришнинг ўзига хос хусусиятлари масалалари кўриб чиқилган.

Буғ қиздиргич технологик параметрларини бошқариш жараёни самарадорлигига таъсир этувчи асосий омилларни аниқлаш мақсадида буғ қиздиргич ҳарорат режимининг замонавий ҳолати тизимли таҳлил қилинган.

Буғ қиздиргичлар турбиналарни ҳаракатга келтириш учун юқори босимдаги тўйинган ёки қиздирилган буғларни генерациялашга мўлжалланган. Буғ қиздиргичда кечадиган технологик жараёнлар узлуксизлиги ва мураккаблиги билан тавсифланади. Буғ қиздиргичнинг асосий бошқарилувчи, ростланувчи параметрларидан бири бўлиб қиздирилган буғ ҳарорати ҳисобланади.

Буғ қиздиргич фаолиятига таъсир кўрсатувчи омилларнинг ноаниқлиги ва динамик характерга эга эканлиги бошқариш жараёнини мураккаблаштиради. Юқори самарали бошқариш тизимини яратиш учун ноаниқликларни инобатга олган ҳолда қиздирилган буғни бошқариш жараёнининг хусусиятлари ва динамик характеристикаларини ўрганиш зарурдир. Иссиқлик алмашинув жараёнларининг физик қонунларини инобатга олган ҳолда, аналитик усул асосида буғ қиздиргичда кечадиган жараённинг математик модели ишлаб чиқилган:

$$\left. \begin{aligned} F_{\text{ПСП}}(T_{\text{П-чик}} - T_{\text{П-кир}}) + G_{\text{ПСП}} \frac{\partial T_{\text{П-чик}}}{\partial \tau} - G_{\text{ПСП}} K_p \frac{\partial p}{\partial \tau} &= a_{\text{П}} N_{\text{П}} (T_{\text{М}} - T_{\text{П-чик}}); \\ a_{\text{ДГ}} N_{\text{Н}} (T_{\text{ДГ}} - T_{\text{М}}) - a_{\text{П}} N_{\text{П}} (T_{\text{М}} - T_{\text{П-чик}}) &= G_{\text{М}} c_{\text{М}} \frac{\partial T_{\text{М}}}{\partial \tau}; \\ F_{\text{ДГ}} c_{\text{ДГ}} (T_{\text{ДГ-кир}} - T_{\text{ДГ-чик}}) &= a_{\text{ДГ}} N_{\text{Н}} (T_{\text{ДГ}} - T_{\text{М}}), \end{aligned} \right\} (1)$$

бу ерда, мос равишда, K_p —иссиқлик узатиш коэффиценти; $F_{п-қиздирилган}$ буғ сарфи; $c_{п-қиздирилган}$ буғнинг солиштирма иссиқлиги; $T_{п-чик} - T_{п-қир}$ —буғ қиздиргичга кириш ва чиқишдаги буғ ҳарорати; $G_{п-қиздиргич}$ ичидаги буғ массаси; $a_{п-қиздирилган}$ буғнинг иссиқлик узатиш коэффиценти; $T_{дг-қир} - T_{дг-чик}$ —буғ қиздиргичнинг кириш ва чиқишидаги қиздирилган буғ ҳарорати; $N_{п}, N_{н}$ —қиздирувчи қувурларнинг ички ва ташқи юзаси; T_M —қобикнинг ҳарорати; $a_{дг-тутунли}$ газлар иссиқлик узатиш коэффиценти; $N_{н-қувурларнинг}$ ташқи юзаси; p —чиқишдаги буғ босими; τ —вақт; $T_{дг-тутунли}$ газ ҳарорати; G_M —қувурдаги буғ массаси; $F_{дг-тутунли}$ газ сарфи; $c_{дг-тутунли}$ газнинг солиштирма иссиқлиги; c_M —қобикнинг солиштирма иссиқлиги.

Ишлаб чиқилган буғ қиздиргичнинг математик модели унинг конструктив хусусиятларини инобатга олган ҳолда, буғ қиздиргични бошқариш объекти сифатида ўрганишга ва унинг ҳар қандай динамик ва статик хусусиятларини таҳлил қилишга имкон беради. Бошланғич шартлар куйидагича бўлганда $T_{п-чик}(0) = 100, C^0$; $T_{дг-қир}(0) = 1245, C^0$; $F_{п-қир}(0) = 0$ т/с; $F_{дг-қир}(0) = 1230$ м³/с; $P_{буғ}(0) = 0$, бўлганда (1) тенгламалар тизимини ечими аналитик кўринишда қидирилади:

$$\Delta T_{п} = W_{ТП_чик ТП_қир}(\tau) * \Delta T_{П_қир}(\tau) + W_{ТП_чик Тдг_қир}(\tau) * \Delta T_{дг_қир}(\tau) + W_{ТП_чик F_{П_қир}}(\tau) * \Delta F_{П_қир}(\tau) + W_{ТП_чик F_{дг_қир}}(\tau) * \Delta F_{дг_қир}(\tau),$$

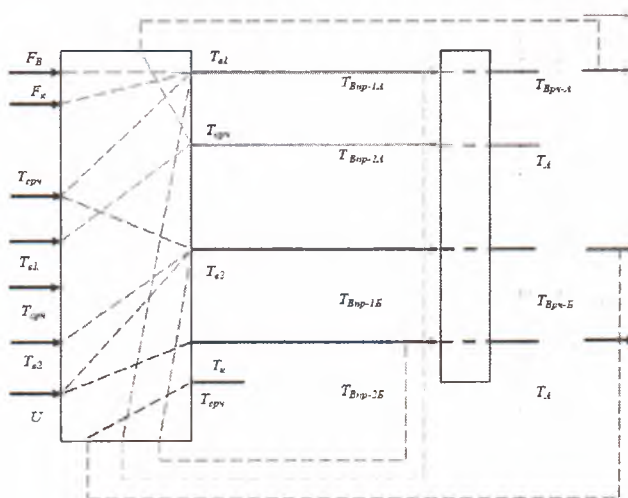
бу ерда $W_{ТП_чик ТП_қир}(\tau)$ —буғ қиздиргичдан кириш ва чиқишдаги буғ ҳарорати динамикасининг ўзгариш характеристикаси; $W_{ТП_чик Тдг_қир}(\tau)$ —тутунли газ сарфининг буғ ҳарорати ўзгаришига таъсирининг ўзаро боғлиқлигини кўрсатувчи функция; $W_{ТП_чик F_{П_қир}}(\tau)$ —буғ қиздиргичдаги буғ ҳарорати ва сарфини алоқа каналлари бўйича ўзаро боғлиқлигини динамик хусусиятлари; $W_{ТП_чик F_{дг_қир}}(\tau)$ —буғ қиздиргичга киришдаги тутунли газ сарфи; мос равишда; $\Delta T_{П_қир}(\tau)$, $\Delta T_{дг_қир}(\tau)$, $\Delta F_{П_қир}(\tau)$, $\Delta F_{дг_қир}(\tau)$ —буғ қиздиргичнинг параметрларини ўзгаришини характерловчи функциялар.

Олинган аналитик ечим жараёни бошқаришда содир бўладиган турли хил ноаниқликлар ва объектнинг динамик хоссаларини ҳисобга олиш имконини бермайди. Шунини таъкидлаш керакки, юқоридаги параметрларнинг ўзгариши турли хил ноаниқликлар ва эҳтимоллик хусусиятларига эга бўлиб, бу муаммони ҳал этиш учун интеллектуал технологиялар усулларидан фойдаланишни тақозо этади. Ушбу усуллар ташқи таъсирларнинг ўзгарувчанлиги ва буғ қиздиргичнинг динамик хусусиятлари билан боғлиқ қийинчиликларни бартараф этишга имкон беради. Қайд этилган ҳолатлар интеллектуал технологияларга асосланган норавшан-мантиқий буғ қиздиргични бошқариш тизими учун синтезлаш алгоритмларини яратиш заруриятини кўрсатади. Юқоридагилардан келиб чиққан ҳолда, нейроноравшан технологияларга асосланган технологик объектларни норавшан-

мантикий бошқариш тизими алгоритмларини ишлаб чиқиш ва иссиқлик энергетикаси объектларини автоматлаштириш ва бошқариш муаммоларини ҳал этишда қўллаш ушбу диссертация иши мақсадини белгилаб берди.

Диссертациянинг иккинчи боби «**Буғ қиздиргични бошқариш жараёнининг норавшан-мантикий моделини ишлаб чиқиш**» деб номланган бўлиб, буғ қиздиргични бошқариш жараёнининг норавшан-мантикий моделини ишлаб чиқиш масаласи кўриб чиқилган.

Буғ қиздиргичнинг динамик хусусиятлари таҳлили асосида унинг ахборот-концептуал модели ишлаб чиқилган бўлиб, у технологик параметрлар ва уларнинг ўзгариш динамикаси ҳақидаги ахборотларни ўз ичига олади ва буғ қиздиргичда кечадиган жараёнларни юқори самарали бошқариш тизимини яратиш учун асос бўлади. Бунда ростланувчи ва ростловчи технологик параметрлар, ҳамда жараёнга (буғнинг ҳарорати ва босими)га таъсир кўрсатувчи омиллар аниқланган(1-расм.).



1-расм. Буғ қиздиргичнинг ахборот-концептуал модели.

Бу ерда ўзгарувчиларнинг ўзаро боғлиқлиги қуйидаги кўринишда тасвирланган: $BK = \{U_{кир}, U_{чик}\}$, бу ерда $U_{кир} = \{F_b, F_k, T_{срч}, T_{в1}, T_{врч}, T_{в2}, U\}$; $X = \{T_{в1}, T_{врч}, T_{в2}, T_k, T_{срч}\}$; $U_{чик} = \{T_{врч-а}, T_a, T_b, T_A\}$.

Буғ қиздиргичнинг кириш параметрлари сифатида қуйидагилар олинган: F_b -1-пуркагичдаги сув сарфи, F_k – қозондаги сув сарфи, T_k -ёқилғи сарфи, U - «1,2,3 гуруҳли чанглатгичлар» канали.

Буғ қиздиргичнинг чиқиш параметрлари сифатида қуйидагилар олинган: $T_{в1}$ - биринчи ВРЧ учун буғ ҳарорати, $T_{срч}$ –СРЧ учун буғ ҳарорати, $T_{врч-а}$ –биринчи ВРЧ учун буғ ҳарорати, $T_{врч-б}$ –иккинчи ВРЧ учун буғ ҳарорати, $T_{в2}$ -2-пуркагич учун буғ ҳарорати.

Юқоридагилардан келиб чиққан ҳолда, норавшан тўпламлар назарияси усулларини қўллаш ҳал этилаётган масалаларга кўпроқ мос келади. Бундай ёндошувда бошқариш тизими динамикасини ҳолат тенгламаси ёрдамида ифодалаш мумкин. Ушбу ёндошув асосида бошқариш тизими динамикасининг ҳолат тенгламаси ёрдамида ифодалаш мумкин:

$$x_{k+1} = F(x_k, u_k), k = 0, N, x_k \in X, u_k \in U,$$

бу ерда X –ўзгарувчилар ҳолати фазоси, U –бошқариш ўзгарувчилари тўплами, F –ҳолатларнинг ўтиш ночизикли функцияси.

Тизимнинг жорий ҳолатини ифодаловчи x_k тўлиқ векторни тўғридан-тўғри ўлчаш имкони мавжуд бўлмаганда, билвосита кузатиш вектори куйидаги тенглама билан ифодаланади:

$$z_k = H(x_k),$$

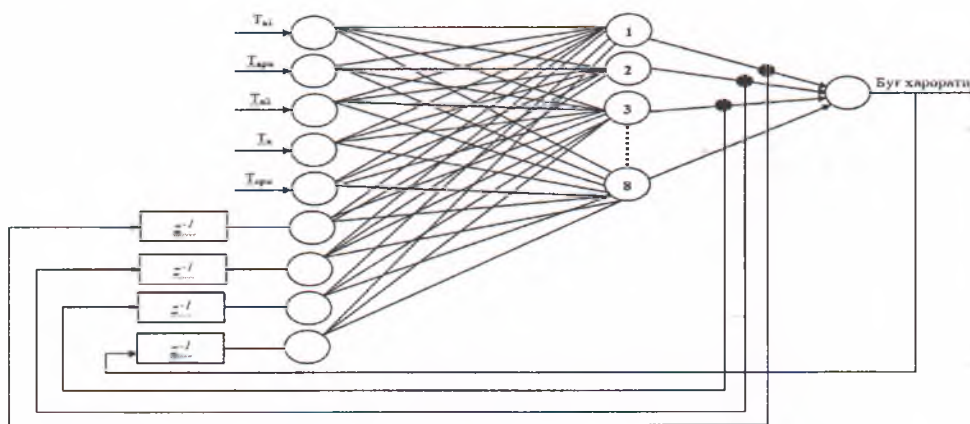
бу ерда z_k -норавшан ўлчаш вектори; $H - z_k = Hx_k$ рекуррент тенгламалар тизимини ўлчаш функцияси.

