

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

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**ХОЛМАНОВ ЎТКИР УКТАМ ЎҒЛИ**

**ПЕЧЛАРДА ИНТЕЛЛЕКТУАЛ БОШҚАРИШ ТИЗИМИ**

**05.01.08 – Технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни автоматлаштириш  
ва бошқариш (техника фанлари)**

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

**Тошкент – 2020**

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

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

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

<b>Холманов Ўткир Уктам ўғли</b> Печларда интеллектуал бошқариш тизими.....	3
<b>Холманов Уткир Уктам угли</b> Интеллектуальная система управления в печах.....	21
<b>Kholmanov Utkir Uktam ugli</b> Intelligent control system in ovens.....	39
<b>Эълон қилинган ишлар рўйхати</b> Список опубликованных работ List of published works .....	42

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

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**ХОЛМАНОВ ЎТКИР УКТАМ ЎҒЛИ**

**ПЕЧЛАРДА ИНТЕЛЛЕКТУАЛ БОШҚАРИШ ТИЗИМИ**

**05.01.08 – Технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни автоматлаштириш  
ва бошқариш (техника фанлари)**

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

**Тошкент – 2020**

**Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2018.2.PhD/T711 рақам билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

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

**Илмий раҳбар:**

**Юсупбеков Надирбек Рустамбекович**  
техника фанлари доктори, профессор, академик

**Расмий оппонентлар:**

**Марахимов Авазжон Рахимович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Абдурахмонов Олим Рустамович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Етакчи ташкилот:**

**Навий давлат кончилик институти**

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.03/30.12.2019.T.03.02 рақамли Илмий кенгашнинг 2020 йил «9» 12 соат 12<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (+99871) 246-46-00; факс: (+99871) 227-10-32; e-mail: [tstu\\_info@edu.uz](mailto:tstu_info@edu.uz)).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (178 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (+99871) 246-03-41).

Диссертация автореферати 2020 йил «27» 11 куни тарқатилди.  
(2020 йил «19» 11 даги 29 - рақамли реестр баённомаси).



**Ф.Т.Адылов**

Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш раис ўринбосари,  
техника фанлари доктори, профессор

**У.Ф.Мамиров**

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

**Х.З.Игамбердиев**

Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш қошидаги Илмий семинар раиси,  
техника фанлари доктори, профессор, академик

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

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда печларда ёқилғи ёқиш жараёнини бошқаришнинг технологик мажмуа ёки қурилманинг ўртача сменали унумдорлиги билан тартибга солинган энергия ресурслари ва сарфланаётган хомашёнинг берилиши ўртасидаги оқилона уйғунлигини автоматик тутиб туриш ҳамда тайёр маҳсулотнинг талаб этилган сифатини таъминлаш билан белгиланадиган самарадорлиги ишлаб чиқаришнинг техник-иқтисодий кўрсаткичларига аҳамиятли даражада таъсир кўрсатмоқда. Бу борада, саноатни автоматлаштириш, жумладан, шишасозлик саноати тайёр маҳсулотлари юқори сифатини таъминлаган ҳолда газ ёқувчи печларда ёқилғини минимал ресурс ва энергия сарфи билан ёқишни энергия ва ресурс сиғимли технологик усуллари бошқаришга алоҳида аҳамият қаратилмоқда.

Жаҳонда шишасозлик саноатининг технологик жараёнларини автоматлаштирилган бошқариш тизимларини бугунги кунгача мавжуд техник, алгоритмик, математик ва ахборот таъминотларининг ривожланиш даражаси реал вақт масштабида барча асосий ва ўлчаш мумкин бўлган технологик параметрларни ҳисобга оладиган мураккаб технологик жараёнларни бошқаришни юқори самарали тизимларини амалга ошириш учун чекланган имкониятларни намоён этади. Бу борада, шиша эритиш печларидаги ёқилғини ёқиш жараёнларини бошқариш усуллари ва алгоритмларини такомиллаштириш ҳамда ғалаёнларни ифодалашни қийинлиги, тадқиқ этилаётган ёқилғини ёқиш технологик жараёнларини бориши ҳақидаги бошланғич ахборотларни тўлиқмаслиги ва ноаниқлигини эътиборга олган ҳолда шиша эритиш печларида ёқилғини ёқиш жараёнини бошқаришнинг интеллектуаллаштирилган тизимларини қуришни истиқболли тамойиллари ҳисобига шиша эритиш печларининг ҳалокатсизлиги ва техник-иқтисодий кўрсаткичларини ошириш бугунги куннинг долзарб ва муҳим масаласи ҳисобланади.

Бугунги кунда республикада мураккаб технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни автоматлаштириш ва бошқариш, жумладан, ёқилғи ёқиш технологик жараёнларини ресурс ва энергия тежамкорлик, шунингдек, саноат маҳсулотини юқори сифати мезони бўйича такомиллашган тизимларини яратишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. 2017–2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан, «... иқтисодиётнинг энергия ва ресурс сарфини қисқартириш, ишлаб чиқаришга энергия тежамкор технологияларни кенг жорий этиш, иқтисодиёт тармоқларидаги меҳнат унумдорлигини ошириш»<sup>1</sup> вазифалари белгилаб берилган. Мазкур вазифаларни амалга ошириш, жумладан, тадқиқ этилаётган жараён ҳақидаги бошланғич ахборотлар тўлиқ бўлмаган шароитларда шиша

---

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

эритишни мураккаб технологик жараёнларини интеллектуал бошқариш алгоритмларини яратиш ниҳоятда долзарб ва зарур ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини 2017-2021 йилларда янада ривожлантиришнинг Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони ҳамда 2017 йил 27 июндаги ПҚ-3151-сон «Олий маълумотли мутахассислар тайёрлаш сифатини оширишда иқтисодиёт соҳалари ва тармоқлари иштирокини янада кенгайтириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги ва 2018 йил 27 апрелдаги ПҚ-3682-сон «Инновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳаларни амалий жорий қилиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъерий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги.** Диссертация тадқиқоти республика фан ва технологиялари ривожланишининг IV. «Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш» ва VII. «Кимёвий технология ва нанотехнологиялар» устувор йўналишлари доирасида бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Интеллектуал тизимлар соҳасидаги илмий тадқиқотларнинг истиқболли йўналишлари сифатида тан олинган ишланмаларга тааллуқли бўлган, сўнгги йиллардаги илмий-техник адабиётлар таҳлили мазкур диссертация тадқиқотини предметли соҳасида аҳамиятли назарий ва амалий натижаларга эришилганлигидан дарак беради. Диссертация ишида кўриб чиқиладиган илмий-техник йўналиш International Federation of Automatic Control (IFAC), Institute of Electrical and Electronical Engineering (IEEE), Association for Computing Machinery (ACM), шунингдек Россия Фанлар академиясининг Муаммолар институти, Н.Э.Бауман номидаги Москва давлат техника университети, Москва давлат университети, Москва физика-техника институти, Москва муҳандислик-физика институти каби халқаро илмий ташкилотларнинг устувор тадқиқотлари дастурларига киради.

Динамик объектларни бошқаришнинг интеллектуал тизимларини қуришни таҳлил қилиш ва синтезлаш назариясига R.A.Aliyev, R.Bellman, M.Brown, M.M.Gupta, K.M.Hangos, C.J.Harris, Y.-Z.Lu, N.K.Sinda, D.A.White, Lotfi Zadeh, A.A.Жданов, П.М.Макаров, Д.А.Поспелов, К.А.Пупков, Б.Я.Советов, Я.З.Ципкин, Р.М.Юсупов каби хорижлик ва Д.А.Абдуллаев, Ф.Т.Адилов, Б.М.Азимов, Т.Ф.Бекмуратов, Х.З.Игамбердиев, М.А.Исмаилов, В.К.Кабулов, А.А.Кадиров, С.С.Касимов, А.З.Камалов, М.М.Камилов, А.Р.Марахимов, И.Х.Сиддиқов, Т.Д.Раджабов, Ш.Х.Фозилов, Н.Р.Юсупбеков каби мамлакатимиз олимлари ўзларининг улкан ҳиссаларини қўшишган.

Технологик объектларни бошқаришнинг интеллектуал тизимларини қуриш назарияси ва амалиётининг замонавий ҳолати ва уларни келгуси

ривожланиш тенденциялари ҳамда такомиллашувига бағишланган таҳлилий адабиётлар шарҳи материалларини таҳлил қилиш ва умумлаштириш шишасозлик саноати ишлаб чиқариш майдонларини назорат қилиш ва бошқаришнинг энг муҳим масалаларини ечиш учун интеллектуал бошқариш тизимларини яратиш ва қўллаш, таниш, оптималлаштиришни зарурий нейро-экспертли усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқишнинг истиқболли эканлигини кўрсатади.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университети илмий-тадқиқот ишлари режаларининг ОТ-Ф7-88 – «Тоза маҳсулотлар олишнинг энергия ва ресурс тежамкор иссиқлик-масса алмашиниш жараёнларининг истиқболли мураккаб кимё-технологик тизимларининг назарий асосларини такомиллаштириш» (2017–2020) мавзули лойиҳаси доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** саноат ишлаб чиқаришининг газ ёқувчи печларида шиша эритиш технологик жараёнини автоматик назорат қилиш ва бошқаришнинг интеллектуал тизимларини қуриш усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш ҳисобланади.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

газ ёқувчи печларда шиша эритиш мисолида мураккаб технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни интеллектуал назорат қилиш, таъхислаш ва бошқариш тизимларини қуриш назарияси ва амалиётини замонавий ҳолатини таҳлил қилиш ва уларни янада ривожлантириш ва такомиллаштириш тенденцияларини аниқлаш;

мураккаб технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни тезкор бошқаришнинг интеллектуал тизимларини умумлашган функционал структураларини ишлаб чиқиш;

мураккаб кирувчи ва чиқувчи лингвистик ўзгарувчиларнинг ўзаро алоқалари ҳамда уларнинг жисмоний аҳамиятини тегишлилик функцияларини асосий ўққа нисбатан жойлашуви, шакли ва қоидалар тизимини ўзгартириш ҳисобига билимларни тўлдириш имконияти билан маҳсулий қоидалар ва тегишлилик функциялари ёрдамида билимларни ярим яширин кўринишда акс эттириш;

маҳсулот турлари асосида шакллантирилган билимлар базаси ёрдамида шиша эритиш печларининг соҳаларидаги ҳароратни; шиша массасининг қовушқоқлигини ўлчаш қурилмасини; тадқиқот объектидаги ортиқча босимни автоматик меъёрлаштириш йўли билан печлардаги босимни ростлаш жараёнини боқаришни; шиша эритиш печидаги сатҳни ўлчаш йўли билан хомашёни юклашни бошқаришнинг интеллектуал бошқариш тизимлари учун дастурий мажмуани ишлаб чиқиш ва тадқиқ этиш;

тадқиқ этилаётган технологик жараёнларни бошқаришнинг интеллектуал тизимларини қуришни ишлаб чиқилган алгоритмлари ва ҳисоблаш схемаларини амалга ошириш.

**Тадқиқотнинг объекти** печларда ёқилғини ёқиш мураккаб технологик жараёнларини интеллектуал назорат қилиш, ташхислаш ва бошқариш тизимларини таҳлил қилиш ва синтезлаш жараёнлари ҳисобланади.

**Тадқиқотнинг предмети** газ ёқувчи печларда ёқилғини ёқиш мураккаб технологик жараёнларини интеллектуал назорат қилиш, ташхислаш ва бошқариш тизимларини қуриш усуллари, моделлари ва алгоритмларидан иборат.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Диссертация ишида тизимли таҳлил усуллари ва илмий қоидалари, замонавий автоматик бошқариш назарияси, интеллектуал бошқаришнинг тамойиллари, усуллари ва алгоритмлари, технологик ўлчашлар ва асбоблар, шиша эритиш печлари ва қурилмаларида ёқилғини ёқишни мураккаб иссиқлик алмашилиш жараёнларини математик моделлаштириш ва оптималлаштириш, шунингдек, ўлчаш натижаларига математик ишлов бериш усулларидан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

газ ёқувчи печларда шиша эритиш жараёнини иссиқлик баланси тенгламалари асосидаги математик модели ишлаб чиқилган;

газ ёқувчи печларда ёқилғини ёқиш жараёни тежамкорлигини оптимал бошқариш тизими синтезланган;

пропорционал-интеграл-дифференциал ростлагичнинг созиламалари оптимал параметрларини аниқловчи алгоритм ишлаб чиқилган;

шиша массасининг реологик тавсифларини тадқиқ этиш учун дастурий-аппаратли мажмуа ва печни бошқаришнинг интеллектуал автоматлаштирилган тизими ишлаб чиқилган, тадқиқ этилган ва уни ишлашини сошлаш амалга оширилган;

шиша эритиш печлари соҳаларидаги газли муҳит таркибини ростлаш орқали ёқилғини ёниш жараёни самарадорлигини оширувчи усул таклиф этилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

газ ёқувчи печларда шиша эритиш жараёнини назорат қилиш, ташхислаш ва бошқаришни интеллектуал тизимлари дастурий-техник амалга оширилган;

объектнинг дастурий ҳаракатини бошқаришнинг экспертли осттизими ишлаб чиқилган бўлиб, у маҳсулий турдаги билимларнинг динамик базасини тавсифлайди;

печлардаги босимни ростлаш ва печдаги шиша сатҳини ўлчаш йўли билан хомашёни юклашни бошқариш учун дастурий-алгоритмик мажмуа яратилган;

печлардаги ёқиш жараёнини техник таъминотга мос равишда бошқаришнинг интеллектуал тизими ишлаб чиқилган бўлиб, у ёниш жараёни боришини технологик режимларини барқарорлаш ва самарадорлигини ошириш имконини беради.



