

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

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

БОБОМУРОДОВ НАСРИДДИН ХАСАНОВИЧ

**ГАЗ ЁҚУВЧИ ПЕЧЛАРДАГИ ЁНИШ ЖАРАЁНИНИ НАЗОРАТ
ҚИЛИШ ВА БОШҚАРИШ**

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

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

Тошкент– 2020

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Бобомуродов Насриддин Хасанович

Газ ёқувчи печлардаги ёниш жараёнини назорат қилиш ва бошқариш3

Бобомуродов Насриддин Хасанович

Контроль и управление процессом горения в газосжигающих печах21

Bobomurodov Nasriddin Hasanovich

Monitoring and control of the combustion process in gas-burning furnaces39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works43

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

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

БОБОМУРОДОВ НАСРИДДИН ХАСАНОВИЧ

**ГАЗ ЁҚУВЧИ ПЕЧЛАРДАГИ ЁНИШ ЖАРАЁНИНИ НАЗОРАТ
ҚИЛИШ ВА БОШҚАРИШ**

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

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

Тошкент– 2020

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси хузуридаги Олий аттестация комиссиясида №B2018.2.PhD/T703 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

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

Илмий раҳбар:

Юсупбеков Нодирбек Рустамбекович
техника фанлари доктори, профессор, академик

Расмий оппонентлар:

Севинов Жасур Усманович
техника фанлари доктори, доцент

Кадиров Ёркин Баходирович
техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)

Етакчи ташкилот:

«Ximavtomatika» МЧЖ

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети хузуридаги DSc.03/30.12.2019.T.03.02 рақамли Илмий кенгашнинг 2020 йил «13» 06 соат 11⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (148 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (99871) 246-03-41).

Диссертация автореферати 2020 йил «06» 06 кuni тарқатилди.
(2020 йил «01» 06 даги 7 рақамли реестр баённомаси).



Ф.Т.Адилов

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 сўнги вақтларда газ ёқувчи печларда ёқилги ёнишининг мураккаб технологик жараёнларини автоматик назорат қилиш ва бошқариш масалаларини иссиқлик жараёнларини автоматик бошқариш тизимларига ҳамда натижаларни операторга маслаҳат кўринишида ёки объектда жойлашган ижро механизмларига бошқариш таъсирлари – сигналлари сифатида узатувчи ЭХМ ларга юклашга алоҳида эътибор қаратилмоқда. «Иссиқлик-технологик жараёнларда ресурс ва энергия тежамкорликни таъминлаш мақсадида «Саноат 4.0» деб номланган тўртинчи саноат инқилоби воситаларидан кимё, нефткимё, металлургия, озиқ-овқат ва қурилиш материаллари ишлаб чиқариш соҳаларида фойдаланиш»¹ саноат тармоқларида етакчи ўринни эгаллаб келмоқда. Бу борада Америка, Европа ва Осиёнинг ривожланган мамлакатларида тўртинчи саноат инқилоби воситаларидан саноатда фойдаланиш даражаси бўйича глобал харита ишлаб чиқилган бўлиб, унда энергия тежамкор технологияларни қўллаб-қувватлаш ва кўп параметрли бошқаришни таъминловчи автоматлаштиришнинг экстремал бошқариш тизимларини амалга ошириш муҳим вазифалардан бири ҳисобланмоқда.

Жаҳонда газли аралашмалардан иборат ёқилги ёқувчи мураккаб технологик жараёнларни бошқариш сифатини оширишга қаратилган илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Бу борада, жумладан, газ аралашмаларини печларда ёниш жараёнини назорат қилиш ва бошқариш орқали жараён самарадорлигини ошириш, атмосферага ташланадиган чиқинди газлардаги зарарли моддалар миқдорини камайтириш муҳим аҳамият касб этмоқда.

Республикамизда ҳозирги кунда фан ва техниканинг технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни автоматлаштириш ва бошқариш йўналишлари муҳим ҳисобланиб, жумладан, иссиқлик-технологик жараёнларни автоматлаштириш ва бошқаришда энергия ва ресурс тежамкорликни таъминловчи бошқариш тизимларини яратишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. 2017–2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан, «... иқтисодийнинг энергия ва ресурс сарфини қисқартириш, ишлаб чиқаришга энергия тежамкор технологияларни жорий этиш, иқтисодий тармоқларидаги меҳнат унумдорлигини ошириш»² вазифалари белгилаб берилган. Мазкур вазифаларни амалга ошириш, жумладан, газ ёқувчи печларда ёқилги газини тўла ёнишини бошқариш орқали чиқинди газлар таркибидаги зарарли моддалар миқдорини камайтириш, ёниш жараёни самарадорлигини ошириш ва энергия тежамкорликка эришиш имконини берувчи ростлагичлар асосида иссиқлик алмашилишининг мураккаб технологик жараёнларини бошқаришнинг юқори самарали тизимларини синтезлаш муҳим масалалардан бири ҳисобланади.

¹ Embracing Industry 4.0 and Redicovering Grawth. URL: <https://www.bcg.com/capabilities/operations/embracing-industry-4.0-redicowering-growth.aspx> (accessed 3 January 2017).

² Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ–4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2018 йил 22 февралдаги ПҚ-3557-сон «Иқтисодиёт базавий тармоқларидаги лойиҳа ишларини ҳамда муҳандис-лойиҳаловчиларни тайёрлаш тизимини янада такомиллаштириш 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 меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

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

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Жаҳон миқёсида илмий-тадқиқотлар натижасида печ ва агрегатларда газ ёқилғисини ёниш жараёнини назорат қилиш ва бошқаришнинг самарали тизимларини ривожлантиришга: “Honeywell”, University of California, Massachusetts Institute of Technology (АҚШ), “Linde Aktiengesellschaft”, “Jasper GmbH” (Олмония), “Mitsubishi hitachi power systems” Ltd (Япония), Cuenod (Франция), Imperial College London (Буюк Британия), Shell Global Solution (Буюк Британия-Голландия), Osaka University ва Tokyo Institute of Technology (Япония), Korea Advanced Institute of Science and Technology (Жанубий Корея), “Лазиска” (Польша), “ПромМатика” компанияси (Россия), Магнитогорск давлат технологиялар университети (Россия) каби етакчи фирмалар, илмий ва олий таълим муассасалари ҳамда Johannes Josef, Edmund Martin, Cameron Endrew, Akinori Hayashi, Yasuhiro Wada, Гинтер Груча, Хенрик Тимовски, А.С.Соколик, Б.А.Казанский, М.А.Таймаров, В.А.Арсеев, А.В.Кавалеров, В.Н.Бабошин ва бошқа хорижий олимлар ҳисса қўшишган.

Мамлакатимизда иссиқлик-технологик жараёнлари самарадорлигини оширишнинг илмий муаммоларини ечишга Н.Р.Юсупбеков, Ш.М.Гулямов, Д.Н.Мухитдинов, С.Г.Закиров ва бошқа олимлар ўзларининг улкан ҳиссаларини қўшишган.

Бироқ сўнгги йилларда печларда ёқилғини ёқишнинг горелкали ва ҳаволи оқимни оптимал ўзаротаъсири натижасида ёқишни мураккаб гидродинамик схемаси ҳосил бўлиб, ёқилғини машъалали ёниш жараёни кинетикаси ҳисобга олинмаган иссиқлик ва масса алмашилиш оқимларини ўзаро таъсирини берувчи аралаш схемани қўллаш масаласи бугунги кунгача тўла ўрганилмаган ва у чуқур назарий ва тажрибавий тадқиқотни талаб этади. Технологик воситалар ва тўртинчи саноат инқилоби талабларини ҳисобга олган ҳолда газ ёқиш печларида ёқилғи ёқиш мураккаб технологик жараёнини назорат қилиш ва бошқариш масалаларини тадқиқ этишга замонавий жихатдан қаралса, интеграллашган саноат ишлаб чиқариш шароитларига мослашувчи тизимли интеграллашган ёндашувни қўлланилиши ҳаётий циклнинг барча босқичларида маҳсулот сифатини

бошқариш масалаларини ечишга ёрдамлашувчи структуравий-моделли мажмуани ишлаб чиқиш ва асослаш имконини беради.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университети илмий-тадқиқот ишлари режаларининг Ф-4-56 – «Мураккаб технологик объектларни структуравий-параметрик синтезлашнинг назарий асослари ва усулларини ноаниқ-тўпламли тушунчалар асосида ишлаб чиқиш» (2012-2016), А-5-42 – «Априор ноаниқлик шароитида технологик объектларни автоматлаштирилган мониторинги ва бошқаришни интеллектуаллаштиришнинг дастурий инструментал воситаси» (2015-2017), ОТ-Ф7-88 – «Тоза маҳсулотлар олишнинг мураккаб кимё-технологик тизимларининг энергия ва ресурс тежамкор иссиқлик ва масса алмашиниш жараёнларини назарий асосларини такомиллаштириш» (2017-2020) мавзуларидаги лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади саноат ишлаб чиқаришининг газ ёқувчи печларида ёқилғи ёниш жараёнларини назорат қилиш ва бошқариш тизимларини структуравий-параметрик синтезлаш ва таҳлил қилишнинг усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

саноат газ ёқувчи печларда ёқилғини машғалали ёнишининг мураккаб технологик жараёнларини назорат қилиш ва бошқариш назарияси ҳамда амалиётнинг замонавий ҳолатини таҳлил қилиш, уларни келгусида ривожланиш ва такомиллашиш тенденцияларини аниқлаш;

газ ёқувчи печларнинг чиқиндиларидаги тутун датчигининг метрологик тавсифларини ишлаб чиқиш ва тадқиқ этиш;

чиқинди газ аралашмалари ва углерод оксидлари таркибини аниқлаш учун тропик тузилишли ўлчаш асбобини ишлаб чиқиш;

газ ёқувчи печлардаги ёқилғини машғалали ёниш технологик жараёнини математик моделлаштириш;

ёқилғи ёниш жараёнини оптимал бошқариш масаласини қўйиш ва ечиш;

газ ёқувчи печлар ва қурилмалардаги чиқинди газлар таркибидаги углеводород (C_nH_m) лар ва углерод оксид (СО) лари миқдорини аниқлаш учун тропик тузилишли ўлчаш асбобини метрологик тавсифларини ўрганиш;

газ ёқувчи печларда ёқилғи ёниш жараёни тежамкорлигини назорат қилиш ва бошқариш тизимлари фаолиятини тадқиқ этиш.