Буғ киздиргичдаги технологик жараёнларни ўзгарувчанлиги ва улар ҳақидаги маълумотларнинг қисман ноаниқлиги норавшан тўплам назарияси усулларидан фойдаланиб жараёнларни норавшан тўплам шаклида тасвирлаш турли ноаниқлик шароитида ишлайдиган динамик объектлар моделларини шакллантириш учун асос ҳисобланади, диссертацияда буғ киздиргични бошқаришдаги ноаниқликларини ҳисобга олган ҳолда, математик ифодалаш учун нейрон тўр усулидан фойдаланилган.

Модел нейрон тўрдан фойдаланган ҳолда, киздирилган буғ ҳароратини технологик регламент асосида ростлашга имкон берувчи интеллектуал бошқариш тизимини куришда асосий таянч ҳисобланади(2-расм.).

Ишлаб чиқилган буғ киздиргичнинг нейрон тўр модели ёрдамида иссиқлик энергетикаси объектларида электр энергия ишлаб чиқаришда асосий агрегат элементи ҳисобланган турбиналарни ҳаракатлантириш орқали киздирилган буғ ҳароратини турғунлигини таъминлаш имконияти мавжуд.

Нейрон тўрларни қўллашда қўйилган масаланинг ўзига хослиги ва мураккаблигига мос равишда амалга ошириладиган сунъий нейрон тўр архитектурасини танлаш муҳим ҳисобланади.



2-расм. Буғ киздиргичнинг нейрон тўр модели.

Тўрни ўқитиш учун интерактив адаптация назариясига асосланган алгоритм таклиф этилди, унинг мазмуни $E_k(i) = 0.5(u * (i) - u_k(d_k, x_k * (i)))^2$ хатони норавшан кўринишда ҳисоблашдан иборатдир.

Интерактив адаптация алгоритми қўлланилганда тизим N –та кичик тизимларга бўлинади, унинг ҳар бири интеграллашган чиқиш сигнали

y_n ва интеграллашган кириш сигнали x_n га эга бўлиб, улар орасидаги нисбат функционал боғлиқлик кўринишида ифодаланади:

$$F_n: X_n \rightarrow Y_n, y_i(t) = F[x_n(t)]_i, n = 1, 2, \dots, N.$$

Элементлар ва ташқи сигнал $u_i(t)$ орасидаги ўзаро боғлиқлик чизикли бўлиб, қуйидаги тенглама билан ифодаланади:

$$x_i(t) = u_i(t) + \sum_{K \in J_i} \alpha_K \cdot y_i(t), i \in N.$$

Бунда алоқалар вазни

$$\alpha_K = F_{\text{кирк}}[x_{\text{кирк}}] \left(\frac{y_{\text{чикк}}}{y_{\text{кирк}}} \right) \sum_{K \in J_i} \alpha_S \cdot \alpha_S - \gamma \cdot F_{\text{кирк}}[x_{\text{кирк}}] \cdot y_{\text{чикк}} \cdot \frac{\delta E}{\delta y_{\text{чикк}}},$$

бу ерда $\gamma > 0$ – ўқитиш тезлигини аниқлаш коэффициенти; $F_{\text{кирк}}[x_{\text{кирк}}]$ – Фреше ҳосиласи; E – йўқотиш (хато) функцияси $K \in K$.

Маълумки, объектининг динамик хоссалари, ҳамда кириш таъсирларининг сони ортиши, норавшан чиқиш хулосаларининг геометрик прогрессия асосида ортиши айнан норавшан моделларни ўқитишнинг аниқлигини ва тезкорлигини пасайишига олиб келиши мумкин. Ушбу камчиликларни бартараф этиш учун норавшан моделларда киришдаги параметрларнинг ихтиёрий ўзгаришларини инобатга олган ҳолда бошқариш таъсирларини ҳисоблашга имкон берувчи минимум ва максимумни аниқлашда юмшоқ арифметик амаллардан фойдаланиш таклиф этилган. Норавшан-манتيкий чиқишда юмшоқ арифметик амаллар қўлланилганда юмшоқ минимум ва юмшоқ максимум қуйидагича аниқланади:

Юмшоқ минимум:

$$\min_{\delta} (x_1, x_2)_I = \frac{x_1 + x_2 + \delta^2 + \sqrt{(x_1 + x_2)^2 + \delta^2}}{2}.$$

Юмшоқ максимум:

$$\text{soft-max}(x_1, x_2) = |\gamma \cdot \max(x_1, x_2) + 0,5(1 - \gamma)(x_1 + x_2),$$

δ -ўқитиш қадами нейрон тўрл модели 0,02 га тенг, $\gamma = 0,7$.

Чиқиш сигналида дефаззификация юзалар фарқи усули билан амалга оширилади. Бунда трапециясимон шаклга эга бўлган тегишлилик функциясининг юзаси ушбу формула билан аниқланади:

$$S = \frac{h}{6} (b_1 + 4b_2 + b_3),$$

бу ерда h – трапеция баландлиги; b_1, b_2, b_3 – трапециянинг пастки, ўрта ва юқоридаги асоси. Одатий усуллардан фарқли равишда юзалар фарқи усулини қўллашда, чиқишда тегишлилик функцияси термларини қисқартириш операцияларини талаб этмайди. Ушбу операция қуйидагича аниқланади:

$$\mu(y)_i' = \text{soft}_{i=1}^n \min(y_i'; \mu(y_i)).$$

Ушбу муносабат ёрдамида бошқариш сигналани дефазификациялаш амалга оширилди:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n y \cdot \bar{y}_{ib}}{\sum_{i=1}^n y}$$

Норавшан-мантикий хулосанинг чиқишдаги катталиги қуйидаги формуладан аниқланади:

$$y_{\text{defuz}} = [D \cdot (y_{\text{туг}} - y_{\text{бош}})] + y_{\text{бош}},$$

бу ерда $y_{\text{туг}}$ ва $y_{\text{бош}}$ чиқиш ўзгарувчиси диапазоли катталикларининг охири ва бошлангич қиймати.

Чиқиш катталиклари термларининг кесилган юзаларини коррекциялаш, қуйидагича аниқланди:

$$y_{\text{чик}} = (w)_i + \delta(y_{\text{defuz}} - y_{\text{этал}}).$$

Хулосалар сонини чиқиш тегишлилик функцияларидаги термлар сонига тенг бўлгунча қисқартиришга имкон берувчи норавшан муносабатлар марицасини шакллантиришда юзалар фарқи усули ёрдамида максимум ва минимумларни аниқлашда юмшоқ арифметик амалларни қўллайдиган адаптив нейро-норавшан тизимни ўқитиш алгоритми ишлаб чиқилган.

Ушбу процедуралар асосида 2-босқичдан иборат буғ қиздиргичнинг норавшан-мантикий бошқариш тизимининг билимлар базаси шакллантирилди. Бунда кириш катталиклари сифатида: x_1 -сув сарфи; x_2 -буғ сарфи, чиқиш катталиги сифатида эса буғнинг ҳарорати олинди. Биринчи босқичда тегишлилик функциясининг шакли ва ўзгарувчиларнинг кириш ва чиқиш катталикларининг технологик регламентга мос қийматларининг ўзгариш диапазоли танланади:

$$x_1 = [x_{\text{min}}, x_{\text{max}}]; x_2 = [x_{\text{min}}, x_{\text{max}}]; \text{ ва } y = [y_{\text{min}}, y_{\text{max}}].$$

Ҳар бир кириш сигналларининг ўзгариш диапазоли 3 та термга бўлиб олинди $x_1 = \{x_{11}, x_{12}, x_{13}\}$ ва $x_2 = \{x_{21}, x_{22}, x_{23}\}$.

Чиқиш катталиклари эса 5 та $y = \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5\}$ термлардан иборат. Булар асосида норавшан минимум операциясидан фойдаланиб, ҳар бир ўқитиш маълумотлари жуфтлиги учун қуйидаги кўринишдаги норавшан бошқариш қоидаси тузилди:

$$\begin{aligned} \text{НБК}_1: & \text{Агар}(x_{11} \text{ мавжуд } x_1 \text{ ЁКИ } x_{11} \text{ мавжуд } \rightarrow x_2 < x_1 \vee x_2 >) \text{ ВА} \\ & (x_{21} \text{ мавжуд } x_2 \text{ ЁКИ } x_{21} \text{ мавжуд } \rightarrow x_2 < x_{21} \vee x_2) \\ & \text{у холда } (y_{11} \text{ мавжуд } y_7 \text{ ЁКИ } y_{11} \text{ мавжуд } y_6 < y_7 \vee y_6 \rightarrow); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{НБК}_2: & \text{Агар}(x_{12} \text{ мавжуд } x_2 \text{ ЁКИ } x_{12} \text{ мавжуд } \rightarrow x_3 < x_2 \vee x_3 >) \text{ ВА} \\ & (y_{12} \text{ мавжуд } y_2 \text{ ЁКИ } y_{12} \text{ мавжуд } \rightarrow y_3 < y_2 \vee y_3) \\ & \text{у холда } (y_{12} \text{ мавжуд } y_6 \text{ ЁКИ } y_{12} \text{ мавжуд } y_5 < y_6 \vee y_5 \rightarrow). \end{aligned}$$

Бу ерда:

$$\text{НБК}_1: \{x_{11} \wedge x_{21} \rightarrow y_{11}\} = \{x_{11} [\vee(0,7; 0,2)] < x_1 \vee x_2 > \wedge x [\vee(0,53; 0,2)] < x_{21} \vee x_{22} > \rightarrow y_{11} [\vee(0,8; 0,2)] < y_7 \vee y_6 >\} = \{x_{11}[0,7] < x_1 > \wedge x_{21} [0,53] < x_{21} > \rightarrow y_{11} [0,8] < y_7 >\},$$

Ушбу маълумотлар матрица шаклида ёзиб олиниб, унинг ўлчами кириш катталикларининг термлари сонига боғлиқдир. Қаралаётган объект учун матрицанинг ўлчами 3x3. Матрица қатламлари сонини ҳисоблаш учун қуйидаги муносабатдан фойдаланилди:

$$k = \max\{(x_{1c} - x_{1a}); (x_{2c} - x_{2a}); \dots; (x_{nc} - x_{na}); \dots; (y_{1c} - y_{1a}); (y_{2c} - y_{2a}); \dots; (y_{mc} - y_{ma})\}.$$

Буғ қиздиргични бошқариш жараёнининг нейрон тўр моделини куриш ва ўқитишда юқоридаги алгоритмлар, шунингдек, дастлабки маълумотлар ноаниқлиги шароитида динамик объектларни норавшан бошқариш қоидаларини ўз ичига олган билимлар базасини шакллантириш норавшан-мантикий адаптив бошқариш тизимини синтезлаш муаммосини самарали ҳал қилига имкон беради.

Диссертациянинг «**Буғ қиздиргичнинг технологик параметрларини норавшан-мантикий бошқариш тизимини алгоритмик синтези**» деб номланган учинчи боби объектнинг динамик хусусиятлари ва ташқи таъсирлари номаълум бўлган буғ қиздиргичнинг технологик параметрларини норавшан-мантикий бошқариш тизимини синтезлаш алгоритмларини ишлаб чиқишга бағишланган. Тадқиқ қилинаётган тизим кўп ўлчовли кўп боғланган тузилишга эга бўлиб, бошқариш тизимининг зарур динамик хусусиятларини ва турғунлигини таъминловчи минимал мураккабликдаги бошқарувчининг тузилишини аниқлаш билан боғлиқ муаммони ҳал этишни сезиларли даражада мураккаблаштиради.

Буғ генерацияси жараёнининг динамик хусусиятлари ҳолат тенгламаси $\bar{x}_1(0) = \bar{D}_1, \bar{x}_2(0) = \bar{D}_2, \dots, \bar{x}_n(0) = \bar{D}_n$, бошланғич шартлар шаклида берилган бўлсин:

$$\frac{d\bar{x}}{dt} = \bar{A} \otimes \bar{x} \oplus \bar{B} \otimes u, \quad \bar{y} = \bar{C} \otimes \bar{x},$$

бу ерда \otimes, \oplus -норавшан операциялар; u -бошқариш сигналлари; $\bar{x} = \{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_i, \dots, \bar{x}_n\}$ -ҳолатлар вектори; $i = 1, 2, \dots, n$;

$\bar{y} = \{\bar{y}_1, \bar{y}_2, \dots, \bar{y}_c, \dots, \bar{y}_l\}$ -бошқарилувчи ўзгарувчилар вектори.