**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги назарий исботланган асосларни бажарилиши, интеллектуал бошқаришнинг қатъий ишончли концепцияси ва тамойилларини қўлланилиши, замонавий автоматик бошқариш назариясини синовдан ўтган усуллари ва алгоритмларидан фойдаланиш, назарий ва амалий тадқиқот натижалари ва уларнинг ўзаро мувофиқлиги ва деярли мос келиши билан таъминланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти шиша эритиш печлари мисолида мураккаб технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни назорат қилиш ва бошқаришнинг, мураккаб динамик объектларни автоматик бошқариш потенциалини тўла очиш имкониятларини таъминловчи, интеллектуал тизимларини структуравий-параметрик синтезлашнинг конструктив алгоритмларини ишлаб чиқишдан иборат. Сунъий нейрон тармоғини ўқитишни таклиф этилаётган услубияти тўғри ва тесқари алоқалар таъсирларини ҳисобга олади ҳамда сигнал ўтадиган барча каналлар бўйича синов таъсирларини бир пайтда бериш ҳисобига нейрон тармоқлари шартларига риоя этилишини таъминлайди.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти шундан иборатки, назорат ва бошқаришни интеллектуал тизимини таклиф этилган структураси, динамик объектни фаззи-моделли, назорат ва бошқаришнинг алгоритмлари, услубияти ва техник воситалари шиша эритиш самарадорлигини оширишга кенг имкониятларни очиб беради.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Газ ёқувчи печларда шиша эритиш технологик жараёнини автоматик назорат қилиш ва бошқаришнинг интеллектуал тизимларини қуриш усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш асосида:

газ ёқувчи печларда шиша эритиш жараёнини иссиқлик баланси тенгламалари асосидаги математик модели “Оникс Тошкент” МЧЖ да жорий этилган («Ўзавтосаноат» АЖ нинг 2020 йил 17 ноябрдаги №09/06-25-1650-сон маълумотномаси). Натижада экологик меъёрларга амал қилган ҳолда ёқилғини ёқишда тежамкорлик таъминланган;

газ ёқувчи печларда ёқилғини ёқиш жараёнини оптимал бошқариш тизими “Оникс Тошкент” МЧЖ да жорий этилган («Ўзавтосаноат» АЖ нинг 2020 йил 17 ноябрдаги №09/06-25-1650-сон маълумотномаси). Натижада ярқисиз маҳсулотлар сонини камайтирган ҳолда тайёр маҳсулотни юқори сифати таъминланган;

шиша эритиш печларини бошқаришни интеллектуал автоматлаштирилган тизими учун дастурий-аппаратли мажмуа “Оникс Тошкент” МЧЖ да жорий этилган («Ўзавтосаноат» АЖ нинг 2020 йил 17 ноябрдаги №09/06-25-1650-сон маълумотномаси). Натижада газ ёқиш печларининг самарадорлиги ошган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқот натижалари 3 та халқаро ва 1 та республика илмий-техник анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Диссертация мавзуси бўйича 16 та илмий иш, жумладан, ЎзР ОАК эътироф этган илмий журналларда 6 та мақола, шундан 4 таси хорижда чоп этилган, ЭХМ учун яратилган дастурий воситаларни қайд қилинганлиги тўғрисида 6 та гувоҳнома олинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 120 бетни ташкил этган.

## **ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ**

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

Диссертациянинг **«Мураккаб технологик жараёнларни интеллектуал бошқариш тизимларини таҳлил қилиш ва синтезлаш назарияси ва амалиётининг замонавий ҳолати ҳамда уларни янада ривожланиш ва такомиллашиш тенденциялари»** деб номланган биринчи бобида шишасозлик саноати масалаларига тегишли бўлган мураккаб технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни назорат қилиш ва бошқаришнинг интеллектуал тизимларини илмий асослари баён қилинган.

Замонавий интеллектуал технологиялар, жумладан, ноаниқ мантиқ, сунъий нейрон тармоқлари (СНТ) ва генетик алгоритм (ГА) лардан интеллектуал бошқариш тизимларини синтезлашда фойдаланиш мақсадга мувофиқ. Зарурий ҳисоблашларни қийинлаштирмасдан, қидириш фазосини кенгайтириш имконини берадиган юқори мураккабликдаги тақсимланган ҳисоблаш схемаларини амалга ошириш имконияти ҳисобига бошқариш жараёнларини сўзлашув тилининг воситалари билан тавсифлаш, кўп сонли махсус вазиятлар ва бир жинсли эмаслик билан тавсифланадиган жараёнларни тавсифлаш ҳамда нозичлиқли объектларни ифодалаш, шунингдек, кучсиз ифодаланган масалаларнинг ечимлари соҳасида тезкор қидирувни амалга ошириш имкониятларини беради. Сунъий интеллект элементларини ўзига бирлаштирувчи тизим билимларга когнитив ишлов бериш, ноаниқлик шароитларида бошқариш қарорларини қабул қилиш ва хулқини режалаштириш, тимсолларни амалга ошириш ва ташқи муҳит моделларини шакллантириш имконини беради. АБТ ларни таркибига киритилган сунъий интеллект элементлари тизимга илгари инсон бажарган интеллектуал вазифаларни бажариш имконини бериб, унинг функционал имкониятларини кенгайтиради.

Юқоридагилардан келиб чиққан ҳолда, ноаниқлик ва хатарлар шароитларида қарор қабул қилишни тайёрлашга мўлжалланган сунъий интеллект усуллари қўллаб, кучсиз ифодаланган мураккаб технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларнинг юқори самарали АБТ ларини синтезлашга алоқадор ёндашув ниҳоятда истиқболлидир.

«Катта ҳажмда интеллектуалликка ўтиш» хусусиятига эга бўлган тизимларнинг бир ҳолатдан бошқасига ўтиши маълум. Бундай таснифлашга кўра интеллектуал тизимлар ўқиш; ўз-ўзини ташкил этиш; ҳодисаларни олдиндан айтиш; маълумотлар ва билимлар базалари билан ишлаш ва ниҳоят ижро каби поғоналари бўлган кўп поғонали структурага эга бўлиши керак бўлиб, уларда қарор қабул қилишни қўллаб-қувватлаш осттизими функцияси билимлар базасининг маълумотларига ишлов беришнинг амалга оширувчи бошқариш иерархиясини поғоналари билан бирлашади.

Диссертациянинг «Газ ёқувчи печларда ёқилғини ёниш жараёнини моделлаштириш» деб номланган иккинчи бобида технологик қурилма – газ ёқувчи печда табиий газни ёқишни тадқиқ қилинаётган усули акс эттирилган; печда ёқишгача бўлган вақтда горелкаларни ўт олдириш, хусусан печь ўтхонаси горелкаларини ўт олдириш; печга хомашё ресурсларини юклаш, шунингдек, бутун технологик қурилмани ишга тушириш тавсифланган.

Ишда ўтхона-қиздиргичнинг ички қисмидаги ёниш жараёнининг аэродинамикаси ўрганилган ва ўтхона камерасига оқимни силжиш қонуниятлари ифодаланган. Ёқилғи заррачаларини ёнишини ҳисоблашларда заррачаларни газ оқимига нисбатан ҳаракатланиш қобилияти эътиборга олинган, чунки бунда заррачалар ва муҳит ўртасида иссиқлик алмашинуви кучаяди ва тўла ёниш жараёнига сезиларли таъсир кўрсатади.

Газ ёқувчи печларда ёқилғини ёниш жараёнининг математик моделларини келтириб чиқаришда атроф-муҳитга газ чиқиши ва иссиқликни йўқотилиши йўқ деб, моддий ва иссиқлик баланс тенгламалари тузилди ҳамда газларнинг ёнишини аналитик олинган стехиометрик тенгламаларидан фойдаланиб, технологик шароитларда ёқилғи – табиий газни ёниш жараёнини, оксидловчилар сарфи ва тўла ёниш маҳсулотлари миқдорини технологик ҳисоблари амалга оширилган. Ишда газ ёқувчи печларда табиий газни тежаш усуллари таҳлил қилинган. Ёниш вақтида ёнувчи маҳсулотларнинг ҳарорати ёқилғининг потенциал энергияси билан белгиланадиган ёниш ҳароратигача кўтарилади. Барча ҳолларда иссиқлик балансига риоя этилганлиги сабабли ёниш ҳароратини ҳисоблаш учун ёнаётган маҳсулот, шунингдек, ёқилғи ёки ҳавонинг энтальпиясидан фойдаланиш мумкин. Маълум миқдордаги  $F_T$  ёқилғининг  $\Delta H$  ёниш иссиқлиги билан ёнишида ажралиб чиқадиган иссиқлик миқдори қуйидагига тенг:

$$Q = F_T (\Delta H)_{CH_4} \quad (1)$$

Метанни ёниши,  $H_2O$  ва газсимон карбонат кислотасини ҳосил бўлишини маълум стандартдаги иссиқликлари орқали бир киломоль метанни стандарт ёниш иссиқлиги  $(\Delta H)_{CH_4}$  ни топамиз.

Гесс қонунига кўра кимёвий реакциянинг иссиқлик самараси реакция бевосита ёки бирор оралик босқич орқали боришига боғлиқ эмас ва у ўзида реакция ва бошланғич моддаларнинг иссиқлик самаралари ўртасидаги фарқни намоён этади. Ёниш маҳсулотлари ҳажмини тенгламаси қуйидагича:

$$V_0 = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V'_{N_2} + V'_{O_2}, \quad (2)$$

бу ерда  $V_{CO_2}$  ва  $V_{H_2O}$  – мос равишда ҳавонинг назарий миқдорида ёнишда ҳосил бўлган оксидланган газ ва сув буғлари ҳамжи,  $m^3$ ;  $V'_{N_2}$  ва  $V'_{O_2}$  – ҳавонинг ортиқчалик коэффициентини ҳисобга олган ҳолда ёниш маҳсулотларидаги азот ва кислороднинг ҳажмлари,  $m^3$ .

(2) тенглама ҳавонинг назарий зарур миқдори билан ёқилғини ёниш шarti учун ўринлидир. Саноат ўтхоналари ва печлар одатда ортиқча ҳаво билан ишлайди. Маълумки, ҳаво ортиқча бўлганда ёнишнинг мумкин бўлган максимал ҳароратига эришиб бўлмайди.

(2) тенгламанинг хусусий ҳосилаларини олиб, ҳарорат  $T$  га таъсир этувчи қатор параметрларнинг таъсир коэффициентларини баҳолаш ва қуйидаги кўринишдаги тенгламани олиш мумкин:

$$T = f((\Delta H)_{CH_4}, C_1, T_1, F_1, F_2, C_2, T_2), \quad (3)$$

ёки

$$T = K_1 * (\Delta H)_{CH_4} + K_2 * F_1 + K_3 * F_2 + K_4 * C_1 + K_5 * C_2 + K_6 * T_1 + K_7 * T_2, \quad (4)$$

Ўтхонадаги ҳароратга ёқилғи ва ҳаво бериш каналлари кучли таъсир кўрсатади. Тажрибалар шуни кўрсатди-ки, ёниш ҳарорати ҳаво ортиқча бўлганда ҳам етишмаганда ҳам тушиб кетади, шунинг учун ҳам таъсир коэффициенти юқори бўлишига қарамасдан, ҳаво бериш каналини бошқариш канали сифатида танлаб бўлмайди. (3) тенгламадан ҳарорат  $T$  кўплаб омилларга боғлиқлиги келиб чиқади. Чунки у ёқилғини ёниш иссиқлигига мутаносиб, ёқилғи ва ҳаво сарфлари, шунингдек уларнинг солиштирма иссиқлик сиғимларига нозиклиги боғланган.

Ишда газ ёқувчи печлардаги ёниш жараёнларини назорат қилиш ва бошқариш тизимларининг назарияси ва амалиётини замонавий ҳолати таҳлил қилинган; назорат ва бошқариш тизимларини такомиллаштириш йўллари аниқланган ва уларни қуришни истиқболли эканлиги кўрсатилган. Газ ёқувчи печларда ўт олиш, ёниш ва “ҳаво – ёқилғи гази – чиқинди газ” стехиометрик узатилиш жараёнлари ўрганилган, ўтхона-қиздиргичнинг ишлаши таҳлил қилинган ва қурилманинг аэродинамикаси ўрганилган. Газ ёқувчи печларнинг газ горелкалари ишлашини математик моделлаштириш амалга оширилган. Математик тавсифларни таҳлил қилиш асосида газ ёқувчи печларни интеллектуал бошқариш тизимини архитектураси таклиф этилган ва шиша эритувчи печнинг нейрон тармоқли моделини ўқитишни тўғри ва тесқари алоқаларнинг таъсирини ҳисобга олувчи услубияти

асосланган. Хатолиги тескари тарқалувчи ўқитишли икки қатламли интеллектуал нейрон тармоғини танлаш асосланган.