Тадқиқотнинг объекти саноат печларида ёқилғини машғалали ёниш жараёнларини назорат қилиш ва автоматик бошқариш тизимлари ҳисобланади.

Тадқиқотнинг предмети саноат газ ёқувчи печларидан чиқиб кетаётган чиқинди газлар таркибидаги зарарли моддалар миқдорини ва таркибини бирламчи ўлчаш ўзгарткичларини структуравий-параметрик синтезлаш ва таҳлил қилиш, газ ёқиш печларида ёқилғини машғалали ёниш жараёнларини назорат қилиш ва бошқариш тизимларини синтезлаш усуллари ва алгоритмларидан иборат.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертация ишида кимё, нефтни қайта ишлаш ва қурилиш материаллари саноати соҳаларидаги технологик ўлчаш

усуллари ва алгоритмлари, шунингдек мураккаб технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни назорат қилиш ва бошқариш тизимларининг назарий аппаратларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

чиқинди газ аралашмалари таркибидаги зарарли моддалар (CO) ва (C_nH_m) концентрацияларининг мақсадли параметрларини селектив аниқлашни таъминловчи ИҚ-диапазонда ютилишини ўлчашнинг спектрофотометрик усули асосида аниқлаш учун ўлчаш блокини қуришнинг физик тамойиллари асосланган ва шакллантирилган;

уч компонент (углеводород, углерод монооксид ва диоксид)ли газ анализаторининг нодисперсион инфрақизил ўлчаш усулига асосланган оригинал аралаш оптик схемаси ишлаб чиқилган;

қиёслаш газли аралашмалар (« $\text{CO}+\text{ҳаво}$ », « $\text{CO}+\text{N}_2$ », « $\text{C}_3\text{H}_8+\text{ҳаво}$ » ёки « $\text{C}_3\text{H}_8+\text{N}_2$ ») асосида концентрацион боғлиқликлар олинган, босим ва ҳарорат датчикларининг шкалалари даражаланган ҳамда «TAZAL» асбобининг кўрсатишлари ҳароратга боғлиқ тўғрилаш киритиш усули асосланган;

тропик иқлим шароитларида ишловчи нодисперсион оптик газ анализатори ишлаб чиқилган ва асбобни намлик юқори шароитларда ишончли ишлаши ва ўлчаш хатоликлари асосий хатоликдан ошмаслиги аниқланган;

газ ёқувчи печлардаги ёниш жараёни тежамкорлигини ёқиш экранининг иссиқликни ўзига олиши бўйича корректловчи сигнали билан ростлашнинг экстремал тизимини қуриш масаласи максимал тезкорлик масаласи каби қўйилган ва ечимлари ишлаб чиқилган;

ўзгарувчан қадамли экстремал ростлаш масаласини ечишнинг иккита («орттирма бўйича» ва «иккинчи фарқ бўйича») усулларини солиштирма тадқиқи ўтказилган ва мавжуд қурилмаларга хос бўлган шароитларда ишлаш имкониятига эга бошқариш тизими ишлаб чиқилган;

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

газ ёқувчи печларнинг тутун газлари таркибидаги газ чиқиндилари уч компоненти (углерод диоксида, углерод монооксида ва углерод) ни селектив ўлчаш учун тропик тузилишли газ анализатори макети ишлаб чиқилган;

тажриба-саноат синови ўлчаш асбобининг аниқлик тавсифларини ошириш учун унинг конструкциясига томчи тўплагичдан конденсатни чиқариш учун микронасос, шунингдек интерференцион фильтрли обтюратор юриткичи учун типик мотор киритиш зарурлиги асосланган;

печларда газни ёниш жараёнини назорат қилиш ва бошқаришнинг автоматлаштирилган тизими ишлаб чиқилган;

таркибида юқори метрологик тавсиф ва ишончлилик кўрсаткичларига эга газ анализатори мавжуд бўлган экстремал бошқариш тизими ишлаб чиқилган;

ўтхона экранларини иссиқликни ўзига олиш сигнали бўйича печдаги ёниш жараёнини сифатли бошқарадиган, иссиқлик ғалаёнларига турғун бўлган экстремал ростлаш тизими ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Диссертацияда олинган натижаларнинг ишончлилиги ва асосланганлиги классик математик аппаратнинг тўғри ва қатъий қўлланилиши ҳамда назарий натижаларнинг

саноат ишлаб чиқариши газ ёқиш печларида ёқилғи ёниш жараёнини назорат қилиш ва бошқариш тизимларини маълум прототипларини тажриба-ишлаб чиқариш синови ижобий натижалари билан тўла мос келишига асосланган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти горелка ва иссиқлик қабул қилувчи экранларни турли вариантларда уйғунлаштириб, ёнишнинг аралаш схемаларида ёқилғини машғалали ёниш жараёнлари қонуниятларини тадқиқ этиш, ёқилғи ёнишига конструктив, уйғунлаштириш ва режимли омиллар, ёниш аэродинамикаси ва азот оксидини ҳосил бўлиш таъсирини аниқлашдан иборат.

Диссертация тадқиқотининг амалий аҳамияти берилган ёқилғи тури учун ёнишнинг самарадорлиги ва экологиклиги бўйича мавжуд кўрсаткичларни яхшилаб, саноат печларида ёқилғи ёқиш самарадорлигини баҳолаш усулини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Газ ёқувчи печлардаги ёниш жараёнини назорат қилиш ва бошқариш тизимларини тадқиқ этиш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

саноат газ ёқувчи печларини чиқинди газларидаги углерод оксиди (CO) ва углеводород (C_nH_m) миқдорини аниқлаш учун газли таҳлилнинг дисперсион усулига асосланиб, тропик тузилишда ишлаб чиқилган газ анализатори «QIZILQUMSEMENT» АЖ да жорий қилинган («O‘SANOATQURILISHMATERIALLARI» Ассоциациясининг 2019 йил 17 декабрдаги №02/10-3326-сон маълумотномаси). Натижада электр-кимёвий газ анализаторининг аниқлиги ошган;

газ ёқувчи печларда ёқилғи ёқишнинг реал технологик жараёнини бошқариш тизими математик модели «QIZILQUMSEMENT» АЖ да синовдан ўтказилган («O‘SANOATQURILISHMATERIALLARI» Ассоциациясининг 2019 йил 17 декабрдаги №02/10-3326-сон маълумотномаси). Натижада табиий газ ёқишни бошқариш тизими фаолияти сифатига бўлган талабга эришиш имконияти таъминланган;

газ ёқувчи печларда ёқилғи ёниш жараёнини бошқаришнинг оптимал тизими ишлаб чиқилган ва пропорционал-интеграл-дифференциал ростлагичнинг оптимал сошлаш параметрларини ҳисоблаш масаласи ечимлари «QIZILQUMSEMENT» АЖ да жорий қилинган («O‘SANOATQURILISHMATERIALLARI» Ассоциациясининг 2019 йил 17 декабрдаги №02/10-3326-сон маълумотномаси). Натижада ёқилғини экологик меъёрларга амал қилган ҳолда ёқишнинг тежамкорлиги ҳамда ўткинчи жараёни талаб этилган сифати таъминланган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертация тадқиқоти натижалари 9 та илмий-техник, жумладан 7 та халқаро анжуманларда муҳокама қилинган ва қўллаб-қувватланган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 28 та илмий иш, шулардан 15 таси – Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссияси тавсия этган илмий нашрлардаги мақолалар, жумладан, 3 таси хорижий илмий журналларида нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 121 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

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

Диссертациянинг «Газ ёқиш печларидаги ёниш жараёнини **автоматик назорат қилиш ва бошқариш назарияси ва амалиётининг замонавий ҳолати**» номли биринчи бобида барча ривожланган давлатларда атмосфера ҳавоси ифлосланишини камайтириш учун қонунчилик ҳужжатлари қабул қилинганлиги, зарарли компонентли чиқиндиларга бўлган меъёрларни ўрнатилганлиги ва атроф-муҳитни газ чиқиндилари билан ифлослантиришга қарши курашишда метрологик таъминот етакчи ўринни эгаллаши кўрсатилган.