$\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}$ матрица элементлари қуйидаги кўринишда тасвирланган:

$$\bar{A}_1^1 = \left\{ \frac{A_1^1}{\mu_{\bar{A}_1^1}(A_1^1)} \right\}, \dots, \bar{A}^n = \left\{ \frac{A^n}{\mu_{\bar{A}_n}(A_n)} \right\},$$

$$\bar{B}_1^1 = \left\{ \frac{B_1^1}{\mu_{\bar{B}_1^1}(B_1^1)} \right\}, \dots, \bar{B}_n = \left\{ \frac{B_n^n}{\mu_{\bar{B}_n}(B_n^n)} \right\},$$

$$\bar{C}_1^1 = \left\{ \frac{C_1^1}{\mu_{\bar{C}_1^1}(C_1^1)} \right\}, \dots, \bar{C}_n^l = \left\{ \frac{C_n^l}{\mu_{\bar{C}_n^l}(C_n^l)} \right\}.$$

Бунда ўзгарувчи ҳолатлар учун тегишлилик функциялари аналитик шаклда ифодаланеди:

$$\mu_{\bar{x}_i}(x_i) = \varphi(x, a_{\bar{x}_i}, b_{1\bar{x}_i} b_{2\bar{x}_i}, v_{1\bar{x}_i}, v_{2\bar{x}_i}) = (b_{1\bar{x}_i} ((a_{\bar{x}_i} - x))^{v_{1\bar{x}_i}} \frac{\text{sign}(b_{1\bar{x}_i}(a_{\bar{x}_i} - x)) + 1}{2} + (b_{2\bar{x}_i} (a_{\bar{x}_i} - x))^{v_{2\bar{x}_i}} \frac{\text{sign}(b_{2\bar{x}_i}(a_{\bar{x}_i} - x)) + 1}{2} + 1)^{-1},$$

бу ерда $a_{\bar{x}_i}$ -тегишлилик функцияси коэффиценти модаси, $b_{1\bar{x}_i} b_{2\bar{x}_i}$ -тегишлилик функцияси кенгликлари, $v_{1\bar{x}_i}, v_{2\bar{x}_i}$ -тегишлилик функциясининг оси x_i бўйича оғиши.

Бошқариш мақсади сифатида бошқариш объектининг реал ҳаракатлари ҳолат ўзгарувчиларининг ўртача оғишини минималлаштиришдан иборат.

Бошқариш тизимининг синтези белгиланган сифат кўрсаткичларини таъминлайдиган контроллернинг параметрларини созлаш таклиф этилган. Контроллер параметри ўзгартирилган бошқариш қонуни асосида ҳисобланади:

$$u = k_u(t) \cdot u_m(t) + \sum_{i=1}^n k_x^\Sigma(t) \cdot x_i^\Sigma(t),$$

$$\begin{aligned} & k_{x_1}^\Sigma[t+1] k_{x_1}^\Sigma[k] (1 - h\gamma_3) + h(\gamma_5 - \gamma_4) \delta[t] x_1^\Sigma[t] - h\gamma_5 \delta[t+1] x_1^\Sigma[t+1], \\ & k_{x_n}^\Sigma[t+1] k_{x_n}^\Sigma[k] (1 - h\gamma_3) + h(\gamma_5 - \gamma_4) \delta[t] x_n^\Sigma[t] - h\gamma_5 \delta[t+1] x_n^\Sigma[t+1], \\ & k_u[t+1] k_u[k] (1 - h\gamma_1) + h(\gamma_6 - \gamma_2) \delta[t] u_m[t] - h\gamma_6 \delta[t+1] u_m[t+1], \end{aligned}$$

бу ерда $t = mh, h > 0$ –дискретизация қадами, $\gamma = \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_5, \gamma_6$ – контроллернинг созлаш параметрлари; $e_i^\Sigma = \int_{x_i} (x_i - x_{im}) \mu_{\bar{e}_i}(e_i) dx_i$ –хато

сигнали; $\delta[t] = \sum_{i=1}^n k_i^\Sigma$ h_i –ўтиш функцияси қиймати. Бошқариш тизими синтези қуйидаги сифат мезони асосида амалга оширилган:

$$I(\gamma) = K - \sum_{k=1}^K \frac{\mu_{\bar{Q}_k}^f \wedge \mu_{\bar{Q}_k}^{3f}}{\mu_{\bar{Q}_k}^f} \rightarrow \min,$$

бу ерда $\mu_{\bar{Q}_k}^f$ –жараённинг норавшан моделини башоратловчи қийматлари; $\mu_{\bar{Q}_k}^{3f}$ –фойдалилик функцияси.

Бошқариш тизимини синтезлашда таклиф этилган алгоритмни жорий этиш технологик жараёнларни бошқариш муаммоларида ишлаб чиқилган моделларни қўллаш соҳасини кенгайтириш имконини беради.

Коррекциялашда ростлагич параметрларининг қоидалари қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$\text{агар } H(t) > 0, \Delta \leq 0 \forall t \in (0; T), \text{ у ҳолда } T_u^{m+1} = T_u^m - \beta \cdot H(T),$$

$$\text{агар } H(t) \leq 0, \Delta > 0 \forall t \in (0; T), \text{ у ҳолда } T_u^{m+1} = T_u^m - \gamma \cdot \Delta_{\text{дин}}.$$

Ҳисоблаш жараёнини тўхтати учун шартнинг бажарилиши текширилади:

$$|k_p^{n+1} - k_p^n| \leq \varepsilon_1; \dots |T_u^{m+1} - T_u^m| \leq \varepsilon_2,$$

бу ерда n , m —адаптация қадамлари сони; бу ерда T_u^m — m -қадамнинг вақт қиймати; T_u^{m+1} — $m+1$ -қадамдаги вақт қиймати, β ва γ вазн коэффициентлари, $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ —ҳисоблашнинг берилган параметрлари.

Таклиф этилган усулнинг афзаллиги узатиш коэффициентини норавшан коррекциялаш, интеграллаш вақти бўйича интегралнинг оптимал мезонини қидириш билан комбинацияда қўллашдан иборатдир.

Дастлабки маълумотларнинг априор ноаниқлиги шароитида тузилади ва параметрик адаптация усулларига асосланган динамик объектларнинг норавшан-мантиқий бошқариш тизимини синтезлаш алгоритми ишлаб чиқилган. Бошқаришнинг берилган сифат кўрсаткичларини таъминлашга имкон берадиган, бошқаришнинг ортиб бориш ва динамик хатоликларни қўллашга асосланган адаптив ростлагичнинг параметрларини ҳисоблаш нуқтаи назаридан коррекциялаш бўйича юқори самарадорликка эга бўлган алгоритми ишлаб чиқилган.

Диссертациянинг тўртинчи боби «**Буғ қиздиргичларни технологик параметрларини бошқариш масалаларида синтезлаш алгоритмларини қўллаш**» ишлаб чиқилган норавшан-мантиқий моделларни қўллаш натижалари ва буғ қиздиргичнинг муҳим технологик параметрларини, масалан, ҳарорат, босим ва қиздирилган буғ оқими тезлигини синтезлаш масаласини ҳал этиш учун бошқариш алгоритмлари келтирилган. Бунда буғ қиздиргининг ҳарорат режимини бошқариш вазифаси буғ қиздиргичдан чиқишда буғ ҳароратини белгиланган қийматини барқарорлаштириш учун буғ қиздиргичга юбориладиган сув миқдорини ошириш ёки камайтириш орқали амалга оширилади.

Қиздирилган буғ ҳарорати, босим ва қиздирилган буғ сарфи каби буғ қиздиргичнинг энг муҳим технологик параметрлари учун норавшан-мантиқий бошқариш тизимини синтезлаш муаммосини ҳал этиш учун ишлаб чиқилган норавшан-мантиқий моделлар ва бошқариш алгоритмларини қўллашга имкон беради. Бошқаришнинг вазифаси буғ қиздиргичнинг олдиндан белгиланган ҳарорат режимини таъминлашдан иборатдир. Бунда буғ ҳароратини барқарорлаштириш буғ қиздиргичга пуркалаётган сув миқдорини ўзгартириш ҳисобига амалга оширилади.

Бошқариш объектнинг динамик хусусиятлари таҳлили асосида энг муҳим бошқариш канали "пуркалувчи сув сарфи-буғ ҳарорати" канали ҳисобланади. Бунинг сабаби шундаки, бу канал энг юқори кучайтириш коэффициентлар ва энг кичик инертлик билан белгиланади.

Синтезланган тизим бошқариш объекти тўғрисида тўлиқ бўлмаган маълумотлар ва ташқи ғалаёнлар ўзгармаслиги билан вақтинчалик жараёнларнинг берилган сифат кўрсаткичларига мувофиқ бошқариш қийматларининг барқарорлиги таъминланиши керак.

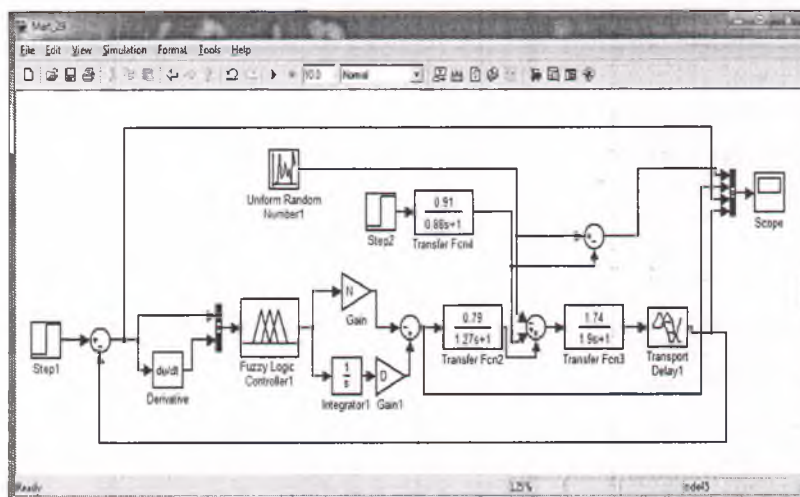
Буғ қиздиргичнинг ҳарорат режими учун ишлаб чиқилган норавшан-мантиқий бошқариш тизимининг робастлик хусусиятларини тадқиқ этиш учун бошқариш жараёнининг имитацион модели ишлаб чиқилган. Ушбу мақсадда норавшан-мантиқий бошқариш тизимининг имитацион моделида (3-расм) ғалаёнли бошқариш каналлари бўйлаб узатиш функциясининг турли қийматлари учун бир қатор ҳисоблаш тажрибалари келтирилган. Бошқариш объектининг иккита канал бўйлаб (узатиш ва ғалаён каналлари бўйлаб) узатиш функциялари куйидаги шаклга эга:

$$W_{F-Y}(p) = \frac{0.91}{(0.68s + 1)}; \quad W_{OY}(p) = \frac{1.39e^{-0.21s}}{(1.27s + 1)(1.9s + 1)}$$

Имитацион моделлаштириш натижалари 3-расмдаги графикда келтирилган. Графикдан кўришиб турибдики, буғ қиздиргич бошқариш объектининг узатиш функцияси параметрларининг доимий қийматлари ва ташқи ғалаён даражаси унинг барқарор ҳолати қийматларининг 60% гача ўзгариши билан бошқариш тизими турғун бўлиб қолади ва ўтиш жараёни ишлаш вақти 14,8 сониядан ошмайди.

Тизимда шовқинли ташқи ғалаён мавжуд бўлганда ва унинг даражаси 1,0 дан 3,0 гача ўзгарганда, шунингдек бошқариш объекти параметрлари 50% гача ўзгарганда, норавшан-мантиқий бошқариш тизими турғунлик хусусиятларини сақлаб қолади. Шу билан бирга, буғ қиздиргичнинг ҳарорат режимини норавшан-мантиқий бошқариш тизимининг сифат характеристикалари етарли диапазонда ўзгаради:

$$t_{\text{буғ қиздиргич}}^{\text{НМБТ}_z} \in [7.31 \div 12.39] \text{сон.}, \quad \zeta_{\text{буғ}}^{\text{НМБТ}} \in [0.01 \div 22]\%$$

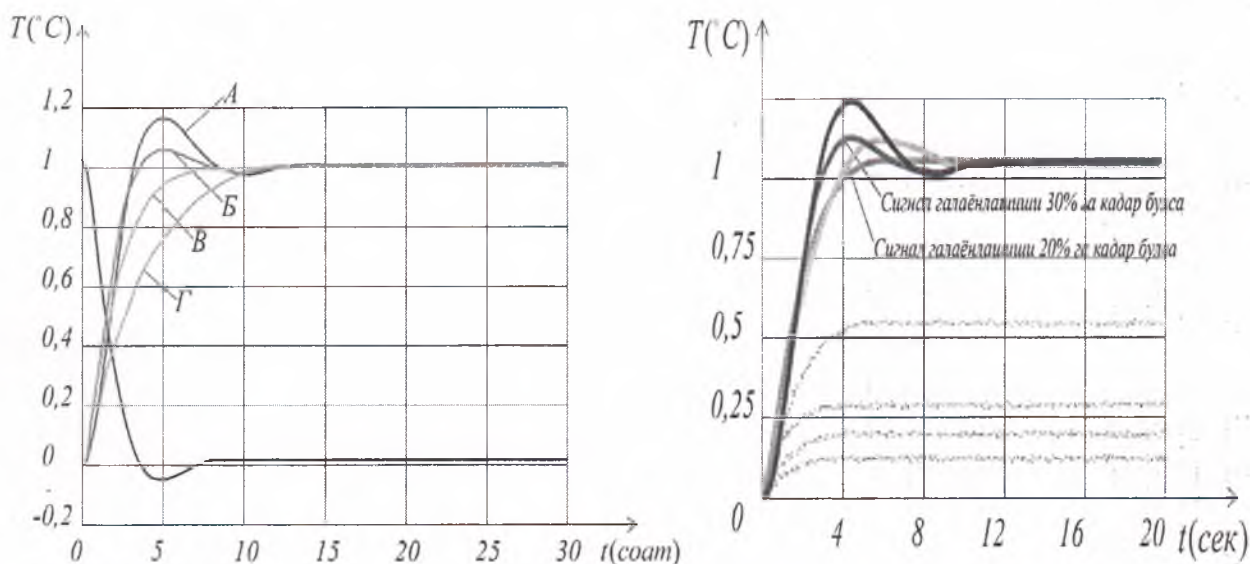


3-расм. Буғ қиздиргичнинг норавшан-мантиқий бошқариш тизими имитацион модели.