Диссертациянинг «Газсимон ёқилғини мавжудлиги ва ёниш сифатини назорат қилиш усуллари ишлаб чиқиш» номли учинчи бобида аланганинг ионизацион тавсифларини назорат қилиш усуллари тажрибавий тадқиқ этиш натижалари келтирилган. Тадқиқотлар газ-ҳаволи аланганинг турли соҳаларида ўрнатилган юқори ҳароратли ўлчаш электродлари ёрдамида “электрод – аланга – горелка” ва “электрод – аланга – электрод” ўтишларининг ионизацион тоқларини ўлчаш қурилмаларидан фойдаланиб, унумдорлиги 100 м<sup>3</sup>/соатгача бўлган газ горелкаларида ўтказилган. Ёниш соҳасининг ўтказувчанлиги ( $p$ ), тўғрилаш коэффициенти ва ҳарорати ўзининг максимумига, ёқилғи аралашмасидаги компонентларни минимал ортиқча оксидловчилар билан тўла ёнишини таъминловчи, ёниш коэффициенти ( $\alpha$ )да эришиши аниқланган. Шунинг учун ҳам мазкур коэффицент оптимал ( $\alpha_{opt}$ ) деб номланиши мумкин. Горелкаларнинг унумдорлигини ошиши ёниш соҳасида ўтказувчанликни ошишига ҳамда ( $p$ ) ўлчаш сигналининг статик тавсифи экстремумини « $\alpha - p$ » координата тизимида абсцисса ўқи бўйлаб  $\alpha_{opt}$  мутлақ қийматга ошишига олиб келиши аниқланган.

1-жадвалда икки йўлли турбулент горелкани тадқиқ этиш натижалари келтирилган бўлиб, унда  $I_e$  – аланга унумдорлигини пульсланиш жадаллиги кўрсаткичи ва у ёниш соҳасининг ўтказувчанлик пульсларини ( $i$ ) спектридаги ( $A_1$ ) амплитудани мос ( $f_i$ ) частотага кўпайтмалари йиғиндиси орқали ифодаланади:

$$I_e = \sum_{i=1}^n A_1 f_i. \quad (5)$$

$I_B$  нинг параметрлар билан ўзаро боғлиқлиги параметрларнинг функционал боғлиқлиги каби келтирилиши мумкин:

$$I_e = \varphi(W''; p''; t_x; W'; p'; t_2; Q_n^p; S_{ac}; m_{KT}), \quad (6)$$

бу ерда  $W''$ ,  $W'$  – ёниш соҳасидаги компонентларнинг сарфлари;  $p'$ ,  $p''$  – компонентларнинг горелкадан олдинги босимлари;  $t_2, t_x$  – газ ва ҳавонинг ҳароратлари;  $S_{ac}$  – аралашмани тайёрланиш сифати кўрсаткичи;  $m_{KT}$  – ёниш маҳсулотларининг кимёвий таркиби.

1-жадвал

Ёниш соҳаси параметрларининг газ горелкасининг унумдорлиги ва аэрация коэффициентига боғлиқлиги

т/р	$W''$ , м <sup>3</sup> /соат	$\alpha$	$f_1$ Гц.	$A_1$ в.	$f_2$ Гц.	$A_2$ в.	$f_3$ Гц.	$A_3$ в.	$f_4$ Гц.	$A_4$ в.	$I_e \mu A$	$t^\circ C$
1	13	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1192
2	13	1,04	8,3	1	200	0,15	-	-	-	-	38	1202
3	13	1,25	8,3	0,5	48	0,8	143	0,3	-	-	81	1241
4	13	1,19	11	0,6	50	0,5	100	0,3	-	-	61	1216
5	13	1,42	50	0,3	143	0,2	-	-	-	-	4	1116
6	21	0,85	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1203

7	21	0,96	21	1,1	8	1,0	90	0,3	-	-	58	1221
8	21	1,04	8,3	0,5	77	0,6	142	0,1	-	-	64	1228
9	21	1,10	12	1,0	25	1,0	200	0,3	-	-	98	1237
10	21	1,25	10	1,1	40	1,1	167	0,3	-	-	112	1247
11	21	1,28	8,0	0,8	31	1,2	140	0,8	330	0,07	180	1257
12	21	1,46	7,0	1,2	33	0,7	200	0,1	-	-	51	1132
13	28	0,96	50	0,2	143	0,1	-	-	-	-	39	1217
14	28	1,20	5	0,8	25	0,6	100	0,2	250	0,1	64	1262
15	28	1,28	8,4	1,0	33	1,0	167	0,8	250	0,15	212	1287
16	28	1,41	20	0,6	50	0,6	330	0,1	-	-	75	1141
17	28	1,43	28	0,45	78	0,5	467	0,02	-	-	61	1120

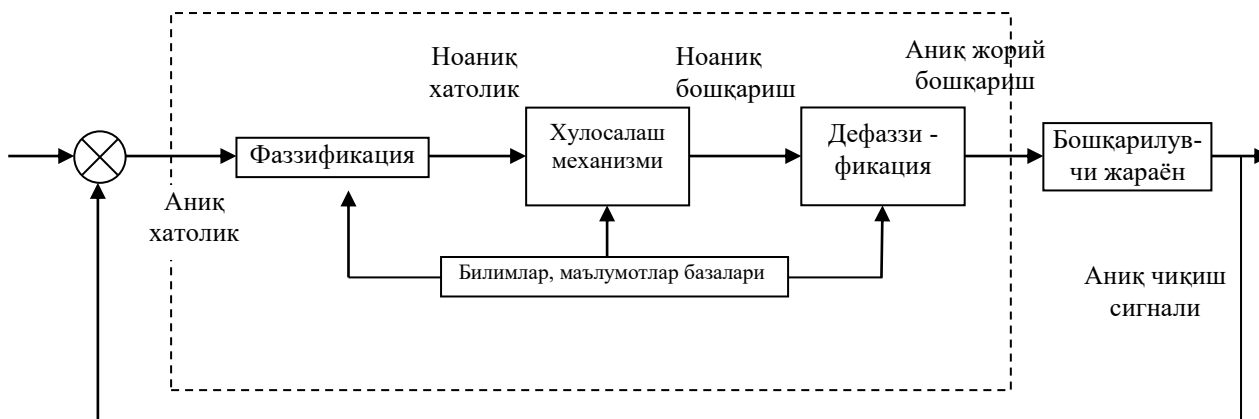
( $\alpha - I_e$ ) координаталар тизимида ёниш соҳасини амплитуда-частотавий тавсифлари экстремумини ўлчаш электродини ёниш соҳасидаги ҳолатига боғлиқлигини тадқиқи (электродни аланганинг ўзагидан бошлаб, унинг ўқи бўйлаб силжитишда) электродни алангага киритиш  $\alpha_{opt}$  да экстремумни сақлаган ҳолда  $I_e$  чиқиш параметрини ўсишга, электродни аланга ўқидан радиус бўйлаб ён томонга силжитганда эса  $I_e$  ни камайтиришга олиб келишини кўрсатди. Ўлчаш электроди аланганинг ўқи бўйлаб жойлашадиган максимал ионланишида параметрнинг максимал қиймати ва унинг минимал флуктуациясига эришилиши аниқланган.

Диссертациянинг «Газ ёқувчи печларда ёқилғини ёниш жараёнини интеллектуал бошқариш» номли тўртинчи бобида печларда шиша маҳсулотларини ишлаб чиқишни бошқариш имконини берадиган, ишда илгари сурилган усулни моҳияти баён қилинган ва печлардаги ҳарорат режимларини ноаниқ бошқаришнинг ўзига хосликлари очиб берилган. Печга хомашёни юклашни бошқариш усулини моҳияти шихта ҳароратини ўлчаш ва уни дастлабки сақлаш вақтидан иборат. Ҳарорат пасайган ва сақлаш муддати ошганда печга юкланадиган шихта ва майдаланган шиша нисбатини тўғрилаш майдаланган шиша миқдорини ошириш йўли билан амалга оширилади. Печдаги шихта ва майдаланган шиша сарфини ўлчаб, шунингдек чиқиб кетаётган иссиқликдан самарали фойдаланишда шихта ва майдаланган шиша сарфлари нисбатларини берган ҳолда, печдаги шиша массасидан келиб чиқиб, печга бериладиган хомашё миқдорини ростлаш таклиф этилган. Таклиф этилган усулда ҳарорат пасайганда шихта сифатини тушишини назорат қилиш ва башоратлаш назарда тутилган. Шунингдек, майдаланган шиша сифати пасайишини башоратлашда дастурланадиган мантиқий контроллерда “шихта – майдаланган шиша” сарфлари нисбати шаклидаги топшириқни тўғрилаш ҳам назарда тутилган. Шихтанинг ҳарорати пасайганда майдаланган шиша сарфини контроллердан вибрацион дозаторга сигнал бериш орқали сарфлар нисбатини янги қиймати ўрнатилгунга қадар ошириш ёки шихта бункеридаги рекуператорга иссиқ ҳаво берилишини камайтириш назарда тутилган. Шихтанинг ҳарорати ошганда юқоридагидек майдаланган шиша сарфи ва иссиқ ҳаво бериш камайтирилади. Шундай қилиб, таклиф

этилаётган усулни амалга ошириш шихта ва майдаланган шиша ҳароратлари, намлиги ва компонентлар бўйича таркибини ҳисобга олган ҳолда шихтанинг сифатини башоратлаш ҳамда шу асосида печга хомашё берилишига тузатма киритиш имконини беради. Рекуператорли схемадан фойдаланиш тутун газлари иссиқлигидан самарали фойдаланиш ҳамда майдаланган шиша намлигини камайтириш ҳамда тайёр шихта ва майдаланган шишани қиздириш ҳисобига ёқилғи сарфини ўзгартирмасдан жараённинг иссиқлик исрофини анча камайтириш имконини беради.

Диссертация ишида газ ёқувчи печлардаги ҳарорат режимларини ноаниқ бошқаришнинг ўзига хосликлари кўриб чиқилган. Газ ёқувчи печларда ёқилғини ёниш жараёнини бошқариш тизимини структуравий-параметрик синтезлаш амалга оширилган бўлиб, асосий структураси 1-расмда келтирилган.

Бошқарилувчи жараённинг жорий чиқиши  $y(t)$  тескари алоқа чизиғи бўйлаб, аниқ сигнал шаклида тизимнинг киришига келиб тушади ва у ердаги  $\Delta$  элементда  $g(t)$  аниқ топшириқ билан солиштирилади. Хатолик  $e(t)$ , агар талаб этилса, унинг  $e(t)$ ,  $e'(t)$ , ..., ҳосилалари, хатоликни интегралли ( $\sum e_i(t)$ ) аниқ сигналлар кўринишида контроллернинг киришига берилади. Ноаниқ ростлагич ўз таркибига  $e(t)$ ,  $e'(t)$ ,  $\sum e_i(t)$  ва бошқа аниқ сигналларни  $e'(t)$ ,  $e''(t)$ ,  $\sum e_i'(t)$  ва бошқа ноаниқ сигналларга ўзгартиришга хизмат қилувчи фаззификаторни олади.

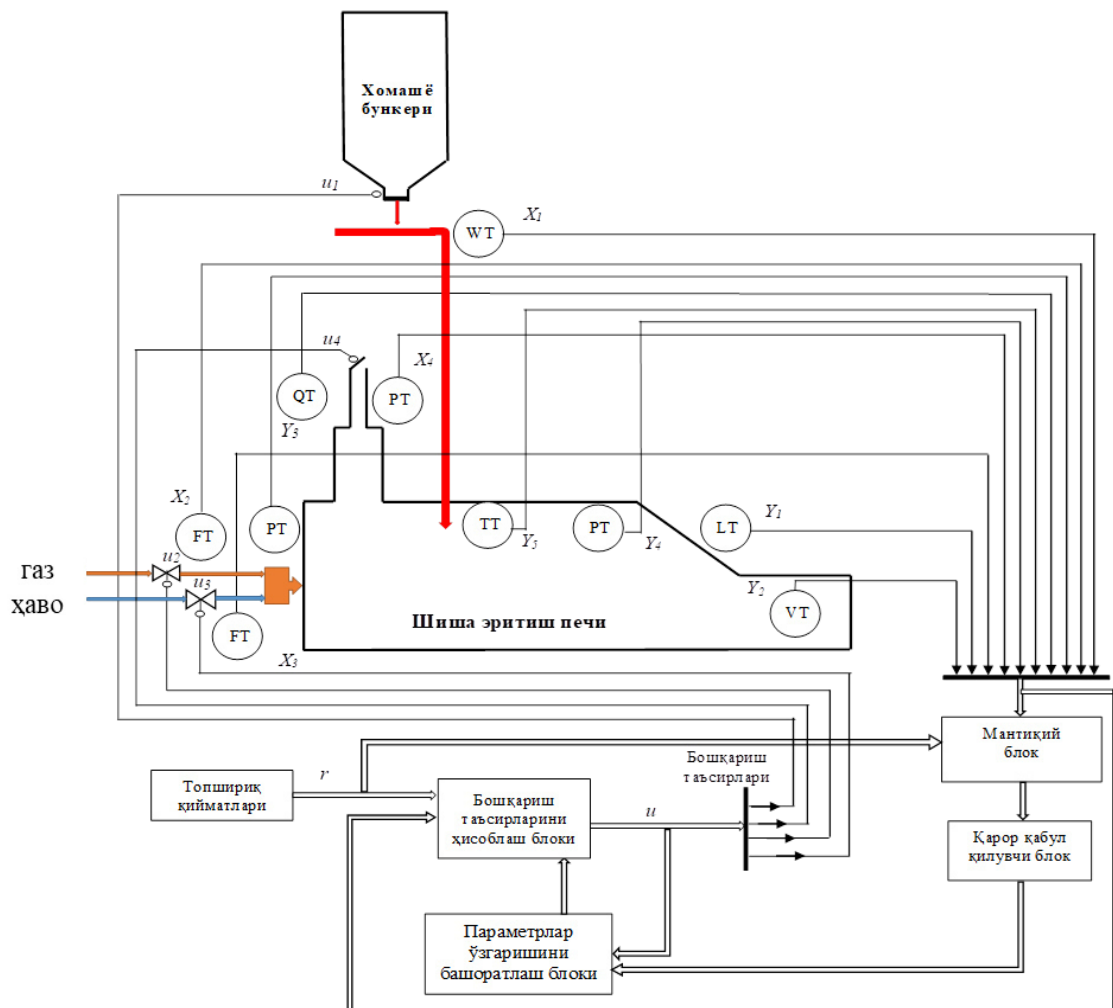


**1-расм.** Шиша эритиш печларидаги ёниш жараёнини ноаниқ бошқариш тизимининг асосий структураси.

Хулосалаш механизми мазкур ноаниқ сигналларни қабул қилгач, бу сигналларни тавсифловчи ноаниқ тўпламларнинг тегишлилик функциялари сақланувчи маълумотлар базаси ҳамда ростлашнинг ноаниқ қоидалари сақланадиган билимлар базасидан фойдаланиб, контроллернинг  $u^*(t)$  ноаниқ чиқиш сигналинини олиш бўйича мантиқий хулосани амалга оширади. Бошқарилувчи жараённинг киришига ижро механизмининг ростлаш органи орқали  $u$  аниқ бошқариш сигнали тушиши зарурлиги

сабабли дефаззификатор  $u^*$  ноаниқ бошқариш сигналини  $u(t)$  аниқ бошқариш сигнаliga ўзгартиради.