Диссертация ишида газ ёқувчи печлардан чиқиб кетувчи ишлатилган газлардаги зарарли моддалар таркибини аниқлаш учун газ аралашмаларининг газ анализаторини ишлаб чиқиш масаласи кўйилган.

Газ ёқувчи қурилмаларни автоматлаштирилган бошқариш тизимлари технологик қурилма ва печларнинг ишончилиги ва техник-иқтисодий кўрсаткичларини ошириши кўрсатилган. Бунда ёқилғининг йўқотилиши уни ёқишни такомиллаштириш билан қарама-қаршидир.

Экстремал ростлашни амалга оширишда ёқилғини ёниш жараёнининг оптимал параметрларини аниқлаш аналитик ёки ишлаб турган печларда ўтказилаётган тадқиқот натижалари бўйича тажриба йўли билан аниқланади. Экстремал ростлашнинг очиқ тизимлари аҳамиятли даражадаги статик хатоликка эга бўлиши мумкин. Бунда, объектнинг статик тавсифи экстремумини топиш, қидириш усуллари ёрдамида бажарилиб, унда ишчи нуқтани оптимумдан оғиш ишораси ва мутлақ қиймати аниқланади ҳамда экстремумга томон ҳаракат амалга оширилади. Тезкор чизиқли тизимларнинг ушбу синфи бошқариш тизими ишининг сифатини тавсифловчи оптимумнинг жорий қийматини бевосита назорат қилишни амалга оширади.

Газ ёқувчи қурилмаларнинг ишончли ва ҳалокатларсиз ишлаши, кўпинча, қиздиришнинг ўтхона экрани шаклидаги иссиқлик-кучланишли сиртининг ечимларига боғлиқ бўлиб, газ ёқувчи печларнинг аэродинамик иш режимлари ва конструктив тузилишида акс эттириладиган кўп сондаги конструктив ва фойдаланиш параметрлари билан тавсифланади. Печлар ўтхонаси ҳажмидаги машъаланинг структураси ва геометрияси газ ёқувчи қурилмаларнинг бутун ҳажми бўйлаб харорат профили ва иссиқлик оқимининг газли таркибини белгилаб беради. Ҳозирги кунда иссиқлик юктамаларини ўлчашнинг ишлатилаётган усуллари, воситалари, кўчма термозондлари ва бошқалар уларга қўйилган талабларга жавоб бермайди.

Газ ёқувчи қурилмаларда ёқилғини ёниш жараёни тежамкорлигини таъминлаш масаласи ҳанузгача ўзининг долзарблигини сақлаб қолганлиги кўрсатилган.

Диссертациянинг «Газ ёқувчи печ ва қурилмалардан чиқаётган чиқинди газлардаги углерод оксидлари ва углеводородлар таркибини аниқлаш асбобини ишлаб чиқиш ва тадқиқ этиш» деб номланган иккинчи бобида газ аралашмаларидаги СО ва C_nH_m таркибини ўлчашнинг физик тамойиллари асосланган. Ўлчаш ўзгартиргичини қуришнинг асосига газли таҳлилнинг спектрофотометрик усули қўйилган бўлиб, унинг муҳим афзалликларига: конструктив амалга оширилиши, ўлчаш усулининг нисбатан соддалиги, тезкорлиги, бир ва кўп мартали ўлчаш таҳлилин амалга ошириш имкониятининг мавжудлиги, шунингдек углерод оксидларини ((СО) $I_{max}=4,7$ мкм, метан (CH_4), пропан C_3H_8 ва бошқа углеводородлар 3,4 мкм, углерод диоксиди (CO_2) эса 4,27 мкм ютиш диапазонига эга) юқори селективлик билан таҳлил қилиши киради.

Реал шароитларда ўтказиш коэффициентини газли аралашма концентрациясига боғлиқлиги Бер-Бугер қонунининг экспоненциал шаклидан оғиши аниқланган:

$$U = U_0 \exp(-acl), \quad (1)$$

бу ерда a – газли аралашма оқимининг ютиш коэффициенти; U_0 – тушувчи нур дастасини жадаллиги; c – газли аралашма концентрацияси; l – нурланиш дастаси йўлининг узунлиги.

Диссертация ишида ўлчаш хатолигига, метрик зичлик қиймати 0,4 бўлганда, эришилиши назарий асосланган. Қуйидаги боғлиқликлар олинган:

$$dc/c = Sc * c = -0,4353dT/(T \lg T) = 0,4343S_T/(T / \lg T), \quad (2)$$

ёки

$$\Delta c/c = 0,4343\Delta T/T \lg T. \quad (3)$$

Мос ўзгартиришлар натижасида қуйидаги боғлиқлик олинган бўлиб, Sc параметр 5÷10 параллел ҳисоблар асосида аниқланади:

$$Sc/c = S_A/A = 0,4343S_T/10 - A \cdot A_c. \quad (4)$$

Назарий ва тажрибавий усуллар билан қуйидагилар аниқланган:

1. (2) ва (4) тенгламалар пасайтирилган қайта тикланувчанликка эга бўлиб, у орқали концентрацияни аниқлашнинг (2) ва (4) тенгламалардагидан 0,88% га кам Δ нисбий хатолик билан янада ёрқинроқ қайта тикланишли фотометрияни амалга ошириш мумкин.

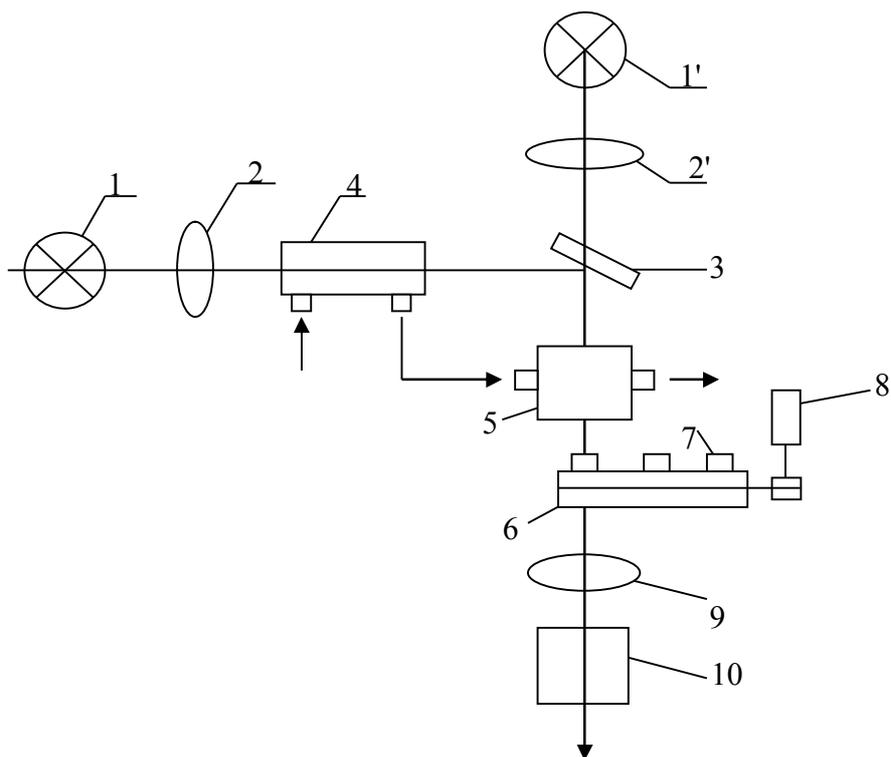
2. Ўлчашнинг умумий хатолиги иккиланган минималдан ошмайдиган ҳолларда бир нурли спектрофотометрлар ва икки нурли фотоколориметрлар учун оптик зичликлар интервали умум қабул қилинган (0,12-1,2) дан фарқли равишда, 1,35 – 1,45 диапазондаги қийматгача эришади.

3. $A \leq 0,1$ бўлганда, Δ хатоликнинг қиймати кескин ошиши сабабли, ўлчаш соҳаси ноқулай ҳисобланади. Ҳар бир маълум вариант учун энг яхши қайта тикланувчанликни таъминлаш учун газ анализаторининг беқарорлиги ва сезгирлигини эътиборга олган ҳолда ўлчашнинг оптимал соҳасини аниқлаш мақсадга мувофиқ. Оптик зичликнинг мақбул диапазони 0,1 дан 0,7 гачани ташкил этади. Оптик зичлик 0,7 дан катта бўлганда ўлчашларни ўтказмасликка сабаб, ўлчанаётган параметр сатҳининг кичиклиги билан белгиланади.

Кюветалар узунлигини танлашда, бошқа бир омил – унинг физик ҳажми муҳим аҳамиятга эга. Мазкур ҳолатда кювета оптик йўлининг 4 узунлик мезони мақбул ҳисобланади. Уни биз 145 мм қилиб қабул қилганмиз, чунки оптик йўлининг мазкур узунлигида CO (10% ҳаж.) ва C_nH_m (1% ҳаж.) лар максимал миқдорда бўлганда газ қатламларининг кўриб чиқиладиган параметрлари қуйидагича бўлади: уларнинг оптик йўллари D_{CO} (10% ҳаж.) = 0,84 ва D_{CH} (1 ҳаж.) = 0,48 жуда яқин.