Шундай қилиб, олиб борилган ҳисоблаш тажрибалари асосида шуни хулоса қилиш мумкинки, кириш ва чиқиш лингвистик ўзгарувчилар универсалли-гининг робастлиги ва мавжудлиги туфайли норавшан-мантиқий бошқаришга эга бўлган норавшан-мантиқий бошқариш тизими мавжуд.

Бошқариш объекти параметрларининг кенг доирада ўзгариши, шунингдек ташқи ғалаёнли сигнал мавжуд бўлса турғун бўлиб қолади.

Бошқариш объектига таъсир этувчи эҳтимоллик характериға эға ғалаёнлар ва сигнал шовқинлари мавжуд бўлган норавшан-мантиқий бошқариш тизимининг вақтинчалик жараёнларининг графиклари қурилган (4-расм.).



4-расм. Норавшан-мантиқий бошқариш тизими ўтиш жараёнлари.

Бундан ташқари, технологик регламентга мувофиқ мос қийматга нисбатан буғ ҳарорати-30⁰ С га ўзгарганда ва асосий қийматга нисбатан ёқилғи сарфининг ғалаёни 10% га тенг бўлганида синтезланган бошқариш тизимининг динамик хусусиятларини ўрганиш учун имитацион тажрибалар ўтказилди.

Имитация натижалари шуни кўрсатдики, ҳар хил турдаги ғалаёнлар ва шовқинлар мавжуд бўлганда, норавшан-мантиқий бошқариш тизими ўзгарувчиларининг бир ҳолатдан иккинчисига силлиқ ўтишини таъминлайди. Хулоса сифатида шуни айтиш мумкинки, таклиф этилаётган бошқариш тизими ўтиш жараёни вақтини 73% га қисқартириш имконини беради, бу эса буғ ҳароратининг 100 га камайишини таъминлайди, бу эса ёқилғи сарфини 0,2-0,3% га камайишига ва бошқариш сифати аниқлиги ўртача 13% га ошади.

ХУЛОСА

«Иссиқлик энергетикаси объектлари буғ қиздиргичларини норавшан-мантиқий бошқариш алгоритмлари» мавзусидаги диссертация ишида олиб борилган тадқиқот давомида қуйидаги хулосалар шакллантирилди:

1. Буг алмашинуви жараёнининг физик қонунияти ва буғ қиздиргичнинг бошқариш усуллари тизимли таҳлил қилинган, улар асосида жараённинг кўп ўлчовли бошқариш объекти сифатида ахборот-концептуал модели яратилган. Модел самарали бошқариш тизимини яратишнинг оптимал вариантини танлаш имконини беради.

2. Динамик объектларни уларнинг ўзига хос характеристикаларига кўра мавжуд моделлаштириш ва бошқариш ҳолатлари асосида буғ қиздиргичларда буғ алмашинувини бошқариш жараёнининг норавшан-мантиқий ифодаси таклиф қилинган. Ишлаб чиқилган норавшан-мантиқий моделлар эҳтимоллик таснифи ва маълумотларнинг априор ноаниқлиги шароитида нейро-норавшан технологиялар асосида буғ қиздиргич ишининг динамикаси ва буғ алмашинув жараёнини бошқариш алгоритмларини расмий ифодалашга имкон берадилар.

3. Буғ қиздиргични бошқариш жараёнининг нейрон тўр моделини куриш ва ўқитиш алгоритмлари ишлаб чиқилган, шунингдек, норавшан-мантиқий бошқариш қоидаларини ўз ичига олган билимлар базасини шакллантириш дастлабки маълумотларга ноаниқлик юзага келганда динамик объектлар учун тизим норавшан-мантиқий адаптив бошқаришни синтезлаш муаммосини самарали ҳал этишга имкон беради.

4. Нейрон тўрлари ва норавшан мантиқ негизида буғ алмашинув технологик жараёнларини моделларини яратиш усуллари таклиф этилган бўлиб, бошқариш жараёнларини ҳосил қилиш мураккаб бўлган моделларни шакллантиришга имкон берувчи буғ қиздиргич бошқариш жараёнларини интеллектуаллаштиришнинг математик асоси ҳисобланади.

5. Бошқаришнинг берилган сифат кўрсаткичларини таъминлашга имкон берадиган, бошқаришнинг ортиб бориш ва динамик хатоликларни қўллашга асосланган адаптив ростлагичнинг параметрларини ҳисоблаш нуктаи назаридан коррекциялаш бўйича юқори самарадорликка эга бўлган алгоритми ишлаб чиқилган.

6. Турли ноаниқликлар мавжуд бўлганда адаптив хусусиятларга эга бўлган норавшан-мантиқий хулосанинг тезкор алгоритми таклиф қилинган бўлиб, бўш ечимлар ва ноль соҳаларни олиб ташлаш ҳисобига ўқитиш жараёнидаги хатоликларни 8 дан 1 %гача камайтиришга имкон беради.

7. Адаптив нейро-норавшан бошқариш тизимини юзалар фарқи усулини қўллаб, юмшоқ арифметик амалларга асосланган ўқитиш алгоритми ишлаб чиқилган.

8. Ташқи таъсирларнинг ноаниқлиги ва технологик чекловлар шароитида буғ қиздиргич технологик параметрларини норавшан-мантиқий бошқариш тизимининг имитацион моделлаштиришнинг дастурий мажмуаси ишлаб чиқилди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.13/30.12.2019.Т.07.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РАЗВИТИЯ
ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

БАХРИЕВА ХУРШИДА АСКАРХОДЖАЕВНА

**АЛГОРИТМЫ НЕЧЕТКО-ЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЕЙ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ**

05.01.02 – Системный анализ, управление и обработка информации

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

Ташкент – 2022

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2020.3.PhD/T702.

Диссертация выполнена в научно-исследовательском институте развития цифровых технологий и искусственного интеллекта.

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

Научный руководитель: Сиддиков Исамиддин Хакимович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Кабулов Анвар Васильевич
доктор технических наук, профессор

Арифжанов Абдулла Шамхатович
кандидат технических наук, старший научный сотрудник

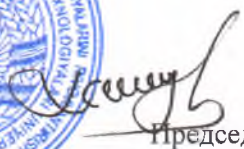
Ведущая организация: Ферганский политехнический институт

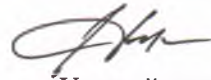
Защита диссертации состоится « 28 » января 2022 г. в 14⁰⁰ часов на заседании научного совета DSc.13/30.12.2019.T.07.01 при Ташкентском университете информационных технологий имени Мухаммад ал-Хоразми. (Адрес: 100202, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-43, факс: (99871) 238-65-52, e-mail: tuit@tuit.uz).


С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммад ал-Хоразми (регистрационный номер № 240). Адрес: 100202, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-65-44.

Автореферат диссертации разослан « 15 » января 2022 г.
(протокол рассылки № 51 « 30 » декабря 2021 г.).




Р.Х. Хамдамов
Председатель научного совета
по присуждению ученых степеней, доктор
технических наук, профессор


Ф.М. Нуралиев
Ученый секретарь научного совета
по присуждению ученых степеней, доктор
технических наук, доцент


А. В. Кабулов
Председатель научного семинара при научном
совете по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время, одной из актуальных задач в теплоэнергетике во всем мире, является уменьшения расхода энергоресурсов в процессе производства электроэнергии. Эффективное решение этой задачи во многом определяется от используемых наукоемких технологий в задачах управления технологическими параметрами агрегатов теплоэнергетических объектов. В этом направлении в развитых странах мира, в частности США, Германия, Российская Федерация, Великобритания, Япония и т.д. проводятся широкомасштабные исследования, имеющие важные научные и практические значения.

В мире создаются научные основы создания автоматизированных систем управления на базе современных методов, направленные на проектирования системы управления электроэнергетических объектов и процессов. В связи с этим, особое значение приобретает научное обоснование методов и алгоритмов построения моделей управления технологическими процессами электро-энергетических объектов. Однако при производстве электроэнергии на теплоэлектростанциях имеют место потери энергии, связанные с неравномерного изменения тепловой нагрузки, неопределенности свойства объекта управления и наличие множества неконтролируемых возмущений. Все это приводит к ужесточению требований к системам управления агрегатами теплоэнергетических объектов и обуславливают совершенствование моделей и алгоритмов управления динамическими объектами с учётом неопределенности информации.

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 пароперегревателя в условиях неопределенности с учетом различных видов режимных и технологических ограничений с применением энергосберегающих технологий является актуальной задачей. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан определены задачи, в частности «...широкое внедрение энергосберегающих технологий в производство,...внедрение информационно-коммуникационных технологий в экономику, системы управления»². В этом аспекте одним из важных задач являются повышение энерго эффективности 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-4947 от 7 февраля 2017 года, «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», постановлениями

² Указ Президента Республики Узбекистан «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» ПФ-4947 от февраля 2017 года.

Президента № ПП-4249 от 29 марта 2019 года «О стратегии дальнейшего развития и реформирования электроэнергетической отрасли», № ПП-4779 от 10 июля 2020 года «О дополнительных мерах по сокращению зависимости отраслей экономики от топливно-энергетической продукции путем повышения энерго-эффективности экономики и задействования имеющихся ресурсов», и от 19 февраля 2018 года №УП-5349 «О мерах по дальнейшему совершенствованию информационных технологий и связи», 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. «Информатизация и развитие информационно-коммуникационных технологий».

Степень изученности проблемы. Научные исследования в направлении развития методов и алгоритмов оптимизации режимов электроэнергетических систем при различных характерах используемой исходной информации большой вклад в развитии методов и алгоритмов расчета и оптимизации режимов электроэнергетических систем внесли зарубежные и отечественные ученые как С.А.Совалов, Ю.Н.Руденко, В.А.Семенова, В.И.Воропай, Д.А.Арзамасцева, А.В.Лыкина, В.М.Гонштейна, Е.В.Цветкова, Г.Б.Левенталь, Л.С.Попырина, А.И.Андрюшенко, В.А.Иванова, Г.П.Плетнева, Э.К.Аракеяна, В.Я.Ротача и отечественные ученые как Х.Ф.Фазылова, Т.Х.Насирова, К.Р.Аллаева, Д.А.Абдуллаева, В.К.Соколова, Р.А.Зохидова, М.З.Хамудханова, Т.С.Камалова, Э.П.Пайзиева и многие другие.

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 таких как Р.А.Алиев, А.Пиегат, М.Сугено, Л.А.Заде, С.Н.Васильева, Н.Н.Вострикова, К.А.Пупкова и учёных республики М.М.Арипова, Т.Ф.Бекмуратова, Х.З.Игамбердиева, Н.Р.Юсупбекова, Ш.М.Гулямова, М.М.Камилова, А.Р.Марахимова, Д.Т.Мухамедиевой, Р.Н.Усманова, И.Х.Сиддикова, М.А.Исмаилова и многие другие.

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 неопределённости информации. В связи с вышеизложенным, возникает необходимость дальнейшего совершенствования и создания высокоэффективных алгоритмов синтеза, системы управления технологических агрегатов с применением методов интеллектуальных технологий, позволяющая учесть вероятности изменения внешних воздействий и режимов работы агрегатов теплоэнергетических объектов.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где

выполнено диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках проектов плана научно-исследовательской работы Ташкентского государственного технического университета и Ташкентского университета информационных технологий по темам: А-5-42-«Программно-инструментальные средства интеллектуализации автоматизированного мониторинга и управления технологическими объектами в условиях априорной неопределенности» (2015-2017); №Ф4-002 «Теоретико-методологические основы разработки специализированных систем обработки сложных сигналов на основе бикубических сплайнов» (2017-2019).

Цель исследования разработка алгоритмов управления технологическими параметрами пароперегревателя с применением методов нейро-нечеткой технологий, позволяющие повысить эффективность функционирования системы управления.

Задачи исследования:

разработка информационно-концептуальной модели управления температурным режимом пароперегревателя;

разработка нечетко-логических моделей пароперегревателя в условиях вероятностного характера и частности неопределенности информации;

разработка алгоритма конструирования нечетко-логических моделей управления технологическими параметрами пароперегревателя;

программная реализация системы имитационного моделирования нечетко-логической системы управления режимами работы пароперегревателя.