Шунингдек, ишда шиша эритиш печининг ишлашини бошқарадиган, 2-расмда тасвирланган интеллектуал тизим ҳам таклиф этилган.



2-расм. Шиша эритиш печини бошқаришнинг интеллектуал тизими.

Шиша эритиш печига ўрнатилган ўлчов воситаларидан келаётган  $X = (X_1, X_2, X_3, X_4)$  ва  $Y = (Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_1)$  сигналлар мантиқий блокда талаб этилган қиймат билан солиштириштирилиб, нисбатан фарқи катта бўлган сигналлар контурининг ростлагичи созлаш параметрларини қайта башоратлаш тўғрисида қарор қабул қилинади ва башоратлаш блокида бошқариш таъсирларини ҳисобга олган ҳолда ростлагич параметрларнинг оптимал қийматлари башоратланади ва бошқариш блокининг созлаш параметрларини ушбу ўзгаришга мослаштиради. Бу ерда  $r$  топшириқ, ишлаб чиқилган ва жорий этилган алгоритмлар, шунингдек башоратловчи моделларнинг параметрлари асосида ноаниқ ростлагич  $U=(u_1, u_2, u_3, u_4)$  бошқариш таъсирларини шакллантиради ва уларни мос ижро механизмларига беради.



Тадқиқот объекти ҳароратларни ростлаш соҳаларига ажратилган бўлиб, ҳар бир алоҳида соҳа печнинг юқори қисми ва тубига ўрнатилган термопаралар билан қайд этиладиган ўзининг хусусий ҳарорат диапазони билан тавсифланади. Диапазонларни аниқлаш учун термлар сони берилган ва ҳар бир терм учун сон ўқидаги кесмалар узунлиги аниқланган. Ҳароратни сифатли бошқариш учун ҳар диапазонни тўққизта термга ажратиш лозим, чунки кесманинг узунлиги термга киритилган ҳароратни номинал қийматга яқинлигига бевосита боғлиқ бўлиб, созлаш ҳам шунчалик аниқ бўлади.

Таклиф этилган ноаниқ ростлагични амалга ошириш учун буль алгебраси асосида FBD тилида дастур ишлаб чиқилган бўлиб, ўз ичига босимнинг олтига фаззификация блокини; ҳар бир соҳа учун ҳарорат ва босимларни ўзгартиришни ноаниқ мантиқий хулосалаш қодаларини амалга оширувчи олтига блокини; бошқариш сигналларини марказий хулосалаш блокнинг ҳароратларини ростлашда ҳар бир соҳанинг вазн коэффициентларини аниқловчи блокларни олади.

Ишда аниқ ва ноаниқ ростлагичли бошқариш тизимларининг афзалликлари ва камчиликлари таҳлил қилинган ҳамда ростлагичлар созланмаларини ростлашнинг талаб этилган сифати ва экологик меъёрларга амал қилган ҳолда ёқилғини ёқишни тежамкорлигини таъминловчи оптимал параметрлари аниқланган. Ҳатто анъанавий ростлагич билан қўйилган мақсадга эришилганда ҳам ноаниқ ростлагичли объект чиқиши кичик қайта ростлаш ва ўтиш жараёни вақтига эга бўлиши аниқланган. Чиқиш катталиги (95–105) % диапазонли чегарага етгандаги вақт каби аниқланадиган ростлаш вақти мазкур чегаралардан чиқмайди. Аниқ ростлагич билан ростлаш вақти 51,2 секундни, ноаниқ ростлагич билан эса 41,8 секундни ташкил этди. Шундай қилиб, ноаниқ ростлагич 9,4 минутга кам бўлган ўтиш жараёни вақтига эга.

Статик хатолик бўлмаганда ростлаш каналидаги ноаниқ мантиқли контроллер минимал вақт билан ғалаён таъсирига ишлов беришни таъминлаши лозимлиги учун ростлагичнинг фаолият кўрсатиш алгоритми сифатида, талаб этилган сифат кўрсаткичларини таъминловчи ва кам алгоритмик мураккабликка эга бўлган, Сугено алгоритмини танлаш мақсадга мувофиқдир. Ноаниқ мантиқли контроллер, ёқилғи сарфини АРТ дан умумий ҳаво сарфини ростлаш тизимига бериладиган топшириқ сигналини илгарилаб назорат қилади.

Ноаниқ мантиқли контроллер тўртта кириш (ҳар бир ростлаш канали учун иккита) ва ҳар бири хусусий бошқариш канали бўлган иккита чиқишга эга. Бунда ростлагичнинг иккита мос киришига ростланаётган катталикни топшириқ қийматдан оғиш сигналлари, иккита бошқа киришларига эса оғишни интегралланган сигналлари берилади.

Кириш лингвистик ўзгарувчиларининг тегишлилик функцияларини кўриниши Гауссни тақсимланиш функциялари кўринишида қабул қилинган бўлиб, лингвистик ўзгарувчиларни янада силлиқроқ ўзгаришларини таъминлайди. Тизим ўтиш тавсифларининг кўринишига махсус талаблар

қўймаганлигини эътиборга олган ҳолда, ноаниқ мантиқли контроллернинг билимлар базасини алгоритмик мураккаблигини камайтириш учун кириш лингвистик ўзгарувчиларининг асосий терм-тўпламлари олтинчи даражада чегарланган. Кириш лингвистик ўзгарувчиларини терм-тўпламларини шкалалаш ўтказилган.  $T$  лингвистик ўзгарувчиларнинг терм-тўплами  $T = \{\text{МанКат}, \text{МанЎр}, \text{МанКич}, \text{МусКич}, \text{МусЎр}, \text{МусКат}\}$  терм номига эга бўлиб, мос равишда «манфий катта», «манфий ўртача», «манфий кичик», «мусбат кичик», «мусбат ўртача», «мусбат катта» ни англатади.

Ноаниқ қоидалар базаси:

- АГАР оғиш  $O_2$  *МанКат* бўлса, УНДА бошқариш  $mf1$   $O_2$  бўлади;
- АГАР оғиш  $O_2$  *МанЎр* бўлса, УНДА бошқариш  $mf2$   $O_2$  бўлади;
- АГАР оғиш  $O_2$  *МанКич* бўлса, УНДА бошқариш  $mf3$   $O_2$  бўлади;
- АГАР оғиш  $O_2$  *МанКич* бўлса, УНДА бошқариш  $mf3$   $O_2$  бўлади;
- АГАР оғиш  $O_2$  *МусЎр* бўлса, УНДА бошқариш  $mf2$   $O_2$  бўлади;
- АГАР оғиш  $O_2$  *МусКат* бўлса, УНДА бошқариш  $mf1$   $O_2$  бўлади;
- АГАР оғиш  $P_m$  *МанКат* бўлса, УНДА бошқариш  $mf1$   $P_m$  бўлади;
- АГАР оғиш  $P_m$  *МанЎр* бўлса, УНДА бошқариш  $mf2$   $P_m$  бўлади;
- АГАР оғиш  $P_m$  *МанКич* бўлса, УНДА бошқариш  $mf3$   $P_m$  бўлади;
- АГАР оғиш  $P_m$  *МусКич* бўлса, УНДА бошқариш  $mf3$   $P_m$  бўлади;
- АГАР оғиш  $P_m$  *МусЎр* бўлса, УНДА бошқариш  $mf2$   $P_m$  бўлади;
- АГАР оғиш  $P_m$  *МусКат* бўлса, УНДА бошқариш  $mf1$   $P_m$  бўлади.

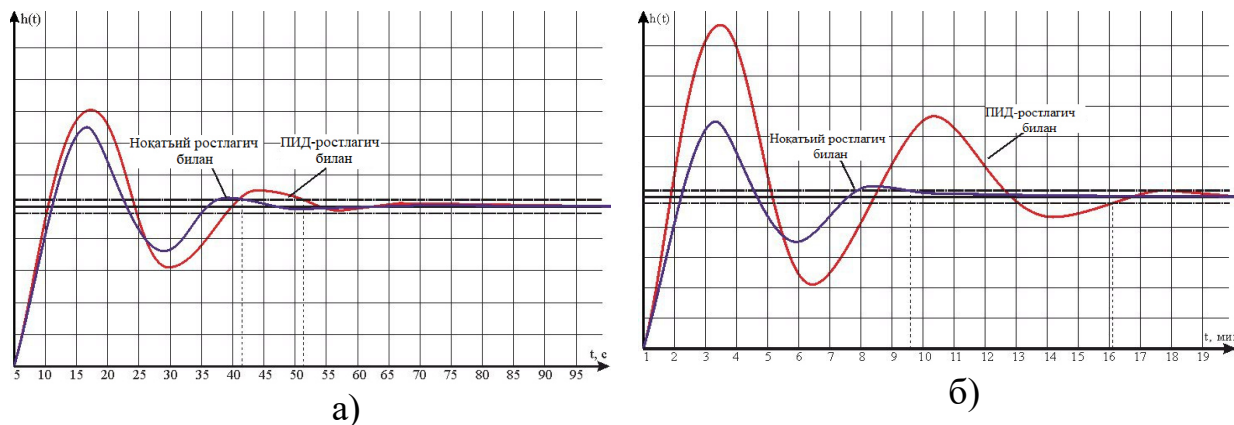
Печни автоматик бошқариш объекти сифатида қараб, унинг газли горелкалари ва ёниш соҳалари статик ва динамик тавсифларини тадқиқ этиш натижасида, унинг инерцион ва инерциясиз қисмларини математик тавсифлари олинган.

Нисбатларни автоматик ростлаш тизимларини амалга ошириш учун аэрациянинг оптимал коэффициентини ростлашни таъминлаш ва газ ёқувчи қурилмаларни хавфсиз ишлатиш учун лозим бўлган амаллар циклини амалга ошириш учун экстремал ростлагич ишлаб чиқилган. Бундан ташқари, қуйидаги тизимларнинг тажриба-ишлаб чиқариш синовлари амалга оширилган: газ ёқувчи печларни комплекс автоматлаштириш учун ёниш хавфсизлигини автоматик тизими; “ёқилғи-ҳаво” нисбатларини ва газ ёқувчи қурилмаларининг ёниш соҳалари ўтказувчанлигини амплитуда-частотавий сигнали интегралли бўйича автоматик ростлаш тизимлари; кичик ва ўрта унумдорликдаги уч йўлли горелкаларда табиий газни икки босқичли ёқилишидаги ёниш жараёнлари автоматик ростлаш тизимлари.

Газ ёқувчи печларда ёқилғи ёнишини интеллектуал бошқариш тизими ишлаб чиқилган бўлиб, у автоматик режимда технологик жараён ва жиҳозлар ҳолати (бошқариш режими, арматуралар ҳолати ва бошқалар) ҳақидаги ахборотларни акс эттиришни ахборот-ҳисоблаш ва бошқариш функциялари тўпламини амалга ошириш, технологик жараёндаги бузилишлар ҳақида сигналлаш, газ горелкаларини ўт олдириш ва ўчириш бўйича технологик амалларни дастурий - мантиқий бошқариш, автоматик ҳимоя ва блокировкалаш, шунингдек функционал клавиатуралар ёрдамида

бошқариш шчитидаги автоматлаштирилган иш ўрни (АИЎ) орқали ижро механизмларини масофадан бошқаришни бажаради.

Тажриба-ишлаб чиқариш синовларида олинган натижалар 3-расмда келтирилган. Расмдан кўриниб турибди-ки, ноаниқ ростлагичли бошқариш объекти анча сифатли ўтиш жараёнига эга.



**3-расм.** Шиша эритиш печидаги босимни (а) ва ҳароратни (б) аниқ (классик) ва ноаниқ (интеллектуал) ростлагичлар билан ростлашнинг ўтиш жараёнлари.

Диссертация ишида олинган натижалар тадқиқот натижаларининг ишончлилигини тасдиқлади ҳамда кичик ва ўрта унумдорликдаги газ горелкалари билан таъминланган ёқилғи агрегатларида улардан фойдаланишда ўзининг самарадорлигини кўрсатди.