Ишда газ чиқиндилари таркибидаги углерод монооксиди, углеводород ва углерод доиоксиди концентрациясини назорат қилишга мўлжалланган газ анализатори тадқиқ этилган. Таҳлил қилинаётган учта компонент ҳам спектрнинг инфрақизил соҳасида фаол бўлганлиги сабабли, ўлчашнинг юқори селективлиги мақсадга мувофиқдир. Таҳлил усули сифатида нодисперсион инфрақизил усули танланган. Кўрсатилган газларнинг ютилиш диапазони максимумлари $L_1 = 3,39$ мкм (углеводородлар учун), $L_2 = 4,26$ мкм (углерод диоксиди учун), $L_3 = 4,6$ мкм (углерод монооксиди учун) тўлқин узунликларида ётади. Ютилиш диапазонлари ўзаро бир-бири билан туташмайди, худди шундай улардаги компонентлар ҳам. Бундан ташқари, 3,8 – 4 мкмли спектрал диапазон ҳам мавжуд бўлиб, таҳлил қиланаётган аралашмадаги ихтиёрий газ нурланишини ютиш юз бермайди, натижада $L_4 = 3,9$ мкм тўлқин узунлиги асосий узунлик сифатида қабул қилинади. Юқори метрологик параметрларга эришиш учун бир нурли кўп каналли схема бўйича қурилган ИҚ-газ анализаторлари ишлатилади. Бунда, канал деганда газни ўтказиш миқдори ўлчанадиган спектрал соҳа тушунилади. Юқорида қайд этилган, газ аралашмаси таркибидаги учта компонентни тадқиқ этиш учун тўртта: учта ишчи ва битта асосий канал зарур. Ишда газнинг оптимал оптик зичлигини олиш учун ишчи кюветаларнинг узунликлари углерод диоксиди учун 0,4 см, углеводородлар ва углерод монооксиди учун 14,5 см бўлиши аниқланган. Шулардан келиб чиққан ҳолда, газ анализаторининг ТРШ 1500-2300 чирокларидан иборат иккита бир хил 1 ва 1' нурланиш манбалари (1-расм); нурланишнинг ёруғлик оқимларини ҳосил қилиш учун 2 ва 2' линзалар; иккита ёруғлик оқимини аралаштиришга ёрдам берувчи 3 ёруғлик ажратувчи пластиналар; таҳлил қилинаётган газ аралашмаси кетма-кет ҳайдаладиган иккита 4 ва 5 ишчи кюветалар (4 ишчи кювета узунлиги 14,5 см, 5 кюветаники – 0,4 см); тўртта интерференцион ёруғлик фильтри 7 ўрнатилган диск 6; диск 6 ни айланма ҳаракатга келтирувчи двигатель 8; линзалар 9; ўзида совитиладиган термостатли фото қаршиликли ФУО-614 ни намоён этувчи фото қабул қилгич 10 лардан ташкил топган оригинал аралаш оптик схемаси таклиф этилган.

Чирок 1 дан чиққан нурланиш кювета 4 орқали ўтиб, ёруғлик ажраткич пластина 3 дан қайтиб, кювета 5 га тушади ва кейин ёруғлик фильтри 7 га, навбати билан диск 6 айланганда ёруғлик оқимига қўшилади ва ўтказиладиган тўлқин узунликлари λ_1 , λ_2 , λ_3 ва λ_4 . Чирок 1' дан чиққан нурланиш ёруғлик ажратувчи пластина 3 орқали ўтиб, ишчи кювета 5 ва ёруғлик фильтри 7 га тушади. Линзалар 9 ёрдамида фото қабул қилгич 10 да фокусланади, чироклар 1 ва 1' дан чиққан ҳамда кюветалар 4, 5 га ютилган нурларнинг тўлқин узунликлари турличалиги ёруғлик импулси бўлиб шаклланади.



1-расм. Газ анализаторининг оптик схемаси.

Кюветалар 4 ва 5 да у ёки бу концентрациядаги газ компонентлари пайдо бўлганда мос тўлқин узунликларидаги ёруғлик оқимини ютилиши юз беради:

$$\Phi_{1,1'} = \Phi_0 (e^{-c_i k_i l_1} + e^{-c_i k_i l_2}), \quad (5)$$

бу ерда Φ_0 – 1 ва 1' чироклардан чиқувчи ёруғлик оқими; c_i – i -компонентнинг концентрацияси; k_i – i -компонентнинг ютиш коэффициентини; l_1 – 4, 5 кюветаларни умумий узунлиги; l_2 – 5 кюветанинг узунлиги.

(5) тенгламадан кўришиб турибдики, аниқланаётган компонентнинг катта бўлмаган концентрацияларида 1 чирокдан чиқаётган ёруғлик оқимини ютилиши кузатилади. Катта концентрацияларда 1 чирокнинг нурланиши тўла ютилади:

$$e^{-c_i k_i l_1} = 0, \quad (6)$$

1' чирокнинг ёруғлик оқими эса ўзгаришга дучор бўлади.

Шундай қилиб, аниқланаётган компонентни концентрациянинг кенг диапазонида таҳлил қилиш мумкин бўлади. Таҳлилнинг селективлигини ошириш ва ёруғлик оқими йўқолишини камайтириш учун ёруғлик ажратувчи пластина 3 ишлатилади, у ўзида λ_2 тўлқин узунлигини ўтказадиган ва қолган барча тўлқин узунликлари (λ_1 , λ_2 , λ_3 ва λ_4) ни қайтарувчи интерференцион ёруғлик фильтрини намоён этади. Шунинг учун ҳам λ_2 тўлқин узунлигига мос келувчи нурланиш фақат 5 кювета (углерод диоксидини таҳлил қилувчи кювета) орқали, λ_1 , λ_2 , λ_3 ва λ_4 тўлқин узунликларидаги нурланишлар эса иккита 4 ва 5 кюветалар орқали ўтади. Бу ютиш коэффициентлари турлича бўлган газли компонентларни катта селективлик билан ўлчаш имконини беради.

Таҳлилни ўтказиш учун газ намунаси тайёрланган ва ишчи кюветага солинган бўлиши лозим. Ишда кўриб чиқиладиган газ анализатори учун намунани тайёрлаш схемаси келтирилган.

«TAZAL» асбобининг концентрациявий боғлиқликларини тадқиқ этиш учун газли баллонларда тайёрланган қиёсловчи газ аралашмаларидан фойдаланилди. Газ аралашмаларининг таркиби: «СО+ҳаво» ёки «СО+N₂» ва C₃H₈+ҳаво» ёки «C₃H₈+N₂». Тадқиқот созланган ўлчаш асбобларида ўтказилган. Концентрациянинг ўзгаришидан келиб чиқиб, ўтказиш миқдори аниқланган. Ўлчаш натижалари 1-жадвалда келтирилган.

1-жадвал

Ўлчаш натижалари

ҚГА	Асбоб №2	Асбоб №17	ҚГА	Асбоб №2	Асбоб №17
СО+N ₂ , % хаж.	T _{со}	T _{со}	C ₃ H ₈ + N ₂ , ppm	T _{с3н8}	T _{с3н8}
0	1	1	0	1	1
0,95	0,912	0,917	1420	0,847	0,849
1,79	0,866	0,875	2770	0,732	0,735
4,52	0,784	0,797	3700	0,670	0,673
7,09	0,731	0,745	5050	0,594	0,591
8,95	0,702	0,716			

Боғлиқликлар, нур ўтказишни ўзгариши концентрацияга экспоненциал қонун бўйича мослиги аниқланган.

Бугер-Ламберт-Бер қонунига кўра, боғлиқликнинг кўриниши қуйидагича:

$$T = T_0 \cdot \exp(alc), \quad (7)$$

бу ерда: T_0 , T – газ ўтишигача ва ундан кейинги ўтказиш; a – ютилиш коэффициентлари; l – ютувчи қатламни узунлиги; c – ўлчанаётган газ концентрацияси.

Ўлчанаётган газларнинг концентрациялари қанчалик катта бўлса, боғлиқлик Бугер-Ламберт-Бер қонунидан шунчалик оғишга эга бўлади. Энг аниқ боғлиқлик кубик тенглама билан тавсифланади.

Азотдаги СО концентрациясининг ўтказиш T га типик боғлиқлиги қуйидаги кўринишга эга:

$$C_{со} = (1 - T)[5,47653 + (1 - T)(26,02161 + (1 - T)(100,7986))]. \quad (8)$$

Азотдаги C₃H₈ концентрациясининг ўтказиш T га типик боғлиқлиги қуйидаги кўринишга эга:

$$C_{с3н8} = (1 - T)[8080,961 + (1 - T)(-201,2232 + (1 - T)(17604,36))]. \quad (9)$$

C₃H₈ учун боғлиқлик яхши қайта тикланади, тавсифлар деярли фарқларсиз. СО бўйича боғлиқлар ўртасидаги фарқ сезирларлироқ. Демак, СО бўйича шкалани шахсий даражалаш талаб этилади.

Қиёсловчи газ аралашмалари («СО+ҳаво», «СО+N₂», «C₃H₈+N₂», «C₃H₈+ҳаво» ёки «C₃H₈+N₂») билан концентрацияли боғлиқликлар тадқиқ этилган, турли созланган ўлчаш асбобларида ўлчаш натижалари ўрганилган, босим ва ҳарорат датчикларини шкалалари даражаланган, шунингдек «TAZAL» асбобининг кўрсаткичларига ҳарорат бўйича тўғрилашлар киритилган.