Объектом исследования являются системы управления технологическими параметрами пароперегревателя.

Предметом исследования являются методы, модели и алгоритмы нечетко-логического управления технологическими параметрами пароперегревателей котельного агрегата.

Методы исследования. Применены методы системного анализа, теория управления и моделирования, теории интеллектуального управления, теория матриц, методы теории дифференциального уравнения.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана информационно-концептуальная модель теплообменного процесса, характеризующая динамические свойства, системные связи и закономерности функционирования пароперегревателя;

разработан алгоритм конструирования нечетко-логических моделей управления динамических объектов, базирующие на применение методов автоматического и интеллектуального управления;

разработаны алгоритмы управления и стабилизации технологических параметров пароперегревателя, в условиях неопределенности информации с учетом технологических ограничений;

разработан алгоритм синтеза нечетко-логической адаптивной системы управления на основе методов интерактивной адаптации и разности площадей.

Практические результаты исследования заключается в следующем:

разработана функциональная схема нечетко-логической системы управления технологическими параметрами пароперегревателя, электро-энергетических объектов;

предложен качественно новый подход к созданию нечетко-логической системы управления технологическими параметрами пароперегревателя, оптимизирующий технологических процессов за счёт адаптации параметров регулятора.

разработан программный комплекс имитационного моделирования системы управления технологическими параметрами пароперегревателя, позволяющий анализировать, прогнозировать его поведение и принять управленческих решений при различных производственных ситуациях.

Достоверность результатов исследования обеспечивается выполнением методически обоснованных теоретических концепций интеллектуального управления динамическими объектами на основе теории нечетких множеств, нейронных сетей; использованием апробированных методов современной теории управления; полученными результатами теоретических и прикладных исследований и их взаимной согласованностью.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость характеризуется разработанными нейро-нечеткими моделями и алгоритмами синтеза нечетко-логической системы управления динамических объектов, функционирующих в условиях вероятностного характера и частичной неопределенности исходной информации с учетом режимных и технологических ограничений.

Практическая значимость заключается в математическом и алгоритмическом обеспечении задачи синтеза нечетко-логической системы регулирования технологических параметров динамических объектов в условиях неопределенности, внешней среды и свойств объекта, позволяющие снизить энергозатраты за счет поддержания оптимальных режимов работы пароперегревателя.

Внедрение результатов исследования. Программный комплекс, разработанный на основе алгоритмов управления и стабилизации технологических параметров пароперегревателя с учетом технологических ограничений в условиях неопределенности, внедрен в АО «Ташкентской теплоэнергетической станции» (Справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций № 33- 8/6990 от 5 октября 2021г.). Проведенное исследование позволило минимизировать запасы энергии и повысить точность регулирования в среднем на 13 % с помощью программы нечетко-логического регулятора, оптимизирующего управление технологическими параметрами пароперегревателя и коэффициента нечетко-адаптивного регулятора.

Апробация результатов исследования. Всего результаты данного исследования обсуждались на 16 конференциях из них 6 международных и 10 республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. Основные результаты исследования опубликованы в 7 научных работах, 1 монография, 6 из них опубликованы в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, в том числе 2 в зарубежных журналах Scopus, а также получены 3 свидетельства об официальной регистрации программ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводы по главам, заключения, список использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 113 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность научных исследований, цели и задачи, охарактеризованы объект и предмет исследования; показано соответствие развития науки и приоритетным направлениям, описаны научная новизна и практические результаты, раскрыты научные и практические значения работы, приведены сведения по внедрению результатов исследования в практику, опубликованы труды и информация о структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Современное состояние проблемы управления пароперегревателя»** рассмотрены вопросы системного анализа и особенности управления технологическим процессом температурного режима пароперегревателя как объект управления, особенности процесса управления пароперегревателей. Произведен системный анализ современного состояния температурным режимом пароперегревателя, с целью определения основных факторов, влияющих на эффективность процесса управления технологическими параметрами пароперегревателя.

Пароперегреватели, предназначены для генерации насыщенного или перегретого пара высокого давления, который приводит в движение турбину. Технологические процессы, протекающие, в пароперегревателе характеризуются непрерывностью и сложностью. Наиболее важными регулируемыми параметрами пароперегревателя являются стабилизация расхода, давление и температуры перегретого пара которые, являются переменной величиной, что требует поддерживать их значения вблизи технологического регламента с учетом допустимых отклонений. Неопределенность и динамический характер факторов, действующих в системе, существенно затрудняет процесс управления.

Для создания высокоэффективной системы управления необходимо изучить особенности процесса управления перегретым паром в пароперегревателе с учётом неопределённости его динамических свойств. Для решения этой задачи разработана математическая модель процесса парообразования в пароперегревателя с учётом физических свойств процесса теплообмена:

$$\left. \begin{aligned} F_{\Pi} c_{\Pi} (T_{\Pi_ВЫХ} - T_{\Pi_ВХ}) + G_{\Pi} c_{\Pi} \frac{\partial T_{\Pi_ВЫХ}}{\partial \tau} - G_{\Pi} c_{\Pi} K_p \frac{\partial p}{\partial \tau} &= a_{\Pi} N_{\Pi} (T_M - T_{\Pi_ВЫХ}); \\ a_{дг} N_H (T_{дг} - T_M) - a_{\Pi} N_{\Pi} (T_M - T_{\Pi_ВЫХ}) &= G_M c_M \frac{\partial T_M}{\partial \tau}; \\ F_{дг} c_{дг} (T_{дг_ВХ} - T_{дг_ВЫХ}) &= a_{дг} N_H (T_{дг} - T_M), \end{aligned} \right\} (1)$$

здесь, a_{Π} – коэффициент теплоотдачи; G_{Π} – расход перегретого пара; c_{Π} – удельная теплоёмкость перегретого пара; $T_{\Pi_ВЫХ}$, $T_{\Pi_ВХ}$ – температура перегретого пара на входе и выходе пароперегревателя; G_{Π} – масса пара внутри пароперегревателя; $a_{дг}$ – коэффициент теплоотдачи перегретого пара; $T_{дг_ВХ}$, $T_{дг_ВЫХ}$ – температуры дымовых газов на входе и выходе пароперегревателя; N_{Π} , N_H – внутренняя и внешняя поверхности нагревательных труб; T_M – температура кожуха; $a_{дг}$ – коэффициент теплоотдачи дымовых газов; p – давление пара на выходе; $T_{дг}$ – температура дымовых газов; G_M – масса пара в трубопроводе; $F_{дг}$ – расход дымовых газов; $c_{дг}$ – удельная теплоёмкость дымовых газов; c_M – удельная теплоёмкость кожуха.

Решение системы уравнений (1) относительно на изменения температуры пара при начальных условиях $T_{\Pi_ВЫХ}(0) = 100, C^0$; $T_{дг_ВХ}(0) = 12450, C^0$; $F_{\Pi_ВХ}(0) = 0$ т/с; $F_{дг_ВХ}(0) = 1230, M^3/с$; $P_{пар}(0) = 0$, имеет следующий вид:

$$\Delta T_{\Pi} = W_{T_{\Pi_ВЫХ} T_{\Pi_ВХ}}(\tau) * \Delta T_{\Pi_ВХ}(\tau) + W_{T_{\Pi_ВЫХ} T_{дг_ВХ}}(\tau) * \Delta T_{дг_ВХ}(\tau) + W_{T_{\Pi_ВЫХ} F_{\Pi_ВХ}}(\tau) * \Delta F_{\Pi_ВХ}(\tau) + W_{T_{\Pi_ВЫХ} F_{дг_ВХ}}(\tau) * \Delta F_{дг_ВХ}(\tau),$$

где $W_{T_{\Pi_ВЫХ} T_{\Pi_ВХ}}$ – динамические характеристики изменения температуры пара на входе и выходе пароперегревателя; $W_{T_{\Pi_ВЫХ} T_{дг_ВХ}}(\tau)$ – функция времени показывающие изменения температуры пара от расхода дымовых газов; $W_{T_{\Pi_ВЫХ} F_{\Pi_ВХ}}(\tau)$ – динамические свойства канала связи между температурой перегретого пара и расходом пара пароперегревателя; $W_{T_{\Pi_ВЫХ} F_{дг_ВХ}}(\tau)$ – расход дымовых газов на входе в пароперегреватель, соответственно; $\Delta T_{\Pi_ВХ}(\tau)$; $\Delta T_{дг_ВХ}(\tau)$, $\Delta F_{\Pi_ВХ}(\tau)$, $\Delta F_{дг_ВХ}(\tau)$ – изменяющиеся параметры пароперегревателя в процессе его функционирования.

Следует отметить что характер изменения вышеуказанных параметров имеет свойства неопределенности и вероятности, что обуславливает применения методов интеллектуальных технологий для решения поставленной задачи. Эти методы позволяют преодолеть трудности связанные, с изменчивостью внешних воздействий и динамических свойств пароперегревателя. Отмеченные обстоятельства указывают на необходимость создания алгоритмов синтеза нечетко-логической системы управления пароперегревателем на основе интеллектуальных технологий.

Вышеизложенные выводы обусловили постановку цели настоящей диссертационной работы, посвященной разработке алгоритмов нечетко-логической системы управления технологическими объектами на основе

нейро-нечеткой технологии и их применении при решении задач автоматизации и управления теплоэнергетическими процессами.

Во второй главе диссертации «Разработка нечетко-логической модели процесса управления пароперегревателем» рассмотрены разработка нечетко-логической модели процесса управления пароперегревателем.

На основе анализа динамических свойств пароперегревателя, разработана информационно-концептуальная модель пароперегревателя, включающая информацию о технологических параметрах и динамике их изменения, необходимых для реализации системы управления и служит для определения динамических свойств объекта и является отправной точкой для создания высокоэффективной системы управления процессами, протекающих в пароперегревателях, а также других влияющих факторов к процессу (температура и давления пара) (рис.1.).

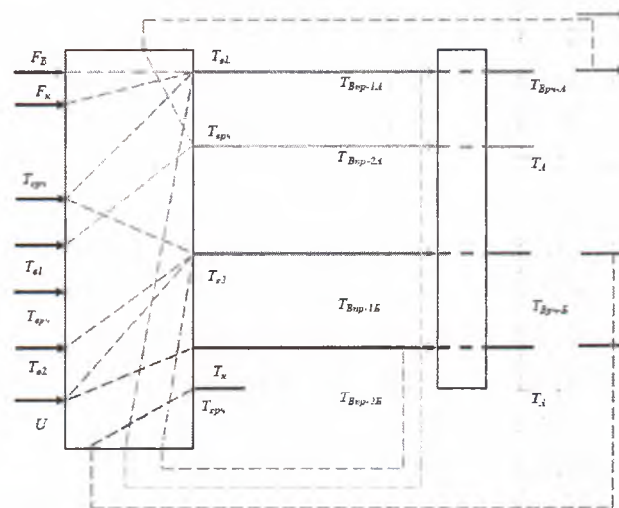


Рис.1. Информационно-концептуальная модель пароперегревателя.

В теоретико-множественном подходе взаимосвязь переменных представляется в следующем виде: $ПУ = \{U_{кир}, U_{чик}\}$, здесь $U_{кир} = \{F_b, F_k, T_{срч}, T_{в1}, T_{врч}, T_{в2}, U\}$; $X = \{T_{в1}, T_{врч}, T_{в2}, T_k, T_{срч}\}$; $U_{чик} = \{T_{врч-А}, T_A, T_B, T_A\}$.

В качестве входящих параметров пароперегревателя выбраны следующие: F_b -расход воды 1-впрыска, F_k -расход воды котла, T_k -расход топлива, U - канал «пылепитателей групп 1,2,3». В качестве выходящих параметров пароперегревателя выбраны следующие: $T_{в1}$ -температура пара для ВРЧ-А, $T_{срч}$ -температура пара для СРЧ, $T_{врч-А}$ -температура пара для ВРЧ-А, $T_{врч-Б}$ - температура пара для ВРЧ-Б, $T_{в2}$ -температура пара для впрыска 2.

Наиболее адекватным к решаемым задачам является применения методов теории нечетких множеств. При таком подходе динамика системы управления можно представить уравнением состояния:

$$x_{k+1} = F(x_k, u_k), k = \overline{0, N}, x_k \in X, u_k \in U,$$

где X –переменные пространств состояний, U –переменные множеств управлений, F –нелинейная переходная функция состояния.

При невозможности прямого измерения всего вектора x_k текущего состояния системы, процесс косвенного наблюдения описывается уравнением

$$z_k = H(x_k),$$

в систему рекуррентных уравнений где z_k – нечеткий вектор замеров; $H - z_k = Hx_k$ - функция измерений.

Предложенный способ является основой для формирования нейросетевых моделей динамических процессов протекающих в пароперегревателях функционирующих в условиях неопределенности.