## ХУЛОСА

«Печларда интеллектуал бошқариш тизими» мавзусида олиб борилган тадқиқотлар асосида куйидаги илмий натижалар олинган:

1. Шишасозлик саноатининг газ ёқувчи печларини бошқаришни интеллектуал тизимларини структуравий-параметрик таҳлил қилиш ва синтезлашни назарияси ва амалиётини замонавий ҳолати танқидий таҳлил қилинган ва унинг янада ривожланиш ва такомиллашув тенденциялари аниқланган.

2. Газ ёқувчи печлардаги шиша эритиш жараёнининг математик модели ишлаб чиқилган. Модель газ ёқувчи печлардаги ўт олдириш, ёниш ва “ҳаво – ёқилғи газини стехиометрик берилишини ўрганиш имконини беради.

3. Газ ёқувчи печларни интеллектуал бошқариш тизимини архитектураси таклиф этилган ва шиша эритувчи печнинг нейрон тармоқли моделини ўқитишни тўғри ва тескари алоқаларнинг таъсирини ҳисобга олувчи услубияти асосланган. Хатолиги тескари тарқалувчи ўқитишли икки қатламли интеллектуал нейрон тармоғини танлаш асосланган. Натижада шиша эритиш печи жараёнини бошқаришда нейрон тармоқли

моделлаштиришдан фойдаланиш самарадорлигини ошганлиги исботланган.

4. Алангани ўтказувчанлиги ва интеграл ўтказувчанлигининг пульсланишини умумий интегралли амплитуда-частотавий экстремуми бўйича ёнишнинг оптимал коэффициентини назорат қилиш усули ишлаб чиқилган бўлиб, газ-горелкали қурилмаларнинг сифатли тавсифларини назорат қилишни таъминлаш ҳамда ёқилғи аралашмалари компонентлари нисбатларини  $\pm 0,01\alpha_{opt}$  гача аниқлик билан назорат қилиш имконини беради.

5. Шиша эритиш печларида шиша маҳсулотлари ишлаб чиқариш жараёнини бошқаришни такомиллаштирилган усули ишлаб чиқилган бўлиб, печларда газни ёниш жараёнини сифатли назорат қилиш таъминланади. Натижада, ростлашнинг талаб этилган сифати таъминланган.

6. Шиша эритиш печларини бошқаришнинг юқори сифат кўрсаткичларини таъминловчи интеллектуал тизимини структуравий-параметрик синтезлаш амалга оширилган.

7. ПИД-ростлагичларни созлашнинг оптимал параметрларини ҳисобловчи алгоритм ишлаб чиқилган. Натижада, динамик режимда ПИД-ростлагични оптимал параметрларини ҳисоблаш аниқлиги ошган.

8. Шиша массасини реологик хоссаларини тадқиқ этиш учун автоматлаштирилган интеллектуал тизимнинг дастурий-аппаратли мажмуаси ишлаб чиқилган, шунингдек, печ иши тадқиқ этилган ва созлаш амалга оширилган. Натижада, тайёр маҳсулотнинг юқори сифати таъминланган.

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

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**ХОЛМАНОВ УТКИР УКТАМ УГЛИ**

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ В ПЕЧАХ**

05.01.08 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и  
производствами» (технические науки)

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

**Ташкент – 2020**

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за №B2018.2.PhD/T711.

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

**Научный руководитель:** Юсупбеков Надирбек Рустамбекович  
доктор технических наук, профессор, академик

**Официальные оппоненты:** Марахимов Авазжон Рахимович  
доктор технических наук, профессор  
Абдурахмонов Олим Рустамович  
доктор технических наук, профессор


**Ведущая организация:** Навоийский государственный горный институт


Защита диссертации состоится «9» 12 2020 года в 12<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.T.03.02 при Ташкентском государственном техническом университете. (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz).)


С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрировано №178). (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: 246-03-41.)

Автореферат диссертации разослан «27» 11 2020 года.  
(реестр протокола рассылки №29 от «19» 11 2020 года)



  
**Ф.Т.Адылов**  
заместитель председателя Научного совета  
по присуждению учёных степеней,  
доктор технических наук, профессор

  
**У.Ф.Мамиров**  
Ученый секретарь Научного совета  
по присуждению учёных степеней,  
доктор философии (PhD) по техническим наукам

  
**Х.З.Игамбердиев**  
Председатель Научного семинара  
при Научном совете по присуждению учёных степеней,  
доктор технических наук, профессор, академик

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

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире эффективность управления процессом сжигания топлива в печах, определяемая обеспечиваемым автоматическим поддержанием рационального сочетания между подачей расходного сырья и энергоресурсов, регламентированная среднесменной производительностью технологического комплекса или установки и требуемым качеством конечной продукции, оказывает существенное влияние на технико-экономические показатели производства. В этих условиях пристальное внимание уделяется индустриальной автоматизации, в том числе и управлению энерго- и ресурсоемкими технологическими приемами горения топлива в газосжигающих печах с минимальными затратами ресурсов и энергии при обеспечении высокого качества конечной продукции стекловаренного производства.

В мире уровень развития существующего до настоящего времени технического, алгоритмического, математического и информационного обеспечения автоматизированных систем управления технологическими процессами стекловаренного производства предоставляет ограниченные возможности для реализации высокоэффективных систем управления сложными технологическими процессами, которые учитывали бы в реальном масштабе времени все основные и доступные для измерения технологические параметры. В этой связи злободневными и важными задачами являются усовершенствование методов и алгоритмов управления процессами сжигания топлива в стекловаренных печах и повышение безаварийности и технико-экономических показателей варки стекла за счет перспективных принципов построения интеллектуализированных систем управления процессами сжигания топлива в стекловаренных печах с учетом трудной формализуемости возмущений, многофакторности и существенной неполноты и неопределенности исходной информации о протекании исследуемых технологических процессов горения топлива.

В настоящее время в республике значительное внимание уделяется автоматизации и управлению сложными технологическими процессами и производствами, в том числе созданию систем усовершенствованного (или продвинутого) управления технологическими процессами горения топлива по критериям ресурсо- и энергосбережения, а также обеспечения высокого качества промышленной продукции. В Стратегии по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы обозначены задачи «... сокращения энергоемкости и ресурсоемкости экономики, широкого внедрения в производство энергосберегающих технологий, повышения производительности труда в отраслях экономики»<sup>1</sup>. В этом плане создание алгоритмов интеллектуального управления сложными технологическими

---

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

процессами варки стекла в условиях существенной неполноты исходной информации о протекании исследуемого процесса, способствующих повышению точности, быстродействия и качественных показателей конечной продукции, является весьма актуальной и востребованной.

Реферируемое диссертационное исследование в определённой степени служит выполнению задач, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» и Постановлениями №ПП-3151 от 27 июля 2017 года «О мерах по дальнейшему расширению участия отраслей и сфер экономики в повышении качества подготовки специалистов с высшим образованием» и № ПП-3682 от 27 апреля 2018 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов», а также другим к нормативно-правовыми документами, принятыми в данной сфере.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Диссертационное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики IV «Информатизация и развитие информационно-коммуникационных технологий» и VII «Химические технологии и нанотехнологии».

**Степень изученности проблемы.** Анализ научно-технической литературы последних лет, касающейся разработки общепризнанных в качестве перспективных направлений научных исследований интеллектуальных систем, свидетельствует о достижении значительных теоретических и практических результатов в предметной области реферируемого диссертационного исследования. Рассматриваемое в диссертационной работе научно-техническое направление входит в программы приоритетных исследований международных научных организации: International Federation of Automatic Control (IFAC), Institute of Electrical and Electronical Engineering (IEEE), Association for Computing Machinery (ACM), а также Института проблем управления Российской Академик наук, Московского государственного технического университета имени Н.Э.Баумана, МГУ, МФТИ, МИФИ и других организаций.

Большой вклад в теорию анализа и синтеза построения интеллектуальных систем управления динамическими объектами внесли зарубежные ученые: R.A.Aliyev, R.Bellman, M.Brown, M.M.Gupta, K.M.Hangos, C.J.Harris, Y.-Z.Lu, N.K.Sinda, D.A.White, Lotfi Zadeh, A.A.Жданов, П.М.Макаров, Д.А.Поспелов, К.А.Пупков, Б.Я.Советов, Я.З.Цыпкин, Р.М.Юсупов, а также отечественные ученые –Д.А.Абдуллаев, Ф.Т.Адилов, Б.М.Азимов, Т.Ф. Бекмуратов, Х.З.Игамбердиев, М.А.Исмаилов, В.К.Кабулов, А.А.Кадыров, С.С.Касымов, А.З.Камалов, М.М.Камилов, А.Р.Марахимов, И.Х.Сиддиков, Т.Д.Раджабов, Ш.Х.Фозилов, Н.Р.Юсупбеков и другие.



Анализ и обобщение фактического материала аналитического литературного обзора, посвященного современному состоянию теории и практики построения интеллектуальных систем управления технологическими объектами и тенденций их дальнейшего развития и совершенствования, свидетельствует о перспективности разработки востребованных нейроэкспертных методов и алгоритмов распознавания, оптимизации, создания и применения интеллектуальных систем управления для решения насущных задач контроля и управления производственными участками стекловаренного производства.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках научно-исследовательских проектов Ташкентского государственного технического университета по теме: ОТ-Ф7-88 «Совершенствование теоретических основ перспективных энерго- и ресурсосберегающих тепло- массообменных процессов сложных химико-технологических систем получения чистых продуктов» (2017-2020 г.).

**Целью исследования** является разработка методов и алгоритмов построения интеллектуальных систем автоматического контроля и управления технологическим процессом варки стекла в газосжигающих печах промышленных производств.

**Задачи исследования:**

анализ современного состояния теории и практики построения систем интеллектуального контроля, диагностики и управления сложными технологическими процессами и производствами на примере промышленной варки стекла в газосжигающих печах и выявление тенденций их дальнейшего развития и совершенствования;

разработка обобщенной функциональной структуры интеллектуальной системы оперативного управления сложными технологическими процессами и производствами;

представление знаний в полускрытом виде с помощью продукционных правил и функций принадлежности, отражающих взаимосвязь входных и выходных лингвистических переменных и их физическую значимость с возможностью пополнения знаний за счет изменения системы правил, формы и относительного размещения функций принадлежности на базовых осях;

разработка и исследование программного комплекса для системы интеллектуального управления стекловаренных печей с помощью сформированной базы знаний на основе типов продукции; устройством измерения реологических параметров стекломассы; управлением процесса регулирования давления в печах путем автоматической нормализации избыточного давления в исследуемом объекте; управления загрузкой сырья путем измерения уровня в стекловаренных печах;

практическая реализация разработанных алгоритмов и вычислительных схем построения интеллектуальных систем управления исследуемыми технологическими процессами.

**Объектом исследования** являются процессы анализа и синтеза систем интеллектуального контроля, диагностики и управления сложными технологическими процессами горения топлива в сжигающих печах.

**Предмет исследования** составляют методы, модели и алгоритмы построения систем интеллектуального контроля, диагностики и управления сложными технологическими процессами горения топлива в газосжигающих печах.

**Методы исследований.** В диссертационной работе применялись методы и научные положения системного анализа, методы современной теории автоматического управления, принципы методы и алгоритмы интеллектуального управления, технологических измерений и приборов отрасли, математического моделирования и оптимизации сложных теплообменных процессов сжигания топлива в стекловаренных печах и установках, а также математическая обработка результатов измерений.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработана математическая модель процесса варки стекла в газосжигающей печи;

синтезирована оптимальная система управления экономичностью процесса горения топлива в газосжигающих печах;

разработан алгоритм определения оптимальных параметров настроек пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора;

разработана, исследована и осуществлена наладка работы интеллектуальной автоматизированной системы управления печи и программно-аппаратного комплекса для исследования реологических характеристик стекломассы.

предложен метод повышения эффективности процесса горения газообразного топлива путем регулирования состава газовой среды в зонах стекловаренных печей.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработана программно-техническая реализация интеллектуальной системы контроля, диагностики и управления процессом варки стекла в газосжигающих печах;

создан программно-алгоритмический функционально-открытый и расширяемый комплекс технических средств измерения вязкости стекломассы; регулирования давления в печах; управления загрузкой сырья путём измерения уровня стекломассы в плавильных печах;

разработана интеллектуальная система управления процессом сжигания топлива в печах с соответствующим техническим обеспечением, позволившая стабилизировать технологические режимы протекания процессов горения и повысить их эффективность.

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность результатов исследования обеспечивается выполнением теоретически обоснованных выкладок, применением строго выверенных концепций и принципов интеллектуального управления, использованием апробированных методов и алгоритмов современной теории автоматического управления, результатами теоретических и практических исследований, их взаимной согласованностью и фактическим совпадением.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость диссертационной работы состоит в разработке конструктивных алгоритмов структурно-параметрического синтеза интеллектуальных систем контроля и управления сложными технологическими процессами и производствами на примере управления стекловаренными печами, открывающих новые возможности более полного раскрытия потенциала автоматического управления сложными динамическими объектами. Предлагаемая методика обучения искусственной нейронной сети, учитывает влияние прямых и обратных связей и обеспечивает соблюдение предпосылок нейронных сетей за счет одновременного нанесения тестовых воздействий по всем каналам прохождения сигнала.

Практическая значимость результатов исследования состоит в том, что предложенные структура интеллектуальной системы контроля и управления, фаззи-модели динамического объекта, алгоритмы, методики и технические средства контроля и управления открывают более широкие возможности повышения эффективности стекловарения.