«Газ ёқувчи печларда ёқилғини ёниш жараёнини оптимал бошқариш тизимларини ишлаб чиқиш» номли учинчи бобда иссиқлик-технологик печларда ёқилғини ёниш жараёни тежамкорлигини оптимал бошқариш масаласини таркибий қўйилиши амалга оширилган ва унинг ечимлари берилган. Ёниш жараёни тежамкорлигини экстремал бошқаришни иссиқлик қабул қилиш $\Delta P_{п.б.}$ сигнали ва юкламанинг кенг диапазонида ҳаво сарфига мутаносиб иссиқлик ажратиш Q_T сигнали бўйича амалга ошириш мумкин. Таклиф этилган экстремал ростлаш тизими иккита: бошқариш объекти ва умумий ҳаво узатиш ростлагичидан иборат ички барқарорлаштирувчи контур ҳамда объект ва мақсад функциясини экстремумини ажратиш қурилмасидан ташкил топган ташқи контурдан иборат бўлиб, печда ёқиладиган ёқилғи сарфи доимий бўлганда оптимал “ёқилғи-ҳаво” нисбатини қўллаб-қувватлайди. Ростлаш тизимининг бундай қурилиши $\Delta P_{п.с}$ сигнал экстремуми ҳолатини кузатишнинг динамик аниқлигини оширади, ёки ёқилғи сарфи ўзгарган ҳолларда сарфни дарҳол оптимумга яқин қийматгача ўзгартиради. Экстремал ростлагич барқарорлаштирувчи ростлагичнинг статик ноаниқлигини бартараф этади, берилаётган ҳаво сарфига таъсир этиш орқали $\Delta P_{п.с}$ сигнални ишлаб чиқади ва уни экстремал қийматлар соҳасида тутиб туради.

Тадқиқ этилаётган ростлаш тизимларини самарадорлиги умумий йўқотишлар Π_1 ва Π_2 ни миқдори билан экстремумни қидириш орқали тавсифланади:

$$\Pi = \Pi_1 + \Pi_2 = \int_0^{t_1} (y_0 - y(t))dt + \int_{t_1}^{t_2} |y(t)|dt \rightarrow \Pi_{\min} . \quad (10)$$

Тизимнинг ишини текшириш учун $\Delta P_{п.с}$ сигнални максимумини қидиришни кадамли усулни амалга оширувчи дастурдан фойдаланилган. Усул ҳар бир кадамда олдинги ва кейинги сигнал қийматлари $\Delta P_{п.с}$ ва G_B ни фарқини ҳисоблайди:

$$R_1 = (\Delta P_{п.сI} - \Delta P_{п.сI-1}) / (\Pi_{BI} - \Pi_{BI-1}), \quad (11)$$

бу ерда R_1 – объектнинг биринчи кадамдаги статик тавсифи эгри чизиғи; I – кадам рақами.

Қадамни алмаштириш мезони $R_{\text{топ}}$ нинг қийматини аниқлаш алгоритми қуйидаги кўринишга эга:

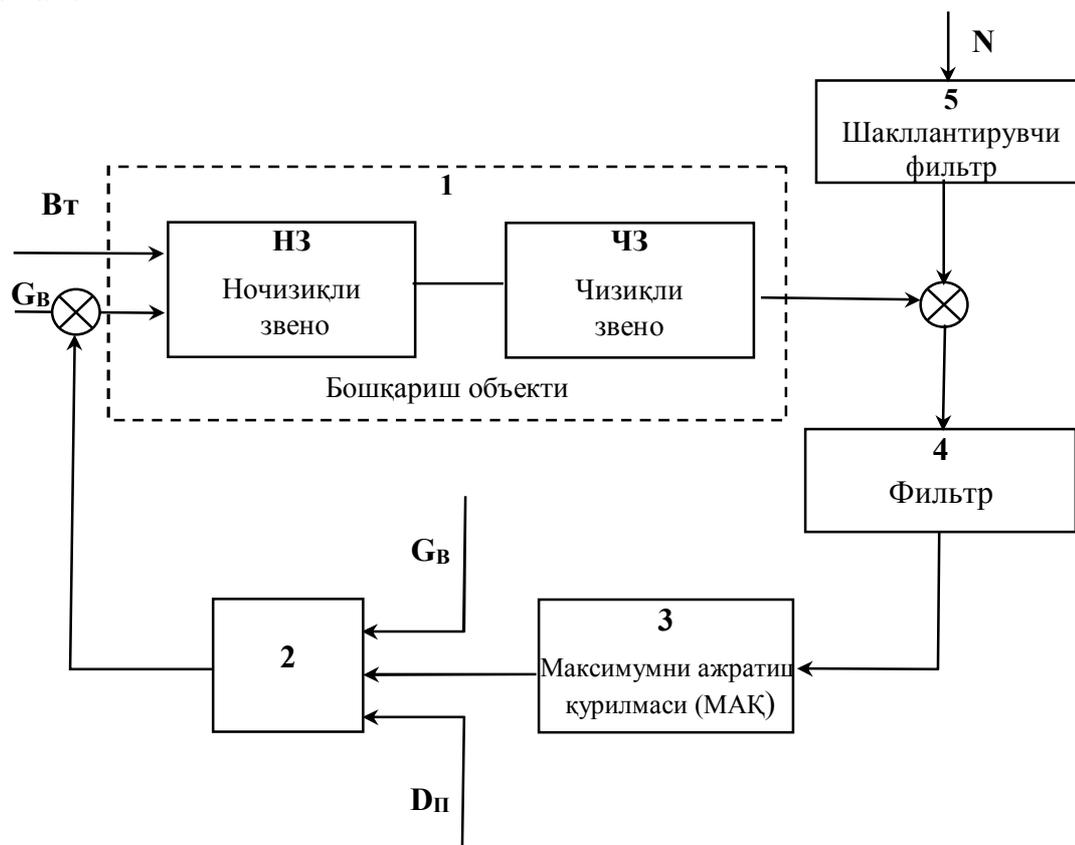
$$(G_{B\max} - n\Delta G_B) \rightarrow (ШВЭ \leftrightarrow ШПЭ) \rightarrow R_{\text{топ}}, \quad (12)$$

бу ерда $G_{B\max}$ – статик тавсиф максимумига мос келувчи ҳаво сарфининг қиймати; ΔG_B – экстремумни тутиб туришнинг битта тактидаги ҳаво сарфини ўзгариши; n – (ШВЭ ↔ ШПЭ) нуқтадан статик тавсиф максимумигача бўлган кадамлар сони.

Асосий синовларни ўтказиш ҳамда $\eta_{оп}^k = f_1(\alpha)$ ва $\Delta P_{п.с} = f_2(\alpha)$ статик тавсифларни солиштиришда экстремумни тутиб туриш кадамларини сонли қиймати ва $R_{\text{топ}}$ ҳар бир объект учун индивидуал аниқланади. Қадамнинг қиймати, объект фойдали иш коэффициенти максимумини тизим автотексираниши соҳасидаги объектнинг статик тавсифи ($\Delta P_{п.с} = f_2(\alpha)$) ни экстремуми доирасига тушиш шартидан келиб чиқиб, берилади.

Экстремумни тутиб туриш қадамни ошиши йўқотиш Π_2 ни ошишига олиб келади.

Ёниш жараёни тежамкорлигини бошқариш тизимини модели 2-расмда келтирилган.



2-расм. Ёниш жараёни тежамкорлигини бошқариш тизимини модели:

1 – ростлаш объекти; 2 – умумий ҳаво ростлагичи; 3 – максимумни ажратиш қурилмаси (МАҚ); 4 – экспоненциал силлиқлантиришнинг дискрет фильтри; 5 – шакллантирувчи фильтр; N – дискрет оқ шовкин; НЗ – ночизиқли звено; ЧЗ – чизиқли звено.

x_i тасодифий жараённи шакллантиришнинг математик модели баҳоси куйидаги алгоритм бўйича амалга оширилувчи $\gamma(\tau)$ корреляция функцияси моделини статистик таҳлилида олинган сигнал ΔP_{PC} га асосланиб танланади:

$$R^*(\Delta\tau_j, N) = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N P_{PC}(i\Delta t_s) \cdot P_{PC}(i\Delta t_s + j\Delta\tau) \right), \quad (13)$$

бу ерда N – танланма маълумотлари сони; Δt_s – танланма маълумотлари қадами; $\Delta\tau$ – дискрет жараён қадами.

$\Delta t_s = \Delta\tau$ бўлганда $R^*(\Delta\tau_j, N)$ га асосланиб, меъёрлаштирилган корреляция функцияси ҳисобланади:

$$(\gamma^*(\tau) = R^*(\Delta\tau_j, N) / D(\Delta P_{PC}), \quad (14)$$

бу ерда $D(\Delta P_{PC})$ – чиқиш сигнали дисперсияси.