Разработанная модель является основой создания нечетко-логической адаптивной системы управления температурным режимом пароперегревателя в соответствии с технологическом регламентом (рис.2.).

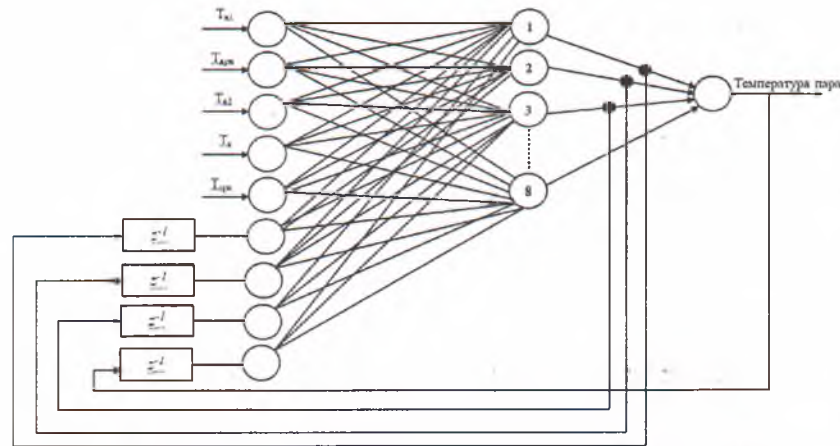


Рисунок 2. Нейросетевая модель пароперегревателя.

С помощью созданной нейросетевой моделью пароперегревателя имеется возможность обеспечения устойчивости температуры перегретого пара в теплоэнергетических агрегатах, которая приводит к движению турбины. При использовании нейронных сетей важным является выбор структуры нейронной сети, который осуществляется в соответствии со спецификой и сложностью поставленной задачи. Для обучения сети предложена алгоритм, основанный на теории интерактивной адаптации, сущность которого заключается в вычислении ошибки $E_k(i) = 0.5(u * (i) - u_k(d_k, x_k * (i)))^2$ неявным образом. При использовании; алгоритма интерактивной адаптации система разбивается на N -подсистем, каждый из которых имеет интегрируемый выходной сигнал Y_n и интегрируемый входной сигнал X_n , отношение между ними представляется в виде функциональной зависимости:

$$F_n: X_n \rightarrow Y_n, y_i(t) = F[x_n(t)]_i, n = 1, 2, \dots, N.$$

Взаимодействие между элементами и внешним сигналом $u_i(t)$ линейно и описывается уравнением:

$$x_i(t) = u_i(t) + \sum_{K \in J_i} \alpha_K \cdot y_i(t), i \in N.$$

Тогда веса связей α_K настраиваются по следующему правилу:

$$\alpha_K = F_{\text{вхк}}[x_{\text{вхк}}] \left(\frac{y_{\text{выхк}}}{y_{\text{вхк}}} \right) \sum_{K \in J_i} \alpha_S \cdot \alpha_S - \gamma \cdot F_{\text{вхк}}[x_{\text{вхк}}] \cdot y_{\text{выхк}} \cdot \frac{\delta E}{\delta y_{\text{выхк}}},$$

где $\gamma > 0$ -коэффициент, определяющий скорость обучения; $F_{\text{вхк}}[x_{\text{вхк}}]$ -производная Фреше; E -функция потерь (ошибка) $K \in K$.

Известно, что динамические свойства исследуемого объекта, а также количество входных воздействий приводят к увеличению число заключений нечетко-логического вывода в геометрической прогрессии и к снижению точности и быстродействия обучения нейросетевых моделей. Для устранения этих недостатков предложено использование мягких арифметических вычислений. При использовании мягких арифметических вычислений в заключениях нечетко-логического вывода мягкий минимум и мягкий максимум определяются следующим образом:

Мягкий минимум:

$$\min_{\delta}(x_1, x_2)_I = \frac{x_1 + x_2 + \delta^2 + \sqrt{(x_1 + x_2)^2 + \delta^2}}{2}.$$

Мягкий максимум:

$$\text{soft} - \max(x_1, x_2) = |\gamma \cdot \max(x_1, x_2) + 0,5(1 - \gamma)(x_1 + x_2)|.$$

Шаг обучения δ нейросетевой модели выбирается равным 0,02, а $\gamma = 0,7$.

Операция дефаззификации выходного сигнала выполняется методом разности площадей. При этом площадь функции принадлежности имеющие трапециевидных форм определяется по формуле:

$$S = \frac{h}{6} (b_1 + 4b_2 + b_3),$$

где h -высота трапеции; b_1, b_2, b_3 -нижнего, среднего и верхнего основания трапеции. При использовании данного метода отпадает необходимость в операциях усечения термов выходной функции принадлежности. В отличие от классических при использовании метода разности площадей нет необходимости выполнения операции объединения усеченных термов выходной функции принадлежности. Операция усечение термов определяется следующим образом:

$$\mu(y)_i' = \text{soft}_{\frac{n}{i=1}} \min(y_i'; \mu(y_i)).$$

С помощью данного соотношения выполняется дефаззификация сигнала управления:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n y \cdot \bar{y}_{ib}}{\sum_{i=1}^n y}.$$

Выходная величина нечетко-логического вывода определяется по формуле:

$$y_{\text{defuz}} = [D \cdot (y_{\text{кон}} - y_{\text{нач}})] + y_{\text{нач}},$$

где $y_{\text{кон}}$ и $y_{\text{нач}}$ конечное и начальное значение диапазона величин выходной переменной.

Коррекция усеченных площадей величин выходных термов определялась следующим образом:

$$y_{\text{вых}} = (w)_i + \delta(y_{\text{defuz}} - y_{\text{этал}}).$$

Разработан алгоритм обучения адаптивной нейро-нечеткой системы, использующий мягкие арифметические операции нахождения максимума и минимума, основанные на методе разности площадей, при формировании матрицы нечетких отношений, позволяющие сократить количество заключений равных числу термов выходной функции принадлежности.

На основе этих процедур осуществляется формирование база знаний нечетко-логической системы управления пароперегревателя которое состоит из 2-этапов. При этом в качестве входных величин взяты: x_1 -расход воды; x_2 -расход пара, а в качестве выходной величины температура пара. На первом этапе выбирается формы функция принадлежности и диапазон изменения входных и выходных переменных, соответствующие к технологическому регламенту:

$$x_1 = [x_{\min}, x_{\max}]; x_2 = [x_{\min}, x_{\max}]; \text{ и } y_1 = [y_{\min}, y_{\max}]; y_2 = [y_{\min}, y_{\max}].$$

Каждый диапазон изменения входных сигналов разделяется на 3 термов $x_1 = \{x_{11}, x_{12}, x_{13}\}$ и $x_2 = \{x_{21}, x_{22}, x_{23}\}$.

Выходные величины состоит из $y = \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5\}$ 5 термов. На основе этого используя операции нечеткого минимума, для каждого На основе этого было построено следующее правило нечеткого управления для каждой пары обучаемых данных с использованием операции нечеткого минимума:

$$\begin{aligned} \text{НПУ}_1: & \text{Если}(x_{11} \text{ есть } x_1 \text{ Если } x_{11} \text{ есть } \rightarrow x_2 < x_1 \vee x_2 >) \text{ И} \\ & (x_{21} \text{ есть } x_2 \text{ Если } x_{21} \text{ есть } \rightarrow x_2 < x_{21} \vee x_2 >) \\ & \text{то } (y_{11} \text{ есть } y_7 \text{ Если } y_{11} \text{ есть } y_6 < y_7 \vee y_6 \rightarrow); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{НПУ}_2: & \text{Если}(x_{12} \text{ есть } x_2 \text{ Если } x_{12} \text{ есть } \rightarrow x_3 < x_2 \vee x_3 >) \text{ И} \\ & (y_{12} \text{ есть } y_2 \text{ Если } y_{12} \text{ есть } \rightarrow y_3 < y_2 \vee y_3 >) \\ & \text{то } (y_{12} \text{ есть } y_6 \text{ Если } y_{12} \text{ есть } y_5 < y_6 \vee y_5 \rightarrow). \end{aligned}$$

Здесь:

$$\begin{aligned} \text{НПУ}_1: \{ x_{11} \wedge x_{21} \rightarrow y_{11} \} = \{ x_{11} [\vee (0,7; 0,2)] < x_1 \vee x_2 > \\ \wedge x [\vee (0,53; 0,2)] < x_{21} \vee x_{22} > \rightarrow y_{11} [\vee (0,8; 0,2)] < y_7 \vee y_6 > \} = \\ \{ x_{11} [0,7] < x_1 > \wedge x_{21} [0,53] < x_{21} > \rightarrow y_{11} [0,8] < y_7 > \}, \end{aligned}$$

Эти данные записывается в виде матрицы, размер которой зависит от количества термов входных величин. Размер матрицы для рассматриваемого объекта 3×3 . Следующее соотношение использовалось для расчета количества слоев матрицы:

$$k = \max\{(x_{1c} - x_{1a}); (x_{2c} - x_{2a}); \dots; (x_{nc} - x_{na}); \dots; (y_{1c} - y_{1a}); (y_{2c} - y_{2a}); \dots; (y_{mc} - y_{ma})\}.$$

Приведенные алгоритмы построения и обучения нейросетевой модели процесса управления пароперегревателем, а также формирование база знаний включающая правила нечеткого управления позволяет эффективно решать задачу синтеза нечетко-логической адаптивной системы управления динамическими объектами в случае неопределенности исходных данных.

Третья глава диссертации «Алгоритмический синтез нечетко-логической системы управления технологических параметров пароперегревателя» посвящена разработке алгоритмов синтеза нечетко-логической системы управления технологических параметров пароперегревателя при неизвестности динамических свойств объекта и внешних воздействий.

Исследуемая система имеет многомерную многосвязную структуру, что существенно усложняет решения задачи, связанные с определением структуры регулятора с минимальной сложностью, обеспечивающие требуемые динамические свойства и устойчивость системы управления.

Пусть динамические свойства процесс пароперегрева представлены в виде уравнения состояний:

$$\frac{dx}{dt} = \bar{A} \otimes \bar{x} \oplus \bar{B} \otimes u, \quad \bar{y} = \bar{C} \otimes \bar{x},$$

При следующих начальных условиях $\bar{x}_1(0) = \bar{D}_1, \bar{x}_2(0) = \bar{D}_2, \dots, \bar{x}_n(0) = \bar{D}_n$, где \otimes, \oplus - нечеткие операции; u - управляющие сигналы, $\bar{x} = \{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_i, \dots, \bar{x}_n\}$ - вектор состояний, $i = 1, 2, \dots, n$; $\bar{y} = \{\bar{y}_1, \bar{y}_2, \dots, \bar{y}_c, \dots, \bar{y}_l\}$ - вектор управляемых переменных.

Элементы матрицы $\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}$ представлены в виде:

$$\begin{aligned} \bar{A}_1^1 &= \left\{ \frac{A_1^1}{\mu_{\bar{A}_1^1}(A_1^1)} \right\}, \dots, \bar{A}^n = \left\{ \frac{A^n}{\mu_{\bar{A}^n}(A^n)} \right\}, \\ \bar{B}_1^1 &= \left\{ \frac{B_1^1}{\mu_{\bar{B}_1^1}(B_1^1)} \right\}, \dots, \bar{B}^n = \left\{ \frac{B_n^n}{\mu_{\bar{B}^n}(B_n^n)} \right\}, \\ \bar{C}_1^1 &= \left\{ \frac{C_1^1}{\mu_{\bar{C}_1^1}(C_1^1)} \right\}, \dots, \bar{C}_n^l = \left\{ \frac{C_n^l}{\mu_{\bar{C}_n^l}(C_n^l)} \right\}. \end{aligned}$$

При этом функции принадлежности для переменных состояний представляется в аналитической форме:

$$\mu_{\bar{x}_i}(x_i) = \varphi(x, a_{\bar{x}_i}, b_{1\bar{x}_i}, b_{2\bar{x}_i}, v_{1\bar{x}_i}, v_{2\bar{x}_i}) = (b_{1\bar{x}_i}((a_{\bar{x}_i} - x))^{v_{1\bar{x}_i}}$$

$$\frac{\text{sign}(b_{1\bar{x}_i}(a_{\bar{x}_i}-x))^{+1}}{2} + (b_{2\bar{x}_i}(a_{\bar{x}_i}-x))^{v_{2\bar{x}_i}} \frac{\text{sign}(b_{2\bar{x}_i}(a_{\bar{x}_i}-x))^{+1}}{2} + 1)^{-1},$$

где $a_{\bar{x}_i}$ -коэффициент моду функции принадлежности, $b_{1\bar{x}_i}b_{2\bar{x}_i}$,-ширины функции принадлежности, $v_{1\bar{x}_i}, v_{2\bar{x}_i}$ -наклон функции принадлежности к оси x_i .

В качестве цели управления был выбран минимизация среднего отклонения переменных состояния реального поведения объекта управления.