**Внедрение результатов исследования.** На основе разработки методов и алгоритмов построения интеллектуальных систем автоматического контроля и управления технологическим процессом варки стекла в газосжигающих печах:

математическая модель, разработанная на основе уравнений теплового баланса процесса варки стекла в газосжигающих печах, внедрена на ООО «Оникс Ташкент» (справка АО «Узавтосаноат» № 09/06-25-1650 от 17.11.2020). В результате обеспечивается экономичность сжигания топлива с соблюдением экологических нормативов;

оптимальная система управления экономичностью процесса горения топлива в газосжигающих печах внедрена на ООО «Оникс Ташкент» (справка АО «Узавтосаноат» № 09/06-25-1650 от 17.11.2020). В результате обеспечиваются требуемые, показатели регулирования и высокое качество конечной продукции при сокращении брака;

программно-аппаратный комплекс для интеллектуальной автоматизированной системы управления стекловаренными печами внедрен на ООО «Оникс Ташкент» (справка АО «Узавтосаноат» № 09/06-25-1650 от 17.11.2020). В результате достигается повышение эффективности газосжигающих печей.

**Апробация результатов исследования.** Результаты диссертационного исследования докладывались, обсуждались и получили

одобрение и поддержку на 3 международных и в 1 республиканской научно-технических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано 16 научных работ, из них 6 журнальных статей, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, в том числе 4 в иностранных журналах, получено 6 свидетельств об официальной регистрации программы для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет 120 страницы.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, выявлены объект и предмет исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологии Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, приведен список внедрения в практику результатов исследования, а также список апробации результатов работы, приведены сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации, озаглавленной **«Современное состояние теории и практики анализа и синтеза интеллектуальных систем управления сложными технологическими процессами и тенденции их дальнейшего развития и совершенствования»**, изложены научные основы интеллектуальных систем контроля и управления сложными технологическими процессами и производствами применительно к запросам стекловаренной промышленности.

Современные интеллектуальные технологии, включая нечеткую логику, искусственные нейронные сети (ИНС), и генетические алгоритмы (ГА), целесообразно использовать при синтезе интеллектуальных систем управления. Благодаря способности реализовывать распределенные вычислительные схемы высокой сложности, что позволяет расширить пространство поиска, не усложняя сложности необходимых вычислений; предоставляет возможности описания процессов управления средствами разговорного языка, возможности формализованного представлять нелинейные объекты и описания процессов, характеризующихся неоднородностью и значительным количеством особых ситуаций; а также обеспечивают способность осуществлять быстрый поиск в пространстве решений слабо формализованных задач.

Системы, включающие элементы искусственного интеллекта, позволяют когнитивно обрабатывать знания, планировать поведение и принимать управленческие решения в условиях неопределённости, реализовывать образы и формировать модели внешней среды. Включение

элементов искусственного интеллекта в состав САУ существенным образом расширяет их функциональные возможности, наделяя систему способностью решать интеллектуальные задачи, которые прежде возлагались на человека.

В связи с этим весьма перспективен подход, связанный с синтезом высокоэффективных САУ сложными слабоформализованными технологическими процессами и производствами с применением методов искусственного интеллекта, ориентированных на формализацию подготовки принятия решений в условиях неопределенности и рисков.

Известны градации систем, обладающих свойством «интеллектуальности в большом». В соответствии с этой классификацией интеллектуальные системы должны обладать многоуровневой структурой со следующими ступенями: обучения; самоорганизации; предсказания событий; работы с базами данных и знаний и, наконец, исполнительный уровень, при которых функции уровня подсистемы поддержки принятия управленческих решений совмещаются со ступенью иерархии управления, на которой осуществляется обработка данных базы знаний.

Во второй главе, озаглавленной «**Моделирование процесса горения топлива в газосжигающих печах**», отражены особенности исследуемого технологического приёма сжигания природного газа в технологической установке – газосжигающей печи; описана: розжиг горелок печи дожига, собственно розжиг горелок топок печи; загрузка сырьевых ресурсов в печь, а также отражен пуск всей технологической установки.

В работе изучена аэродинамика топочного процесса внутри топки-подогревателя и формализованы закономерности перемещения струй в топочной камере. При расчетах выгораний частиц топлива учитывалась способность частиц к движению относительно газового потока, поскольку при этом усиливается теплообмен между частицей и средой и оказывается заметное влияние на процесс сгорания полностью.

При выводе математической модели процесса горения топлива в газосжигающих печах составлены уравнения материального и теплового балансов при условии отсутствия утечек газа и потерь тепла в окружающую среду и выполнены технологические расчеты процесса сжигания топлива – природного газа с использованием аналитически полученных стехиометрических уравнений горения простых газов, расхода окислителя и количества продуктов полного сжигания в технологических условиях. В работе проанализированы методы экономии природного газа в газосжигающих печах. При горении температура продуктов сгорания повышается до температуры горения, определяемой потенциальной энергией топлива. Поскольку тепловой баланс должен соблюдаться во всех случаях для вычисления температуры горения можно использовать энтальпию продукта сгорания, а также топлива или воздуха. Количество тепла, выделившегося при сгорании определенного количества топлива  $F_T$  с теплотой сгорания  $\Delta H$  равно:

$$Q = F_T (\Delta H)_{CH_4} \quad (1)$$

При известных стандартных теплотах сгорания метана, образования  $H_2O$  и образования газообразной углекислоты находим сначала стандартную теплоту сгорания  $(\Delta H)_{CH_4}$  одного киломоля метана.

По закону Гесса, тепловой эффект химической реакции не зависит от того, осуществляется ли реакция непосредственно или проходит через те или иные промежуточные ступени и представляет собой разность между тепловыми эффектами реакции и исходных веществ. Уравнение объема продуктов сгорания

$$V_0 = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V'_{N_2} + V'_{O_2}, \quad (2)$$

где  $V_{CO_2}$  и  $V_{H_2O}$  – объемы окисленного газа и водяных паров, полученные при сжигании в теоретическом количестве воздуха,  $m^3$ ;  $V'_{N_2}$  и  $V'_{O_2}$  – объемы азота и кислорода в продуктах горения с учетом коэффициента избытка воздуха,  $m^3$ .

Уравнение (2) справедливо для условий сгорания топлива с теоретически необходимым количеством воздуха. Промышленные топки и печи обычно работают с избытком воздуха. Очевидно, что при избытке воздуха максимально возможная температура сгорания не достигается.

Получая частные производные уравнения (2), можно оценить коэффициенты влияния ряда параметров на температуру  $T$ , и получить уравнения вида:

$$T = f((\Delta H)_{CH_4}, C_1, T_1, F_1, F_2, C_2, T_2) \quad (3)$$

или

$$T = K_1 * (\Delta H)_{CH_4} + K_2 * F_1 + K_3 * F_2 + K_4 * C_1 + K_5 * C_2 + K_6 * T_1 + K_7 * T_2 \quad (4)$$

На температуру в топке сильно влияют каналы расхода топлива и воздуха. Как показывают опыты, температура горения падает как при избытке, так и при недостатке воздуха, поэтому, несмотря на высокий коэффициент влияния, канал расхода воздуха не может быть выбран в качестве канала управления. Из уравнения (3) следует, что температура  $T$  зависит от многих факторов. Причем, она пропорционально зависит от теплоты сгорания топлива и нелинейно связана с расходом топлива, воздуха, а также с их удельными теплоемкостями.

В работе выполнен анализ современного состояния теории и практики систем контроля и управления процессами горения газообразного топлива в газосжигающих печах; определены пути совершенствования систем контроля и управления и показана перспективность их построения. Изучен процесс розжига, горения и стехиометрической подачи “воздух – топливный газ – кислый газ” в газосжигающих печах, выполнен анализ работы топки-подогревателя и изучена аэродинамика установки. Выполнено математическое моделирование функционирования газовой горелки газосжигающей печи. На основе анализа математических описаний предложена архитектура интеллектуальной системы управления газосжигающими печами и обоснована методика обучения нейросетевой

модели стекловаренной газосжигающей печи, учитывающая влияние прямых и обратных связей. Обоснован выбор двухслойной интеллектуальной нейронной сети с обучением обратным распространением ошибки.

В третьей главе диссертации **«Разработка методов контроля наличия и качества сжигания газообразного топлива»** приведены результаты экспериментальных исследований методов контроля ионизационных характеристик пламени. Исследования проводились на газовых горелках производительностью до 100 м<sup>3</sup>/ч с использованием устройства для измерения ионизационных токов перехода «электрод - факел - горелка» и «электрод - факел - электрод» с помощью высокотемпературных измерительных электродов, погруженных в различные зоны газоздушного факела. Показано, что производительность ( $p$ ), коэффициент выпрямления и температура зоны горения достигают максимума при коэффициенте горения ( $\alpha$ ), обеспечивающем полное сжигание компонентов горючей смеси с минимальным избытком окислителя. Поэтому этот коэффициент может быть назван оптимальным ( $\alpha_{opt}$ ). Установлено, что увеличение производительности горелки приводит к возрастанию производительности зоны горения и к некоторому смещению экстремума статической характеристики измерительного сигнала ( $p$ ) по оси абсцисс в системе координат « $\alpha - p$ » в сторону увеличения абсолютного значения  $\alpha_{opt}$ .

В таблице 1 приведены результаты исследования двухпроводной турбулентной горелки, где  $I_g$  – показатель интенсивности пульсаций производительности пламени, выражаемый как сумма произведений амплитуд ( $A_i$ ) на соответствующие частоты ( $f_i$ ) составляющих ( $i$ ) спектра пульсаций производительности зоны горения:

$$I_g = \sum_{i=1}^n A_i f_i. \quad (5)$$

Взаимосвязь параметра  $I_g$  может быть представлена функциональной зависимостью параметров:

$$I_g = \varphi(W''; p''; t_g; W'; p'; t_2; Q_n^p; S_{kc}; m_{xc}), \quad (6)$$

где:  $W''$ ,  $W'$  – расходы компонентов в зоне горения;  $p'$ ,  $p''$  – давление компонентов перед горелкой;  $t_2, t_g$  – температура газа и воздуха;  $S_{kc}$  – показатель качества подготовки смеси;  $m_{xc}$  – химический состав продуктов горения.

Исследования зависимости экстремума амплитудно-частотной характеристики производительности зоны горения в системе координат ( $\alpha - I_g$ ) от положения измерительного электрода в зоне горения (при его перемещении по оси пламени, начиная от его корня) показали, что погружение электрода в факел приводит к возрастанию выходного параметра  $I_g$  с сохранением его экстремума при  $\alpha_{opt}$ , в то время как перемещение электрода по радиусу от оси пламени к его боковой

поверхности приводит к его уменьшению. Установлено, что максимальные значения параметра и минимальные его флуктуации достигаются при расположении контрольного измерительного электрода по оси факела в зоне его максимальной ионизации.

Таблица 1.

Зависимость параметров зоны горения от производительности газовой горелки и коэффициента аэрации

№ п/п	$W'_{г}$ м <sup>3</sup> /ч	$\alpha$	f <sub>1</sub> гц.	A <sub>1</sub> В.	f <sub>2</sub> гц.	A <sub>2</sub> В.	f <sub>3</sub> гц.	A <sub>3</sub> В.	f <sub>4</sub> гц.	A <sub>4</sub> В.	$I_{в\mu A}$	t° С
1	13	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1192
2	13	1,04	8,3	1	200	0,15	-	-	-	-	38	1202
3	13	1,25	8,3	0,5	48	0,8	143	0,3	-	-	81	1241
4	13	1,19	11	0,6	50	0,5	100	0,3	-	-	61	1216
5	13	1,42	50	0,3	143	0,2	-	-	-	-	4	1116
6	21	0,85	-	-	-	-	-	-	-	-	0	1203
7	21	0,96	21	1,1	8	1,0	90	0,3	-	-	58	1221
8	21	1,04	8,3	0,5	77	0,6	142	0,1	-	-	64	1228
9	21	1,10	12	1,0	25	1,0	200	0,3	-	-	98	1237
10	21	1,25	10	1,1	40	1,1	167	0,3	-	-	112	1247
11	21	1,28	8,0	0,8	31	1,2	140	0,8	330	0,07	180	1257
12	21	1,46	7,0	1,2	33	0,7	200	0,1	-	-	51	1132
13	28	0,96	50	0,2	143	0,1	-	-	-	-	39	1217
14	28	1,20	5	0,8	25	0,6	100	0,2	250	0,1	64	1262
15	28	1,28	8,4	1,0	33	1,0	167	0,8	250	0,15	212	1287
16	28	1,41	20	0,6	50	0,6	330	0,1	-	-	75	1141
17	28	1,43	28	0,45	78	0,5	467	0,02	-	-	61	1120

В четвёртой главе, озаглавленной «**Интеллектуальное управление процессами сжигания топлива в газосжигающих печах**», изложена сущность выдвинутого в работе способа, позволяющего управлять производством стеклянной продукции в печах и раскрыты особенности нечеткого управления их температурными режимами. Сущность способа управления загрузкой сырья в печь заключается в измерении температуры шихты и времени предварительного его хранения. При уменьшении температуры и при увеличении времени хранения осуществляется корректировка соотношения шихты и загружаемого в печь стеклобоя путем увеличения подачи последнего. При этом предлагается регулировать загрузку сырья в печь, исходя из уровня стекломассы в печи, измеряя расходы шихты и стеклобоя, а также задавая соотношения расходов шихты и стеклобоя при эффективном использовании убыточного тепла. В предложенном способе предусмотрены контроль и прогнозирование снижения качества шихты при понижении температуры. Также предусмотрено корректирование задания в виде соотношения расходов “шихта - стеклобой” в программируемом контроллере при прогнозе снижения качества стеклобоя. При снижении температуры шихты предусматривается увеличение расхода стеклобоя путем подачи сигнала от контроллера на вибрационный дозатор в бункере стеклобоя до



установления нового значения соотношения расходов или уменьшения подачи горячего воздуха рекуператора в бункер шихты. При увеличении температуры шихты аналогичным образом снижаются расход стеклобоя и подача горячего воздуха. Таким образом, реализация предлагаемого способа позволяет прогнозировать качество шихты с учетом покомпонентного состава, влажности и температуры готовой шихты и стеклобоя и в соответствии с этим корректировать подачу сырья в печь. Применение схемы с рекуператором позволяет эффективно использовать тепло дымовых газов и значительно уменьшить тепловые потери процесса за счет уменьшения влажности стеклобоя и обогрева готовой шихты и стеклобоя, не изменяя расхода топлива.