Объектнинг ночизиқли звеноси (НЗ) ўзида иссиқликни қабул қилишни ҳаво сарфига статик боғлиқлиги $\Delta P_{PC} = f(G_B)$ ни намоён этади ва парабоола кўринишига эга:

$$\Delta P_{PC} = A \cdot (G_B - S)^2 + B(G_B - S) + C, \quad (15)$$

бу ерда A , B , C – объектни синаш натижасида аниқланадиган коэффициентлар.

Ҳаво сарфининг ўзгариши ҳолат кўрсаткичи (ХК) бўйича 0 дан 100 % гача, яъни $0 \leq S \leq 100$ назарда тутилган.

Объектнинг чизиқли звеноси (ЧЗ) ўзида «ҳаво сарфи G_v – иссиқлик қабул қилиш $\Delta P_{ПС}$ » канали бўйича узатиш функциясини намоён этади:

$$W(p) = \frac{1}{T_1^2 \cdot p^2 + T_2 \cdot p + 1}, \quad (16)$$

бу ерда T_1 ва T_2 – тажрибадан аниқланадиган вақт доимийлари.

Объектнинг чизиқли қисмини ҳисоблаш Рунге-Кутта усули билан амалга оширилади. НЗ ва ЧЗ коэффициентларининг сонли қийматлари 2-жадвалда келтирилган.

2-жадвал

Моделлаштириш объектнинг звенолари ва шакллантирувчи фильтр параметрлари

Ночизиқли звено			Чизиқли звено		Фильтр	
A	B	C	T_1	T_2	m	N
0,009	1,19	3,04	0,12	9,8	0,3	0,6

3-жадвал

Объект статик тавсифининг дрейфида моделлаштириш натижалари

Халақитли тизим билан ишлаш	Объект статик тавсифининг дрейфида дисперсия										
	мавжуд эмас	Вертикал				Горизонтальный				Аралаш BD=-0.1 мВ/кадам AD=0.2 %ХК/кадам	
		BD=0.05 мВ/кадам	BD=-0.1 мВ/кадам	AD=0.1 %ХК/кадам	AD=0.15 %ХК/кадам	$\Delta P_{ПС}$ мВ ²	G_6 УП ²	$\Delta P_{ПС}$ мВ ²	G_6 УП ²		$\Delta P_{ПС}$ мВ ²
Фильтрсиз	2950	2720	431	1390	222	5610	611	16930	1158	16813	1096
Фильтрли	99	171	42	136	24	430	190	2043	356	2317	474

Имитацион моделлаштиришда халақитларни шакллантириш дисперсияси $D_N=100$ бўлган дискрет оқ шовқин ёрдамида амалга оширилди. Фойдали сигнал ва тасодикий халақит катталиклари ўртасидаги талаб этиладиган нисбатни таъминлаш учун коэффициент b нинг қиймати қуйидагича танланди:

$$b = \sqrt{\frac{R_0 - a_1 R_1 - a_2 R_2 - a_3 R_3}{D_N}} = 1,12.$$

Максимумни ажратиш қурилмаси киришидаги халақитларни филтрлаш учун чиқиш сигнали қуйидагича бўлган экспоненциал силликлантиришнинг дискрет филтридан фойдаланилди:

$$\hat{Y}_i = m \cdot \hat{Y}_{i-1} + n \cdot Y_i,$$

бу ерда m , n – филтр параметрлари (2-жадвал).

Филтрнинг оптимал параметрларини танлаш тизими учта: 1) халақитлар мавжуд бўлмаган; 2) халақитлар мавжуд ва филтрлаш мавжуд бўлмаган; 3) филтрлашга халақитлар киритилган режимларда ишлаш вақтида вариантларни тўғридан-тўғри танлаш орқали амалга оширилди.

Тадқиқотлар ҳам объектнинг қайд этилган статик тавсифларида ҳам унинг дрейфида амалга оширилди. Тизим фаолиятининг сифат тавсифларини акс эттирувчи дисперсиянинг сонли қийматлари 3-жадвалда келтирилган. Кўриб чиқиладиган тизим фаолиятининг энг ёмон иш режими, чиқиш сигналининг дисперсияси $D(\Delta P_{nc}) = 11585 \text{ Па}^2$ бўлганда, объект статик тавсифининг бир вақтда ҳам горизонтал ҳам вертикал йўналишларидаги дрейфида ўринлидир. Ўзгарувчан кадамли экстремал бошқариш тизимининг экстремумга ўзгармас кадам билан чиқувчи ростлагичга нисбатан афзалликлари, уни чиқиш сигналининг дисперсияси ΔP_{nc} : $D(ШЭР)/D(\Delta P_{nc}) = 930/469 = 1.98$ бўлганда солиштирилса, келиб чиқади. Бу, ΔP_{nc} бўйича сигналли ҳамда қидириш ва экстремумни тутиб туриш қадами ўзгарувчан бўлган экстремал ростлаш тизими, экстремумга ўзгармас кадам билан чиқувчи ростлаш тизими билан солиштирилганда, юқори бошқариш сифатига эга эканлигини англатади.

Диссертациянинг тўртинчи боби «Газ ёқувчи печларда табиий газни ёниш жараёнини назорат қилиш ва экстремал бошқариш тизимларини амалга ошириш». Газ ёқувчи печ ва қурилмалардан чиқаётган чиқинди газлардаги углерод оксиди (СО) ва углеводородлар (C_nH_m) таркибини аниқлаш учун тропик тузилишли автоматик газ анализаторини ишлаб чиқишда дисперсион инфрақизил усулдан фойдаланиш истикболли бўлиб, газли муҳит ҳарорати ва атмосфера босими ўзгарувчан бўлган шароитларда (СО) ва C_nH_m лар таркибини бир вақтда назорат қилиш имконини беради. Шундан келиб чиққан ҳолда, сигналларга ишлов бериш ва уларга тўғрилашларни автоматик тарзда киритишни амалга ошириш учун ишлаб чиқиладиган ўлчаш асбоби таркибига микроконтроллер киритиш мақсадга мувофиқ. Бунда чиқинди газлар таркибидаги аэрозолли моддалар: курум, кул, ёқилғи заррачалари, мой ва шу кабиларни, тутун миқдорини ўлчаш учун ўлчаш асбобига қўшимча канал киритиш имкони туғилади.

Ўлчанаётган СО ва C_nH_m газлар 4,7 мкм (СО) ва 3,4 мкм (C_nH_m) тўлқин узунликларидаги ютиш диапозонига эга. Мазкур частоталарда концентрацияга мос келувчи нурларни ютилиши юз беради. Фото қабул қилгичда модулланган нурланиш кучланишга ўзгартирилади, уни микро-ЭҲМ дастур бўйича қайта ишлаб, СО ва C_nH_m ни концентрация қийматларида акс эттиради.

Тадқиқот натижалари макетнинг юқори ишончлилик тавсифларига эгаллиги, унинг метрологик тавсифлари эса газ анализаторининг тропик вариантини ишлаб чиқишга бўлган техник талабларга мос келишини кўрсатди.

Тадқиқот ишида, тадқиқ этиладиган печни қиздиришнинг экранли сирти иссиқлик кучланишини техник таххислаш мақсадида ΔP сигналдан фойдаланиш мақсадга мувофиқлигини асослаган ҳолда, газ ёқувчи печларнинг ўтхона экранларини иссиқликни қабул қилиши бўйича сигнални ишлатиб, ёқилғини ёниш жараёни учун таклиф этилган экстремал бошқариш тизимини тажрибавий-саноат синови масалалари баён этилган.

“Орттирма бўйича” экстремал бошқариш масалаларини ечиш усули билан “иккинчи фарқ бўйича” ростлаш усулини солиштирма тадқиқи ўтказилган. Бошқариш тизимларининг статик ва динамик тавсифлари ҳисобланган. Дастлаб, танланган сошлаш параметрлари бўйича ростлагич

иши текширилган. Кейин ростлагич киришига корректловчи сигнал берилиб, газ ёқувчи печда ҳавонинг ортиқчалигини оптимал коэффициентини қидириш ва уни тутиб туриш амалга оширилган. Тадқиқ қилинган сигналларнинг дисперсияларини олинган сон қийматлари 4-жадвалда келтирилган.

4-жадвал

Ёниш жараёни тежамкорлигини $\Delta P_{ис}$ ва D_q сигнали ростлаш тизимини тадқиқ этишнинг солиштирма маълумотлари

Ёқилғи тури	Дисперсия, $(O_2)^2$	
	$\Delta P_{ис}$	D_q
Газ	1,25	2,30

Параллел тарзда репер нуқталарда газли таҳлил амалга оширилди. 5-жадвалда газли таҳлил, тажриба ва технологик регламентдан олинган маълумотларнинг солиштирма қийматлари келтирилган.

5-жадвал

Ёниш жараёни тежамкорлигини ростлаш тизимини синашдаги газли таҳлил натижалари

Кўрсаткичлар		Натижалар								
Буг сарфи, <i>т/соат</i>		330	300	270	240	210	235	275	310	330
Таркибдаги O_2 , %		4,5	4,6	4,9	5,1	6,0	5,8	5,1	4,5	4,6
α		1,27	1,28	1,31	1,32	1,40	1,38	1,32	1,27	1,30
Технологик регламент қийматлари	O_2 , %	5,0	-	5,4	-	6,6	-	5,4	-	5,0
	α	1,31	-	1,35	-	1,46	-	1,35	-	1,31
$\Delta P_{ис}$, <i>кПа</i>		5,2	4,9	4,6	3,8	2,9	3,6	4,8	5,0	5,3

Ростлаш тизимининг иш қобилияти ва самарадорлиги олинган натижаларни солиштиришдан келиб чиқади. Равшанки, ёниш жараёнини тежамкорлигини таклиф этилган экстремал ростлаш тизимини ростлаш сифати “иссиқлик” бўйича штатли автоматик ростлаш тизими ишидагидан юқоридир. Тадқиқотнинг олинган натижалари ЭРТ ишини технологик регламент режим харитаси кўрсаткичларига яқин бўлиб, унинг етарлича юқори самарадорлигини тасдиқлайди.