Синтез системы управления осуществляется настройкой параметров регулятора обеспечивающий заданных показателей качества. Расчет параметра регулятора осуществляется на базе модифицированного закона управления:

$$u = k_u(t) \cdot u_m(t) + \sum_{i=1}^n k_x^\Sigma(t) \cdot x_i^\Sigma(t),$$

$$\begin{aligned} k_{x_1}^\Sigma[t+1]k_{x_1}^\Sigma[k](1-h\gamma_3) + h(\gamma_5-\gamma_4)\delta[t]x_1^\Sigma[t] - h\gamma_5\delta[t+1]x_1^\Sigma[t+1], \\ k_{x_n}^\Sigma[t+1]k_{x_n}^\Sigma[k](1-h\gamma_3) + h(\gamma_5-\gamma_4)\delta[t]x_n^\Sigma[t] - h\gamma_5\delta[t+1]x_n^\Sigma[t+1], \\ k_u[t+1]k_u[k](1-h\gamma_1) + h(\gamma_6-\gamma_2)\delta[t]u_m[t] - h\gamma_6\delta[t+1]u_m[t+1], \end{aligned}$$

где $t = mh, h > 0$ -шаг дискретизации, $\gamma = \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_5, \gamma_6$ -настроечные параметры регулятора; $e_i^\Sigma = \int_{X_i} (x_i - x_{iM})\mu_{\bar{e}_i}(e_i)dx_i$ -сигнал ошибки; $\delta[t] = \sum_{i=1}^n k_i^\Sigma h_i$ -значения переходной функции. Синтез системы

управления осуществлен на основе следующего критерия качества:

$$I(\gamma) = K - \sum_{k=1}^K \frac{\mu_{\bar{Q}_k}^{\int} \wedge \mu_{\bar{Q}_k}^{3\int}}{\mu_{\bar{Q}_k}^{\int}} \rightarrow \min,$$

где $\mu_{\bar{Q}_k}^{\int}$ -прогнозируемые значения нечеткой модели процесса, $\mu_{\bar{Q}_k}^{3\int}$ - функцию полезности.

Внедрения предложенного алгоритма синтеза системы управления дает возможность расширить область применения разработанных моделей в задачах управления технологическими процессами при наличии широкого спектра возмущений.

Параметров закона регулирования, при коррекции пишется в следующем виде:

$$\text{если } H(t) > 0, \Delta \leq 0 \forall t \in (0; T), \text{ то } T_u^{m+1} = T_u^m - \beta \cdot H(T),$$

$$\text{если } H(t) \leq 0, \Delta > 0 \forall t \in (0; T), \text{ то } T_u^{m+1} = T_u^m - \gamma \cdot \Delta_{\text{дин}}.$$

Здесь $h(t)$ значение переходной функции объекта управления, $\Delta_{\text{дин}}$ - отклонение скоростной ошибки, Δ - отклонение переменных в статическом режиме, $T_{\text{и}}^m$ - время интегрирования, β и γ весовые коэффициенты.

Предложенный способ решения задачи заключается в нечеткой коррекции коэффициента передачи в комбинации с поисковой оптимизацией интегрального критерия по времени интегрирования.

Разработан алгоритм синтеза нечетко-логической системы управления динамических объектов, основанный на структурной и параметрической адаптации, при условиях априорной неопределенности исходной информации. Разработан высокоэффективный, в вычислительном отношении алгоритм коррекции параметров адаптивного регулятора, основанный на использовании скорости нарастания и динамической ошибки управления, позволяющий обеспечить заданные показатели качества регулирования.

Четвертая глава диссертации «**Применение алгоритмов синтеза в задачах управления технологическими параметрами пароперегревателей**» приведены результаты применения разработанных нечетко-логических моделей и алгоритмов управления для решения задачи синтеза нечетко-логической системы управления наиболее существенными технологическими параметрами пароперегревателя, таких как температура, давления и расход перегретого пара.

Задача управления заключается в обеспечении заданного температурного режима пароперегревателя. При этом стабилизация температуры пара осуществляется за счет изменения количество впрыскиваемой в парохладитель воды.

На основе анализа динамических свойств объекта управления в качестве наиболее значимым каналом управления является канал «расход впрыска воды-температура пара». Это обусловлено тем, что этот канал обладает наибольшим коэффициентом усиления и наименьшей инерционностью. Синтезированная система должна обеспечить стабилизацию регулируемых величин по заданным качественным показателям переходных процессов при неполной информации объекте управления и инвариантность к внешним возмущающим воздействиям.

Для исследования робастных свойств разработанной нечетко-логической системы управления температурным режимом пароперегревателя разработана имитационная модель процесса управления. С этой целью приведена серия вычислительных экспериментов на имитационной модели нечетко-логической системы управления (рис.3.) при различных значениях передаточной функции по каналам регулирования и возмущения. Передаточные функции объекта управления по двум каналам (по каналам задания и возмущения) имеют следующий вид:

$$W_{F-\gamma}(p) = \frac{0.91}{(0.68s + 1)}; \quad W_{O\gamma}(p) = \frac{1.39e - 0.21s}{(1.27s + 1)(1.9s + 1)}$$

Результаты имитационного моделирования приведены на графиках рис.

Из графика видно, что при постоянных значениях параметров передаточной функции объекта управления-пароперегревателя и изменении уровня внешнего возмущающего воздействия до 60% от установившиеся его значения, система управления остается устойчивой, а время переходного процесса не превышает 14.8 секунд.

При наличии в системе зашумлённого внешнего возмущения и изменении его уровня от 1.0 до 3.0, а также изменении параметров объекта управления до 50% нечетко-логической системы управления сохраняет свойства устойчивости.

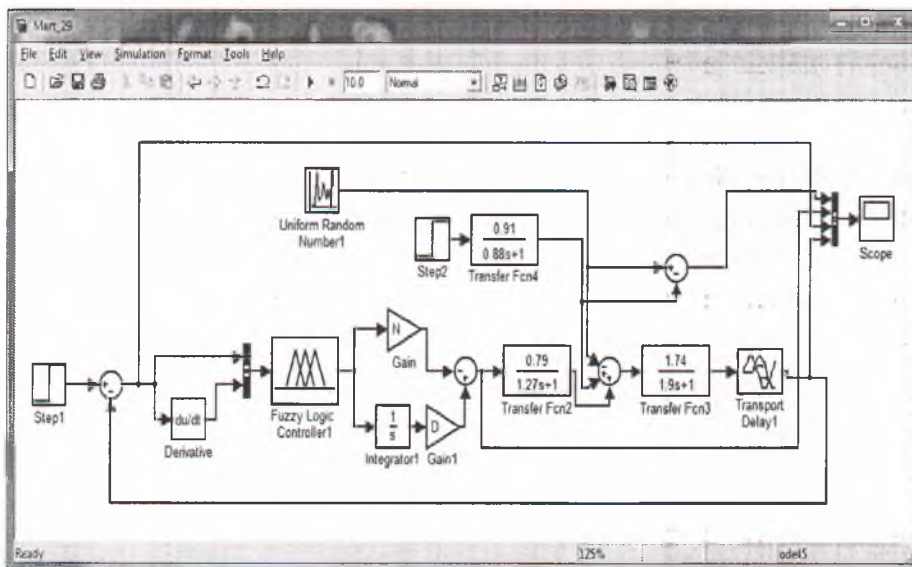


Рис.3. Имитационная модель нечетко-логической системы управления пароперегревателя.

При этом качественные характеристики нечетко-логической системы управления температурным режимом пароперегревателя меняется в достаточном диапазоне:

$$t_{пп}^{НЛСУ_z} \in [7.31 \div 12.39] \text{сек.}, \zeta_{пар}^{НЛСУ} \in [0.01 \div 22] \%$$

Таким образом, на основе проведенных вычислительных экспериментов можно сделать вывод о том, что в силу робастности и в силу наличия универсума входных и выходных лингвистических переменных нечетко-логическая система управления с нечетко-логического регулирования при широком изменении параметров объекта управления, а также при наличии внешнего возмущающего сигнала, сохраняет свою устойчивость.

Построены графики переходных процессов нечетко-логической системы управления при наличии возмущений вероятностного характера и шума сигнала, влияющих на объект управления (рис.4.).

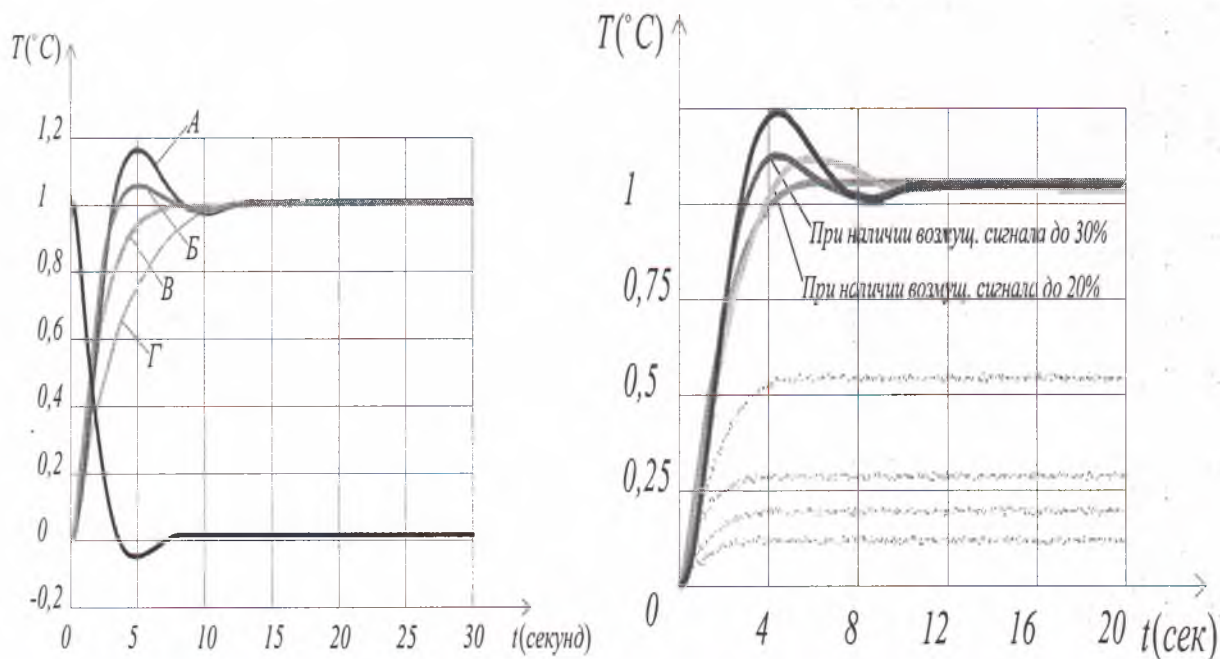


Рис. 4. Переходные процессы нечетко-логической системы управления.

Таким образом, на основе проведенных вычислительных экспериментов можно сделать вывод о том, что в силу робастности и в силу наличия универсума входных и выходных лингвистических переменных нечетко-логическая система управления с нечетко-логического регулирования при широком изменении параметров объекта управления, а также при наличии внешнего возмущающего сигнала, сохраняет свою устойчивость.

Построены графики переходных процессов нечетко-логической системы управления при наличии возмущений вероятностного характера и шума сигнала, влияющих на объект управления (рис.4.).

Отсюда можно сделать вывод о том, что предложенная система управления позволяет уменьшить время переходного процесса на 73%, что в свою очередь обеспечивает снижение температуры пара на 10°C , благодаря которому уменьшается расход топлива на 0,2-0,3 % и повышается точность регулирования в среднем на 13%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования, проведенного по диссертационной работе «Алгоритмы нечетко-логического управления пароперегревателей в теплоэнергетических объектах», сформулированы следующие выводы:

1. Произведен системный анализ физической закономерности процесса парообразования и методы управления пароперегревателя, на основе которого построена информационно-концептуальная модель процесса как многомерный объект управления, позволяющая выбирать перспективный вариант построения эффективной системы управления.

2. Предложено нечетко-логическое описание процесса управления парообразования, с учетом характерных особенностей динамического объекта-пароперегревателя. Разработанные нечетко-логические модели

позволяют формально выразить динамику работы пароперегревателя и алгоритмы управления процессом парообразования на основе вероятностной классификации и априорной неопределенности информации на основе нейро-нечетких технологий.

3. Разработаны построение нейросетевой модели процесса управления пароперегревателя и алгоритмы обучения, а также формирование базы знаний, содержащей нечетко-логические правила управления, при первичной неопределенности информации для динамических объектов, позволяющая эффективно решать проблему синтеза управления адаптивно нечетко-логической системы.

4. На базе нейронных сетей и нечеткой логики разработана методика конструирования моделей технологических процессов парообразования, являющаяся математической основой интеллектуализации процессов управления пароперегревателя.

5. Разработан алгоритм с высокой эффективностью коррекции в части расчета параметров адаптивного регулятора, основанный на использовании возрастающих управляющих и динамических погрешностей, позволяющий обеспечить заданное качество управления.