В диссертационной работе рассмотрены особенности нечеткого управления температурными режимами в газосжигающих печах. Выполнен структурно-параметрический синтез системы управления процессом сжигания топлива в газосжигающих печах, базовая структура которой приведена на рис.1

Текущий выход  $y(t)$  управляемого процесса в виде четкого сигнала поступает по линии обратной связи на вход системы, где сравнивается в элементе  $\Delta$  с четким заданием  $g(t)$ . Ошибка  $e(t)$ , если требуются и ее производные  $e'(t)$ ,  $e''(t)$ , ..., интеграл от ошибки ( $\sum e_i(t)$ ), - поступают в виде четких сигналов на вход контроллера. Последний включает в свой состав фаззификатор, предназначенный для трансформации четких сигналов  $e(t)$ ,  $e'(t)$ ,  $\sum e_i(t)$  и др. в нечеткие множества  $e'(t)$ ,  $e''(t)$ ,  $\sum e'_i(t)$  и др.

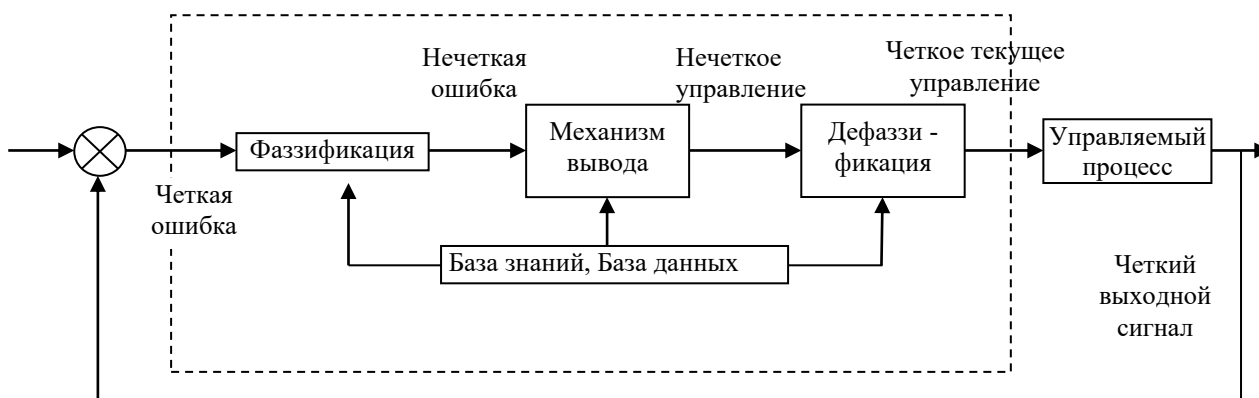


Рис.1. Базовая структура нечеткой системы управления процессом горения в стекловаренных печах.

Механизм вывода получая эти нечеткие сигналы с использованием базы данных, где хранятся функции принадлежности нечётких множеств, описывающих эти сигналы, а также базы знаний, где хранятся нечеткие правила регулирования, осуществляет логический вывод для получения выходного нечеткого сигнала  $u^*(t)$  контроллера. Поскольку на вход управляемого процесса через регулирующий орган исполнительного

механизма должен поступать четкий управляющий сигнал  $u$ , то дефазификатор осуществляет трансформацию нечеткого управления  $u^*$  в четкий сигнал управления  $u(t)$ .

В работе также предложена интеллектуальная система управления функционированием стекловаренной печи, изображенная на рис.2.

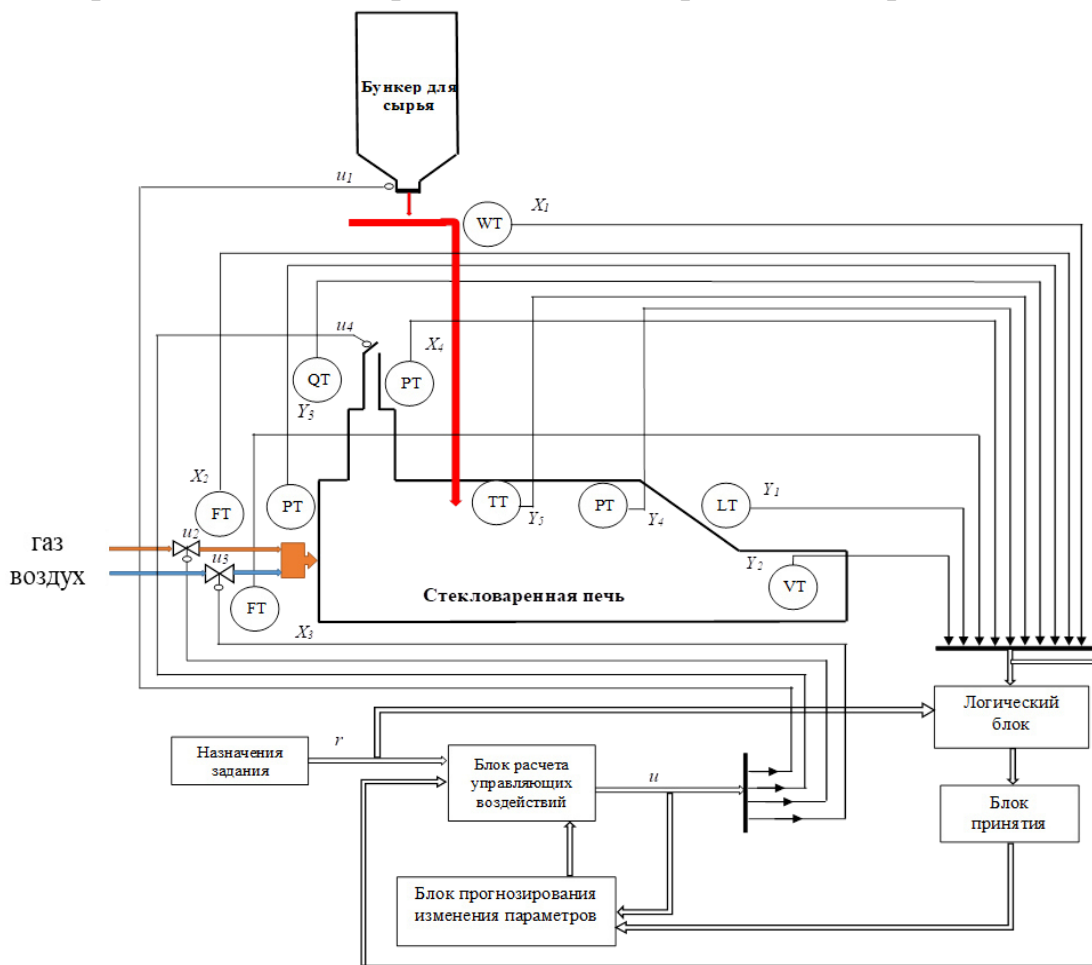


Рис.2. Интеллектуальная система управления стекловаренной печью.

Сигналы о состоянии стекловаренной печи  $X = (X_1, X_2, X_3, X_4)$  и  $Y = (Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5)$ , поступающие от средств измерения сравниваются с заданным значением в логическом блоке, установленных в печи. Далее данные передаются в логический блок для формирования логических связей между входными и выходными параметрами объекта управления на основе нечеткой логики. Эти данные затем поступают в блок прогнозирования параметров, где на основе взаимосвязей формируется прогнозная модель, параметры которой и передаются в блок расчета управляющих воздействий. Здесь на основе задания  $r$ , разработанных и внедренных алгоритмов, а также по параметрам прогнозируемой модели нечетким регулятором формируются управляющие воздействия  $U = (u_1, u_2, u_3, u_4)$ , которые подаются на соответствующие исполнительные механизмы.

Объект исследования разделен на зоны регулирования температур: каждой отдельной зоны характерен собственный диапазон температур, который фиксируются термopарами, установленными на своде и на дне печи. Для определения диапазонов задано количество термов и определены длины отрезков на числовой оси для каждого терма. Для качественного регулирования температуры необходимо разбить каждый диапазон на девять термов, причем длина отрезка прямой будет непосредственно зависеть от близости к номинальному значению температуры, включенной в терм и тем точнее будет настройка.

Для реализации предложенного нечеткого регулятора на основе булевой алгебры разработана программа на языке FBD, включающая в себя: шесть блоков фазсификации для давления; шесть блоков, реализующих правила нечеткого логического вывода, для каждой зоны - блоки для преобразования температуры, и для давления; блоков, определяющих весовые коэффициенты каждой зоны в общем регулировании температуры блока центрального вывода управляющих сигналов.

В работе проанализированы преимущества и недостатки системы управления с четкими и нечеткими регуляторами и выявлены оптимальные параметры настроек регуляторов, обеспечивающих требуемое качество регулирования и экономичность сжигания топлива с соблюдением экологических нормативов. Установлено, что даже когда традиционные регуляторы справляются с поставленной целью, выход объекта с нечетким контроллером обладает меньшими перерегулированием и временем переходного процесса. Время регулирования, определяемое как время, при достижении которого выходная величина достигает границ диапазона (95 – 105) % и больше, не выходит за эти пределы. Время регулирования с четким регулятором составляет 51,2 с, а с нечетким регулятором – 41,8 с. Таким образом, нечеткий регулятор обладает на 9,4 мин меньшим временем переходного процесса.

Благодаря тому, что нечеткий контроллер в канале регулирования должен обеспечивать отработку возмущающих воздействий за минимальное время при отсутствии статической ошибки, в качестве алгоритма функционирования регулятора предпочтение следует отдать алгоритму Сугено, обеспечивающему те же качественные показатели, но при меньшей алгоритмической сложности. Нечеткий контроллер с опережением контролирует сигнал задания, поступающий с САР расхода топлива на систему регулирования расхода общего воздуха.

Нечеткий контроллер содержит четыре входа (по два на каждый канал регулирования) и два выхода - каждый на собственный канал управления. При этом на два соответствующих входа регулятора введены сигналы отклонения регулируемой величины от заданного значения, а на два других входа – проинтегрированные сигналы отклонения.

Вид функций принадлежности входных лингвистических переменных принят в виде функций распределения Гаусса, что обеспечило более гладкое изменение лингвистической переменной. Учитывая, что к виду переходной характеристики системы не предъявляются специальных требований, для снижения алгоритмической сложности базы знаний нечеткого контроллера базовое терм-множество входных лингвистических переменных ограничено на уровне шести. Проведено шкалирование терм-множества входных лингвистических переменных. Терм-множество  $T$  лингвистических переменных имеет названия термов:  $T = \{ОБ, ОС, ОМ, ПМ, ПС, ПБ\}$ , означающих соответственно "отрицательная большая", "отрицательная средняя", "отрицательная малая", "положительная малая", "положительная средняя", "положительная большая".

База нечетких правил:

- ЕСЛИ отклонение  $O_2$  *ОБ* ТО управление  $mf1$   $O_2$ ;
- ЕСЛИ отклонение  $O_2$  *ОС* ТО управление  $mf2$   $O_2$ ;
- ЕСЛИ отклонение  $O_2$  *ОМ* ТО управление  $mf3$   $O_2$ ;
- ЕСЛИ отклонение  $O_2$  *ОМ* ТО управление  $mf3$   $O_2$ ;
- ЕСЛИ отклонение  $O_2$  *ПС* ТО управление  $mf2$   $O_2$ ;
- ЕСЛИ отклонение  $O_2$  *ПБ* ТО управление  $mf1$   $O_2$ ;
- ЕСЛИ отклонение  $P_m$  *ОБ* ТО управление  $mf1$   $P_m$ ;
- ЕСЛИ отклонение  $P_m$  *ОС* ТО управление  $mf2$   $P_m$ ;
- ЕСЛИ отклонение  $P_m$  *ОМ* ТО управление  $mf3$   $P_m$ ;
- ЕСЛИ отклонение  $P_m$  *ПМ* ТО управление  $mf3$   $P_m$ ;
- ЕСЛИ отклонение  $P_m$  *ПС* ТО управление  $mf2$   $P_m$ ;
- ЕСЛИ отклонение  $P_m$  *ПБ* ТО управление  $mf1$   $P_m$ .

В результате исследований статических и динамических характеристик газовых горелок и зоны горения печи как объекта автоматического управления получены математические описания ее инерционной и безынерционной части.