Х У Л О С А

Диссертация ишида кимё, нефтни қайта ишлаш ва қурилиш материаллари саноатлари соҳаларидаги технологик ўлчашларнинг усуллари ва алгоритмлари, тизимли таҳлил усуллари, шунингдек мураккаб технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни назорат қилиш ва бошқариш тизимларининг назарий аппаратлари асосида газ ёқиш печларида ёниш жараёнини назорат қилиш ва бошқариш алгоритмлари ишлаб чиқилган.

Қуйидаги илмий натижалар олинган:

1. Газ ёқиш печларида ёқилғини ёниш технологик жараёнини автоматик назорат қилиш ва бошқариш назарияси ва амалиётини замонавий ҳолати таҳлил қилинган, шунингдек уларни келгусидаги ривожланиш ва такомиллашиш тенденциялари аниқланган.

2. Чикинди газ аралашмаларидаги зарарли моддалар (CO) ва (C_nH_m) ни концентрацияларини селектив ўлчаш учун мақсадли параметрларни танланишини таъминловчи, ИҚ-диапазонда ютилишини спектрофотометрик ўлчаш усули асосида бирламчи ўлчаш ўзгартиргичини куришнинг физик тамойиллари асосланган.

3. Уч компонентли (углеводородлар, углерод монооксиди ва диоксиди) газ анализаторининг ўлчашнинг инфракизил усулига асосланган оригинал аралаш оптик схемаси ишлаб чиқилган.

4. Қиёсловчи газ аралашмалари («CO + ҳаво», «CO+H₂», «C₃H₈ + ҳаво» ёки «C₃H₈ + N₂») билан концентрацион боғлиқликларни тадқиқ этиш амалга оширилган ва созланган турли ўлчаш асбобларида олинган ўлчаш натижалари, босим ва ҳарорат датчиклари шкалаларини даражалаш ўрганилган ҳамда «GAZAL» асбобини кўрсатишларига тузатиш киритиш усуллари таҳлил қилинган.

5. Ишлаб чиқилган нодисперсион оптик газ анализатори тропик шароитларда тадқиқ этилган ва уни намлик юқори шароитларда тўғри ишлаши ва ўлчаш натижалари асбобнинг асосий хатолигидан ошмаслиги аниқланган.

6. Ёқилғини ёниш жараёни тежамкорлигини автоматик бошқариш масаласи максимал тезкорликнинг экстремал масаласи каби таркибий қўйилган ва ечими берилган бўлиб, тизим фаолиятининг самарадорлиги тадқиқ қилинаётган динамик объект статистик тавсифининг оптимумини топиш билан белгиланадиган йўқотиглар миқдори билан тавсифланиши кўрсатилган.

7. “Орттирма” ва “иккинчи фарқ” бўйича экстремал бошқариш масалаларини ечиш усулларини солиштирма таҳлили газ ёқиш печларидаги ёқилғини ёқиш тежамкорлигини бошқаришни маълум анъанавий тизимларидан робастлик ва ростлаш сифати бўйича қолишмаслигини кўрсатди.

8. Газ ёқиш печларининг чикинди газлари таркибидаги учта зарарли компонентлар (углерод диоксиди, монооксиди ва углеводородлар) таркибини селектив ўлчаш учун тропик тузилишли газ анализаторини макети тайёрланган бўлиб, унинг тажриба-саноат синовлари ишончлилик тавсифларини ошириш учун унинг конструкциясига томчи тўплагичдан конденсатни чиқариб олиш учун микронасос, шунингдек интерференцион фильтр обтюратори юриткич учун кадамли мотордан фойдаланишни мақсадга мувофиқлигини кўрсатди.

9. Газ ёқувчи печлардан чиқувчи чикинди газларнинг газ анализаторларини тажриба-саноат синови натижалари, диссертация ишланмалари юқори метрологик ва ишончлилик кўрсаткичларига эгаллиги ҳамда чикинди газлари таркибидаги зарарли моддалар таркибини аниқлаш учун тропик тузилишли асбобни ишлаб чиқишга бўлган техник топшириқлар талабларига мос келишини кўрсатди.

10. Газ ёқувчи печларда ёқилғини ёниш жараёнини экстремал ростлаш учун тақлиф этилган тизимнинг экстремал тавсифларига ишлов бериш натижалари унинг юқори халақитбардошлилиги ва ундан саноат шароитларида фойдаланиш истиқболли эканлигини кўрсатди.

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

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

БОБОМУРОДОВ НАСРИДДИН ХАСАНОВИЧ

**КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ГОРЕНИЯ В
ГАЗОСЖИГАЮЩИХ ПЕЧАХ**

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

**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/T703.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице по адресу (www.tdtu.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу www.ziyo.net.uz.

Научный руководитель: Юсупбеков Нодирбек Рустамбекович
академик, доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: Севинов Жасур Усмонович
доктор технических наук, доцент
Кадилов Ёркин Баходирович
доктор философии по техническим наукам

Ведущая организация: ООО «Ximavtomatika»

Защита диссертации состоится «13» 06 2020 года в 11⁰⁰ 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.)

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрировано №148. (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: 246-03-41.)

Автореферат диссертации разослан «06» 06 2020 года.
(реестр протокола рассылки № 7 от «01» 06 2020 года)



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

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

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 в последнее время особое внимание уделяется задачам автоматического контроля и управления сложными технологическими процессами сжигания топлива в газовых печах и системам автоматического управления тепловыми процессами, а также передаче результатов в виде совета оператору или загрузке на ЭВМ в виде сигналов – управляющих воздействий на исполнительные механизмы, расположенные на объектах управления. Использование средств четвертой промышленной революции, названной «Индустрия 4.0»³, для цели обеспечения энерго- и ресурсосбережения в теплотехнологических процессах химической, нефтехимической, металлургической, пищевой промышленности и в производстве строительных материалов» занимает ведущие позиции. В этой связи, в развитых странах Америки, Европы и Азии разработана глобальная карта по степени использования средств четвертой промышленной революции в промышленности, в которой особой задачей является реализация экстремальной автоматизированной системы управления, обеспечивающей многопараметрическое управление и поддержку энергосберегающих технологий.

В мире осуществляются научные исследования, направленные на повышение качества управления сложными технологическими процессами сжигания топлива. В этой связи, особое значение уделяется повышению эффективности процессов горения с помощью контроля и управления процессами сжигания газовых смесей в печах, а также уменьшению количества вредных веществ в составе газов, выбрасываемых в атмосферу.

В настоящее время в науке и технике Республики уделяется большое внимание направлениям автоматизации и управления технологическими процессами и производствами, в том числе уделяется внимание созданию систем управления, обеспечивающих энерго- и ресурсосбережение при автоматизации и управлении тепло-технологическими процессами. В Стратегии по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017–2021 годы обозначены задачи, в том числе: «... сокращения энергоёмкости и ресурсоемкости экономики, широкого внедрения в производство энергосберегающих технологий, повышения производительности труда в отраслях экономики»⁴. Для решения этих задач одним из важных вопросов является синтез высокоэффективных систем управления сложными технологическими процессами теплообмена на основе регуляторов, которые позволяют повысить эффективность процесса горения и энергосбережения, управляя полным сгоранием топливного газа в газовых печах, можно уменьшить количество вредных веществ в уходящих газах.

Данное диссертационное исследование в определённой степени служит выполнению задач, предусмотренных Указами Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по

³ Embracing Industry 4.0 and Redicovering Grawth. URL: <https://www.bcg.com/capabilities/operations/embracing-industry-4.0-redicowering-growth.aspx> (accessed 3 January 2017).

⁴ Указ Президента Республики Узбекистан «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017–2021 годы» УП–4947 от 7 февраля 2017 года.

дальнейшему развитию Республики Узбекистан», №УП-3557 от 22 февраля 2018 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию проектных работ и системы подготовки инженеров-проектировщиков в базовых отраслях экономики» 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», №ПП-3682 от 27 апреля 2018 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов» и №ПП-3365 от 1 ноября 2017 года «О мерах по дальнейшему укреплению инфраструктур научно-исследовательских учреждений и развитию инновационной деятельности», а также отраженных в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики Узбекистан IV «Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий».