6. Предложен быстродействующий алгоритм нечетко-логического вывода, обладающий адаптивным свойством при наличии различных видов неопределенностей, позволяющий уменьшить погрешность с 8 до 1% в процессе обучения, за счет исключения пустых решений и нулевых участков.

7. Разработан алгоритм обучения адаптивной нейро-нечеткой системы управления, использующий мягкие арифметические операции нахождения максимума и минимума, основанный на методе разности площадей.

8. Разработан программный комплекс системы имитационного моделирования нечетко-логической системы управления технологических параметров пароперегревателя в условиях неопределенности внешних воздействий и технологических ограничений.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.13/30.12.2019.T.07.01 AT TASHKENT UNIVERSITY OF
INFORMATION TECHNOLOGIES**

**RESEARCH INSTITUTE FOR THE DEVELOPMENT OF DIGITAL
TECHNOLOGIES AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

BAKHRIEVA KHURSHIDA ASKARXODJAEVNA

**ALGORITHMS FOR FUZZY-LOGIC CONTROL OF SUPERHEATERS IN
THERMAL POWER OBJECTS**

05.01.02 – System analysis, management and information processing

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

Tashkent – 2022

The theme of dissertation 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 B2020.3.PhD/T702.

The dissertation has prepared at Research institute for the development of digital technologies and artificial intelligence.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website (www.tuit.uz) and on the website of «Ziyonet» Information and Educational portal (www.ziyonet.uz).

Scientific adviser: **Siddikov Isamidin Xakimovich**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Official opponents: **Kabulov Anvar Vasilovich,**
Doctor of Technical Sciences, Professor

Arifjanov Abdulla Shamxatovich
Candidate of Technical Sciences, Senior Scientific Researcher

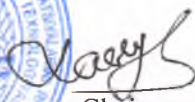
Leading organization: **Fergana Polytechnic Institute**


The defense will take place « 28 » yanuary 2022y. at 14⁰⁰ on the meeting of Scientific Council No DSc.13/30.12.2019.T.07.01 at Tashkent University of Information Technologies named after Mekhammad al-Kharizmi (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur Street, 108. Tel.: (99871) 238-64-43, fax: (99871) 238-65-52, e-mail: tuit@tuit.uz).

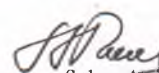
The dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of Tashkent University of Information Technologies named after Mekhammad al-Kharizmi (is registered under No 240). (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur Street, 108. Tel.: (99871) 238-65-44; fax: (99871) 238-65-52).

Abstract of dissertation sent out on « 15 » yanuary 2022 y.
(mailing report No 51 on « 30 » dekabr 2021 y.).




R.Kh. Khamdamov
Chairman of the scientific council
awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor


F.M. Nuraliev
Scientific secretary of scientific council
awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Docent


A.V. Kabulov
Chairman of the Academic seminar
under the Scientific council awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract to PhD dissertation)

The aim of the research work is development of control algorithms for the technological parameters of the superheater using the methods of neuro-fuzzy technologies, which make it possible to increase the efficiency of the control system.

The objects of the research work is the control systems for technological processes in superheaters.

The scientific novelty of the research work:

an information-conceptual model of the heat exchange process has been developed, which characterizes the dynamic properties, system connections and regularities of the operation of the superheater;

an algorithm for constructing fuzzy-logical control models for dynamic objects has been developed, based on the use of methods of automatic and intelligent control;

algorithms for control and stabilization of the technological parameters of the superheater have been developed, under conditions of information uncertainty, taking into account technological limitations;

an algorithm for the synthesis of a fuzzy-logical adaptive control system has been developed based on the methods of interactive adaptation and the difference in areas.

Implementation of the research results: Based on algorithms and software developed as a result of research conducted within the framework of the dissertation:

The software complex, developed on the basis of algorithms for controlling and stabilizing the technological parameters of the superheater, taking into account technological limitations in conditions of uncertainty, has been implemented at the Tashkent Heat and Power Plant JSC (Certificate from the Ministry for the Development of Information Technologies and Communications of the No. 33-8 / 6990 dated 05.10.2021). The study made it possible to minimize energy reserves and increase the control accuracy by an average of 13% using the fuzzy-logic controller program that optimizes the control of the technological parameters of the superheater and the coefficient of the fuzzy-adaptive controller.

Structure and volume of the dissertation: The thesis consists of an introduction, four chapters, chapter conclusions, conclusions, a list of references and applications. The volume of the thesis is 113 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Сиддиков И.Х., Бахриева Х.А., Каримов Ш.С., М.О.Атаджанов Нейро-нечеткая технология в задачах управления динамическими объектами. // Монография. ТУИТ им. Мухаммада ал-Хоразмий, протокол № «2-19» 20 февраля 2019 г. Издательства «Aloqachi» 2019.–С.136.

2. Siddikov Isamidin Hakimovich, Bakhrieva Xurshida Askarxodjaevna, Designs Neuro-Fuzzy Models in Control Problems of a Steam Heater Universal Journal of Electrical and Electronic Engineering 6(5), 2019.–P. 359-365. (№29; Scopus; IF:0.283).

3. 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, Vol.21, №.1, 2020.–P.182-192. (№6; Scopus; IF:0.281).

4. Сиддиков И.Х., Бахриева Х.А., Ядгарова Д.Б. Синтез моделирующих алгоритмов управления многоуровневых динамических объектов. // «ВЕСТНИК ТУИТ» научно-технический и информационно-аналитический журнал, 1(45)2018.–С. 89-94. (05.00.00; №31).

5. Сиддиков И.Х., Бахриева Х.А., Умурзакова Д.М. Моделирование нечеткой адаптивной системы регулирования температуры теплоэнергетического объекта. // «Проблемы энергетики и информатики» научный журнал, № 2. 2019.–С.28-35.(05.00.00; №5).

6. Siddikov I.X., Bakhrieva X.A., Yadgarova D.B., Dauletov A.Yu. Algorithm for synthesis of a neuro-fuzzy discrete regulator in tasks of control of a dynamic object. // «ТАТУ хабарлари» илмий-техника ва ахборот-таҳлилий журнали 4(52)/2019. –С.46-54. (05.00.00; №31).

7. Сиддиков И.Х., Бахриева Х.А., Умурзакова Д.М. Синтез адаптивной нейро-нечеткой системы управления параметрами парового котла. // ВЕСТНИК ТашГТУ №2(107) 2019. –С. 35-40.(05.00.00; №16).

8. Сиддиков И.Х., Бахриева Х.А., Хабирова Д.Н. Нейро-нечеткая система управления дискретными динамическими объектами // «Проблемы энергетики и информатики» научный журнал, Ташкент, № 5. 2020.–С. 22-28. (05.00.00; №5).

9. Бахриева Х.А. Адаптивно-интеллектуальная система управления динамическим объектом // «ВЕСТНИК ТУИТ» научно-технический и информационно-аналитический журнал 3/2020. –С.2-12.(05.00.00; №31).

II бўлим (II часть; II part)

10. Sidikov I.X., Bakhrieva X.A. Synthesis of neuro-fuzzy regulator for control systems of discrete dynamic objects // Konferencji Miedzynarodowej NaukowoPraktycznej zorganizowanej dla pracowników naukowych uczelni,

jednostek naukowo-badawczych oraz badawczych z państw obszaru byłego Związku Radzieckiego oraz byłej Jugosławii. Berlin 2020.–P. 57-59.

11. Сиддиков И.Х., Бахриева Х.А. Имитационное моделирование системы управления технологическими параметрами динамических объектов // «Технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни автоматлаштириш ва оптималлаштиришнинг долзарб муаммолари» халқаро илмий-техникавий конференция маърузалари тўплами, Қарши 2017.–Б. 22-27.

12. Siddikov I.X., Bakhrieva H.A. Автоматизация непрерывных и дискретных технологических процессов // International conference on importance of information communication technologies in innovative development of sectors of economy Tashkent, Uzbekistan 2018–P. 362-364.

13. Бахриева Х.А. Адаптивное управление теплоэнергетическими процессами // Международная научная конференция «Инновационное решения инженерно-технологических проблем современного производства» Бухара, 2019.–С. 343-346.

14. Сиддиков И.Х., Бахриева Х.А. Разработка концептуальной модели процесса управления барабанным котлом // Наманган муҳандислик-технология институти «Иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳанинг энергия самарадорлигини оширишга қаратилган автоматлаштириш ва энергетика муаммоларни ечишда илғор инновацион технологиялар ва таълимнинг ўрни» халқаро миқёсидаги илмий-амалий анжумани Мақола ва тезислар тўплами. 24-25 июнь 2021.–Б. 414-415.

15. Бахриева Х.А. Применение нейронных сетей в условиях неопределенности // БухГУ Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы прикладной математики и информационных технологий» сборник тезисов 15 апрел 2021–С. 336-337.

16. Бахриева Х.А. Адаптивное нейро-нечеткая система управления динамическим объектом // «Инновационные идеи, разработки в практику: проблемы и решения» Международная научно-практическая онлайн конференция Андижон – 2020.–С.90-93.

17. Бахриева Х.А., Умурзакова Д.М. Программное обеспечение для управления теплоэнергетическими объектами // O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risida guvohnoma № DGU 2019 0208 25.02.2019.

18. Сиддиков И.Х., Ядгарова Д.Б., Умурзакова Д.М., Бахриева Х.А. Микроконтроллерное управление технологическими параметрами динамических объектов непрерывного характера в реальном времени // O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risida guvohnoma № DGU 2019 0873 26.06.2019.

19. Сиддиков И.Х., Бахриева Х.А. Буғ қиздиргичларини технологик параметрларини ноқатъий ПИД-ростлагич асосида бошқариш дастури // O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi elektron hisoblash

mashinalari uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risida guvohnoma № DGU 2021 1988 10.07.2021.

20. Сиддиқов И.Х., Бахриева Х.А. Алгоритм синтеза оптимального управления пароперегревателя // Республиканская научно-техническая конференция «Современное состояние и перспективы применения цифровых технологий и искусственного интеллекта в управлении» Ташкент 6-7 сентября 2021.–С. 13-19.

21. Бахриева Х.А. Вопросы интеллектуализации процесса управления технологическими параметрами теплоэнергетических объектов // Ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш шароитида инновациялар мавзусидаги Республика илмий-амалий анжуман маърузалар тўплами (15-17 апрель) Тошкент, 2019.–Б. 328-330.

22. Бахриева Х.А. Моделирование и исследование управления теплоэнергетическими системами и объектами // Сборник докладов Республиканской научно-технической конференции «Современные проблемы и их решения информационно-коммуникационных технологий и телекоммуникаций» 2 часть Фергана 2019.–С.196-199.

23. Бахриева Х.А. Адаптивно-нейросетевое регулирования нелинейных динамических объектов // Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университети Фарғона филиали «Ахборот-коммуникация технологиялари ва телекоммуникацияларнинг замонавий муаммолари ва ечимлари» онлайн Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами 16-17 – апрель 2021–Б. 749-751.

24. Бахриева Х.А. Возможности использования методов нейро-нечеткой технологии в управлении пароперегревателя // Жиззах политехника институти «Замонавий тадқиқотлар, инновациялар, техника ва технологияларнинг долзарб муаммолари ва ривожланиш тенденциялари» Республика илмий-техник анжумани материаллари тўплами 1-ТОМ, 9-10 апрель 2021.–Б. 71-73.

25. Бахриева Х.А. Регулирование температуры перегретого пара для эффективности работы барабанного котла // Наманган муҳандислик – қурилиш институти, «Ахборот тизимлари ва технологияларининг замонавий жамиятдаги ўрни» мавзусида Республика илмий-амалий конференция материаллари тўплами, 30-31-март 2021.–Б.132-134.

26. Бахриева Х.А. Особенности процесса управления пароперегревателем // Сборник докладов Республиканской научно-технической конференции «Роль информационно-коммуникационных технологий в инновационном развитии отраслей экономики» Ташкент, 5 - 6 март 2020.–С. 25-27.

27. Бахриева Х.А. Конструирование моделей процесса управления динамическими объектами на базе нейро-нечеткой технологии // ТУИТ, 1-Часть сборник докладов Республиканской научно-технической конференции «Значение информационно-коммуникационных технологий в инновационном развитии отраслей экономики» Ташкент, 4-5 март 2021.–С. 271-273.

28.Бахриева Х.А., Ганиев А.А. Нейро-нечеткое управления режимами работы технологических агрегатов // Наманган муҳандислик – қурилиш институти, «Ахборот тизимлари ва технологияларининг замонавий жамиятдаги ўрни» мавзусида Республика илмий-амалий конференция материаллари тўплами, 30-31-март 2021.–С. 130-132.

29. Бахриева Х.А. Возможности автоматического регулирования объектов теплоэнергетики // Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги ТАТУ Самарқанд филиали «Ахборот коммуникация технологиялари ва дастурий таъминот яратиш» мавзусидаги илмий-амалий конференция маърузалари тўплами 2-қисм, 5-март 2020.–С. 129-132.

Автореферат «Муҳаммад ал-Хоразмий авлодлари» илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус тилларидаги матнларини мослиги текширилди.