Для реализации системы автоматического регулирования соотношения разработан экстремальный регулятор, позволяющий обеспечить регулирование оптимального коэффициента аэрации и осуществить цикл операций, необходимых для безопасной эксплуатации газосжигающих установок. Кроме того, осуществлены опытно-производственные испытания разработок: системы автоматики безопасности горения для комплексной автоматизации газосжигающих печей; системы автоматического регулирования соотношения «топливо-воздух» и по интегральному амплитудно-частотному сигналу проводимости зоны горения газосжигающей установки; системы автоматического регулирования процессом горения при двухстадийном сжигании природного газа в трехпроводных горелках малой и средней производительности.

Разработана интеллектуальная система управления горением топлива в газосжигающих печах, выполняющая в автоматическом режиме совокупность информационно-вычислительных и управляющих функций

предоставления информации о ходе технологического процесса и состоянии оборудования (режимы управления, состояние арматуры и др.), сигнализацию о нарушениях технологического процесса, программное логическое управление технологическими операциями по розжигу и выключению газовых горелок, автоматическую защиту и блокировки, а также дистанционное управление исполнительными механизмами с автоматизированного рабочего места (АРМ) на щите управления с помощью функциональной клавиатуры. Полученные результаты опытно-производственных испытаний приведены на рис 3. Из рисунка видно, что объект управления системы с нечётким регулятором имеет значительно качественный переходной процесс.

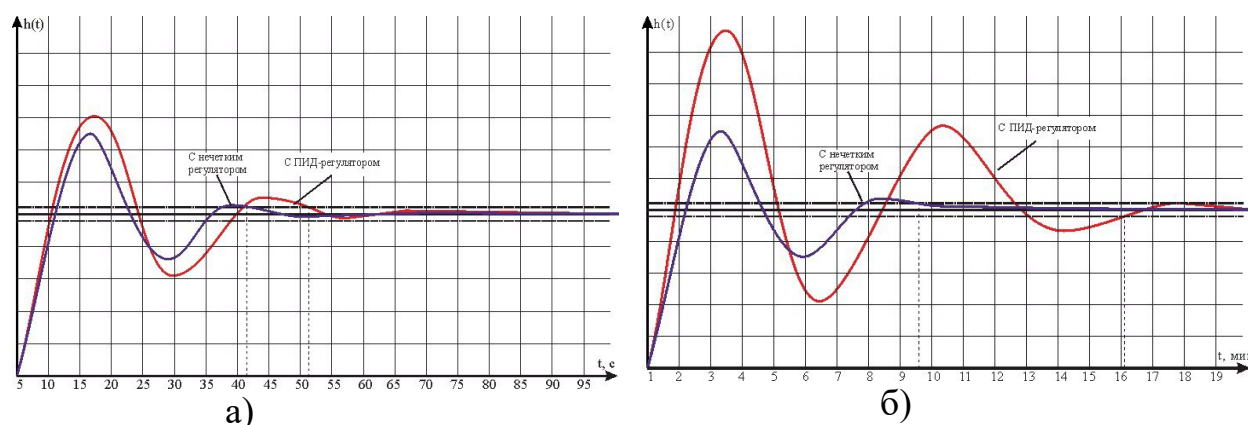


Рис 3. Переходные процессы регулирования давления (а) и температуры (б) в стекловаренной печи с (классическим) четким и (интеллектуальным) нечётким регуляторами.

Полученные результаты диссертационной работы подтвердили достоверность результатов исследования и показали эффективность их использования в топливных агрегатах, оснащенных газовыми горелками малой и средней производительности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведённых исследований по теме «Интеллектуальная система управления в печах» получены следующие научные результаты:

1. С критических позиции проанализировано современное состояние теории и практики структурно-параметрического анализа и синтеза интеллектуальных систем управления газосжигающими печами стекловаренного производства и выявлены тенденции их дальнейшего развития и совершенствования.

2. Разработана математическая модель процесса варки стекла в газосжигающей печи. Модель позволяет изучить процесс розжига, горения и стехиометрическую подачу “воздух – топливной газ” в газосжигающих печах.

3. Предложена архитектура интеллектуальной системы управления газосжигающими печами и обоснована методика обучения нейросетевой модели стекловаренной газосжигающей печи, учитывающая влияние прямых и обратных связей. Обоснован выбор двухслойной интеллектуальной нейронной сети с обучением обратным распространением ошибки. В результате доказана эффективность применения нейросетевого моделирования управлением процесса печи стекловарения.

4. Разработан способ контроля оптимального коэффициента горения по экстремуму суммарной интегральной амплитудно – частотной характеристики пульсаций приводимости и интегральной проводимости пламени, позволяющий обеспечить контроль качественных характеристик газогорелочных устройств, что даёт возможность осуществить контроль соотношения компонентов горючей смеси с точностью до  $\pm 0,01\alpha_{opt}$ .

5. Разработаны усовершенствованный способ управления процессом производства стеклянной продукции в стекловаренных печах обеспечивающий качественный контроль процесса горения газа в печи. В результате обеспечивается требуемое качество регулирования.

6. Произведён структурно-параметрический синтез интеллектуальной системы управления стекловаренной печью, обеспечивающий высокие качественные показатели.

7. Разработан алгоритм расчёта оптимальных параметров настроек ПИД-регулятора, обеспечивающий большую гибкость в настройке параметров ПИД регулятора. В результате повысилась точность вычислений оптимальных параметров ПИД регулятора в динамическом режиме.

8. Разработана программно-аппаратный комплекс интеллектуальной автоматизированной системы управления для исследования реологических характеристик стекломассы, а также исследована и осуществлена наладка работы печи. В результате обеспечивается высокое качество конечной продукции.

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

---

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

**KHOLMANOV UTKIR UKTAM UGLI**

**INTELLIGENT CONTROL SYSTEM IN OVENS**

**05.01.08 – Automation and control of technological processes and manufactures  
(technical sciences)**

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

**Tashkent – 2020**

The theme of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan in number B2018.2.PhD/T711.

The dissertation has been prepared at Tashkent State Technical University.

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

**Scientific adviser:** **Yusupbekov Nodirbek Rustambekovich**  
Academician, Doctor of Technical Sciences

**Official opponents:** **Maraximov Avazjon Raximovich**  
doctor of technical sciences, professor

**Abdurahmonov Olim Rustamovich**  
doctor of technical sciences, professor

**Leading organization:** **Navoi state mining institute**

Defense of dissertation will take place in « 9 » 12 2020 at 12<sup>00</sup> o'clock at a meeting of the scientific council DSc.03/30.12.2019.T.03.02 at the Tashkent state technical university (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (+99871) 246-46-00; fax: (+99871) 227-10-32; e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz)).

The doctoral dissertation could be reviewed at the Information-resource center of Tashkent State Technical University (registration number 178). (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (+99871) 246-03-41.)

Abstract of dissertation sent out on « 27 » 11 2020 year.  
(mailing report № 29, on « 19 » 11 2020 year).



**F.T. Adilov**  
Vice-Chairman of Scientific council  
on awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor

**U.F. Mamirov**  
Scientific secretary of Scientific council  
on awarding scientific degrees,  
PhD in technical sciences

**H.Z. Igamberdiev**  
Chairman of the Academic seminar  
under the Scientific council on awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor, academician



## INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**The aim of the research** is to develop methods and algorithms for the construction of intelligent systems for automatic monitoring and control of the technological process of glass melting in gas-fired ovens of industrial production.

**The object of research** is the processes of analysis and synthesis of intelligent control systems, diagnostics and management of complex technological processes of fuel combustion in combustion ovens.

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

the software for the automated control system for the technological process of glass melting has been developed;

an optimal control system for the efficiency of the fuel combustion process in gas-fired ovens has been synthesized;

solved the problem of engineering calculation of the optimal settings for the proportional-integral-differential controller;

the work of an intelligent automated control system of the oven and a software and hardware complex for studying the rheological characteristics of molten glass has been developed, studied and carried out;

the efficiency of gaseous fuel has been increased and the regulation of a given composition of gaseous media in the zones of glass-making furnaces has been implemented.

**Implementation of research results.** Based on the development of methods and algorithms for constructing intelligent systems for automatic control and management of the technological process of glass melting in gas-fired ovens, the following types of implemented results were obtained at LLC “Oniks Tashkent”:

the software for the automated control system for the technological process of glass melting has been developed (reference of JSC “Uzavtosanoat” №09/06-25-1650 of 11.17.2020). As a result, fuel combustion is economical in compliance with environmental standards;

an optimal control system for the efficiency of the fuel combustion process in gas-fired ovens has been synthesized (reference of JSC “Uzavtosanoat” №09/06-25-1650 of 11.17.2020). As a result, the required indicators of regulation and high quality of the final product are provided while reducing rejects;

the work of an intelligent automated control system for the furnace and the hardware and software complex was developed, investigated and carried out to comply with the rheological characteristics of the molten glass (reference of JSC “Uzavtosanoat” №09/06-25-1650 of 11.17.2020). The result is an increase in the efficiency of gas-fired ovens.

**Structure and volume of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a bibliography and annexes. The total volume of the thesis is 120 pages.

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

**I бўлим (Часть I; Part I)**

1. Ruziev U.A., Shodiev M.K., Kholmanov U.U. Measuring of Viscosity of the Liquid with the Tapering Device // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. India 2017, Vol. 4, Issue 10, October 2017, -PP.4709-4714 (05.00.00, № 8)
2. Bobomurodov N.X., Holmanov U.U. Mathematical modeling of a gas burner of combustion of natural gas in glass furnaces // International scientific and technical journal «Chemical technology control and management», special issue-04-05, 2018. -PP.158-161 (ЎзР ОАК Раёсатининг қарори №256/8.2 28.09.2018 й)
3. Rajabov A.T., Kholmanov U.U. Automatic Control and Management of Technological Processes of Glassmaking Production // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems, vol. 12, special issue-06, 2020. -PP.764-770 DOI: 10.5373/JARDCS/V12SP6/SP20201092. (Scopus)
4. Юсупбеков Н.Р., Холманов У.У. Система контроля и управления тепловым режимом стекловаренной печи // Промышленные АСУ и контроллеры. –Москва, 2020. -№ 4. –С.3 - 7. (05.00.00, № 69)
5. Юсупбеков Н.Р., Холманов У.У. Динамическая модель технологического процесса варки стекла в стекловаренных печах // Промышленные АСУ и контроллеры. -Москва, 2020. -№ 9. –С.19 - 26. (05.00.00, № 69)
6. Kholmanov U.U. Structural - parametric analysis and synthesis of the observer of the state of a glass furnace // International scientific and technical journal «Chemical technology control and management», special issue-04, PP.52-56, 2020 (05.00.00, № 12)

**II бўлим (Часть II; Part II)**

7. Юсупбеков А.Н., Холманов У.У., Бекмуратов А.А. Реологические методы контроля и управления процессов в производстве машинных масел / Актуальные вопросы в области технических и социально – экономических наук, Республиканский межвузовский сборник, Часть II, 2016. Ташкент, Узбекистан, –С.264-266.
8. Kholmanov U.U. Energy efficient pre-emergency management of the fuel combustion process in furnaces / International conference on integrated innovative developmend of Zarafshan region achievements, challenges and prospects, 27-28 november, 2019. Navoi, Uzbekistan. –PP.462-466.
9. Шамсутдинова В.Х., Холманов У.У. Автоматическое управление процессом горения в газосжигающих печах на основе нечёткой логики / International Online Conference Economics Social Sciences, 8-9 September 2020, Kyrenia TRNC. –PP.96-103.

10. Ражабов А.Т., Холманов У.У. Автоматизация технологических процессов стекловарения / Инновацион техника ва технологияларнинг атроф муҳит муҳофазаси соҳасидаги муаммо ва истикболлари / Халқаро илмий-техник on-line анжуман илмий ишлар тўплами. ТошДТУ, 17-19 сентябрь, 2020. Тошкент, Узбекистан. –РР.94-95.
11. Юсупбеков Н.Р., Холманов У.У. Программное обеспечение для интеллектуальной системы регулирования и управления расходом газа и воздуха в печах плавления сырья для стекла / Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан, № DGU 06267, 2019 г.
12. Юсупбеков Н.Р., Холманов У.У. Программное обеспечение для интеллектуальной системы регулирования и управления процессом загрузки сырья путем измерения в печах плавления / Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. № DGU 06401, 2019 г.
13. Юсупбеков Н.Р., Холманов У.У., Ниёзов А.Г. Программное обеспечение для интеллектуального управления температурой в зонах стекловаренных печей с помощью сформированной базы на основе типов продукции / Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. № DGU 07776, 2019 г.
14. Юсупбеков Н.Р., Холманов У.У., Ражабов А.Т. Программное обеспечение для интеллектуальной системы управления процессом регулирования давления в печах путем автоматической нормализации избыточного давления / Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. № DGU 06378, 2019 г.
15. Юсупбеков Н.Р., Холманов У.У. Программное обеспечение для управления устройством измерения вязкости стекломассы / Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. № DGU 06918, 2019 г.
16. Юсупбеков Н.Р., Холманов У.У. Программное обеспечение для интеллектуальной системы регулирования, измерения и контроля параметров процесса варки стекла на основе современных интеллектуальных датчиков / Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан. № DGU 08937, 2020 г.

Автореферат "Техника фанлари ва инновация" илмий журнали тахририятида тахрирдан ўтказилди ҳамда ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларини мослиги текширилди.

Бичими: 84x60 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. «Times New Roman» гарнитура рақамли босма усулда босилди.

Шартли босма табағи: 3. Адади 100. Буюртма № 100.

Гувоҳнома №10-3719

«Тошкент кимё-технология институти» босмаҳонасида чоп этилди.

100170, Тошкент, Навоий кўчаси, 32-уй.