Степень изученности проблемы. В рамках мировых исследований по разработке эффективных систем контроля и управления процессами сжигания газовых топлив в печах и агрегатах большой вклад внесли следующие ведущие научные центры и высшие образовательные учреждения мира: Honeywell, University of California, Massachusetts Institute of Technology (США), “Linde Aktiengesellschaft”, “Jasper GmbH” (Германия), “Mitsubishi hitachi power systems” Ltd (Япония), Cuenod (Франция), Imperial College London (Великобритания), Shell Global Solution (Великобритания-Голландия), Osaka University и Tokyo Institute of Technology (Япония), Korea Advanced Institute of Science and Technology (Южная Корея), “Лазиска” (Польша), **Компания “ПромМатика” (Россия), Магнитогорский государственный технологический университет (Россия)**, а также такие зарубежные ученые, как Johannes Josef, Edmund Martin, Cameron Endrew, Akinori Hayashi, Yasuhiro Wada, Гинтер Груча, Хенрик Тимовски, А.С.Соколик, Б.А.Казанский, М.А.Таймаров, В.А.Арсеев, А.В.Кавалеров, В.Н.Бабошин и др.

Весомый вклад в решение научных проблем повышение эффективности теплотехнологических процессов в нашей республике внесли такие ученые, как Н.Р.Юсупбеков, Ш.М.Гулямов, Д.Н.Мухитдинов, С.Г.Закиров и др.

Однако в последние годы вопросы применения комбинированных схем сжигания топлива в печах, в которых в результате более оптимального взаимодействия горелочных и воздушных струй образуется сложная топочно-гидродинамическая схема взаимодействия тепло- и массообменных потоков с учетом кинетики процесса факельного горения топлива, на сегодняшний день изучены недостаточно полно и требуют глубокого теоретического и экспериментального исследования. При этом, применение системного интегрированного подхода в комплексе его аспектов с адаптацией к условиям интегрированного индустриального производства при исследовании вопросов контроля и управления сложным технологическим процессом горения топлива в газосжигающих печах в современном рассмотрении с учетом уровня технологических средств и требований

четвертой промышленной революции позволяет разработать и обосновать структурно-модельный комплекс, помогающий решать вопросы управления качеством продукции на всех этапах ее жизненного цикла.

Связь темы диссертации с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках научно-исследовательских проектов Ташкентского государственного технического университета: Ф-4-56 - «Разработка теоретических основ и методов структурно-параметрического синтеза интеллектуальных систем управления сложными технологическими объектами на основе нечетко-множественных представлений» (2012-2016); А-5-42 - «Программно-инструментальные средства интеллектуализации автоматизированного мониторинга и управления технологическими объектами в условиях априорной неопределенности» (2015-2017); ОТ-Ф7-88 - «Совершенствование теоретических основ перспективных энерго- и ресурсосберегающих теплообменных процессов сложных химико-технологических систем получения чистых продуктов» (2017-2020).

Цель исследования является разработка методов и алгоритмов структурно-параметрического анализа и синтеза систем контроля и управления процессами сжигания топлива в газосжигающих печах промышленных производств.

Задачи исследования:

анализ современного состояния теории и практики контроля и управления сложными технологическими процессами факельного горения топлива в промышленных газосжигающих печах и выявление тенденций их дальнейшего развития и совершенствования;

разработка и исследование метрологических характеристик датчика дымности отработавших выхлопов газосжигающих печей;

разработка прибора в тропическом исполнении для определения содержания оксидов углерода в отработавших газовых смесях;

математическое моделирование технологического процесса факельного сжигания топлива в газосжигающих печах;

постановка и решение задачи оптимального управления процессом сжигания топлива;

изучение метрологических характеристик прибора в тропическом исполнении для определения содержания оксида углерода (СО) и углеводородов (C_nH_m) в составе отработавших смесей газосжигающих печей и установок;

исследование функционирования системы контроля и управления экономичностью процесса сжигания топлива в газосжигающих печах.

Объектом исследования являются системы контроля и автоматического управления процессами факельного сжигания топлива в промышленных печах.

Предмет исследования составляют методы и алгоритмы структурно-параметрического анализа и синтеза первичных измерительных преобразователей содержания вредных веществ в составе отработавших газовых смесей, покидающих промышленные газосжигающие печи, синтез

систем контроля и управления процессами факельного горения топлива в газосжигающих печах.

Методы исследований. В диссертационной работе использованы методы и алгоритмы технологических измерений в отраслях химической, нефтеперерабатывающей и промышленности строительных материалов, а также теоретический аппарат систем контроля и управления сложными технологическими процессами и производствами.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

обоснованы и сформулированы физические принципы построения измерительного блока для определения концентрации вредных веществ (CO) и (C_nH_m) в отработавших газовых смесях на основе спектрофотометрического метода измерения содержания в полосах поглощения инфракрасный ИК-диапазона, обеспечивающего селективность определения целевых параметров;

разработана оригинальная комбинированная оптическая схема трехкомпонентного (углеводород, монооксид углерода и диоксид) газоанализатора, основанного на недисперсионном инфракрасном методе измерений;

получены концентрационные зависимости на поверочных газовых смесях (« CO +воздух», « $\text{CO}+\text{N}_2$ », « C_3H_8 +воздух» или « $\text{C}_3\text{H}_8+\text{N}_2$ »), градуированы шкалы датчиков давления и температуры и обоснованы способы введение температурной коррекции показаний прибора «TAZAL»;

разработан недисперсионный оптический газоанализатор в условиях тропического климата, и определено надёжность работы прибора в условиях повышенной влажности и погрешность измерения не превышающий основной погрешности;

поставлена задача построения экстремальной системы регулирования экономичности процесса горения в газосжигающих печах с корректирующим сигналом по тепловосприятию топочных экранов как задачи о максимальном быстродействии и разработаны её решения;

проведено сравнительное исследование двух методов решения задачи экстремального регулирования с переменным шагом («по приращению» и «по второй разности») и разработана система управления в условиях, характерных для работы системы на существующем оборудовании.

Практические результаты исследования заключается в следующем:

разработан макет газоанализатора тропического исполнения для селективного измерения содержания трех компонентов вредных газовых выбросов (диоксида углерода, монооксида углерода и собственно углеводородов) в составе дымовых газов газосжигающих печей;

опытно-промышленные испытаниям обосновано, что для повышения точностных характеристик необходимо ввести в конструкцию прибора микронасос для отвода конденсата из каплеотбойника, а также ввести типовой двигатель для привода обтюлятора с интерференционными фильтрами;

разработана система автоматизированного контроля и управления процессами сжигания газа в печах;

разработана система экстремального управления, имеющая в составе газоанализатор с высокими метрологическими характеристиками и показателями надёжности;

разработана система экстремального регулирования, устойчивая на тепловые возмущения, качественно управляющая процессом горения в печи по сигналу тепловосприятия топочных экранов.

Достоверность результатов исследования. Научная достоверность и обоснованность полученных в диссертации результатов основаны на корректном и строгом применении классического математического аппарата и на фактически полном совпадении теоретических результатов с положительными итогами опытно-производственных испытаний с известными прототипами систем контроля и управления процессом сжигания топлива в газосжигающих печах промышленных производств.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования состоит в исследовании закономерностей процессов факельного сжигания топлива в комбинированных схемах сжигания с различными вариантами компоновки горелок и тепловоспринимающих экранов, в определении влияния конструктивных, компоновочных и режимных факторов на горение топлива, топочную аэродинамику и образование оксидов азота.

Практическая значимость диссертационного исследования состоит в разработке метода оценки эффективности сжигания топлива в промышленных печах с улучшением существующих показателей по эффективности и экологичности горения для данных видов топлив.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных результатов контроля и управления процессом горения в газосжигающих печах внедрены:

разработанный газоанализатор в тропическом исполнении для определения содержания оксида углерода (CO) и углеводородов (C_nH_m) в промышленных выхлопах газосжигающих печей, основанный на дисперсионном методе газового анализа, внедренный на АО «QIZILQUMSEMENT» (Справка Ассоциации «Узпромстройматериалы» №02/10-3326 от 17 декабря 2019 года). В результате повышается точность электрохимического газоанализатора;

Испытано математическая модель системы управления реальным технологическим процессом горения топлива в газосжигающих печах, на АО «QIZILQUMSEMENT» (Справка Ассоциации «Узпромстройматериалы» №02/10-3326 от 17 декабря 2019 года). В результате обеспечивается возможность достижения требуемого качества функционирования системы управления сжиганием природного газа.

разработанная оптимальная система управления процессами горения топлива в газосжигающих печах и решение прикладной задачи расчета оптимальных параметров настроек пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора, внедренные на АО «QIZILQUMSEMENT» (Справка Ассоциации «Узпромстройматериалы» №02/10-3326 от 17 декабря 2019 года). В результате обеспечивается требуемое качество переходного процесса и экономичность сжигания топлива с соблюдением экологических норм.

Апробация результатов исследования. Результаты диссертационного исследования докладывались, обсуждались и получили одобрение и поддержку на 9 научно-технических конференциях, в том числе на 7 международных.

Публикации результатов исследования. По теме диссертационного исследования опубликовано 28 научных работ, из них 15 в научных журналах из перечня ВАК РУз, в том числе 3 научные статьи в международных журналах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, списка цитированной литературы и приложений. Объем диссертации состоит из 121 страницы машинописного текста.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, выявлены объект и предмет исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыты научная и практическая значимость полученных результатов, приведены перечень внедрений в практику результатов исследования, список апробации результатов работы, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Современное состояние теории и практики автоматического контроля и управления процессом горения в газосжигающих печах»** показано, что в целях снижения уровня загрязнения воздушной среды в подавляющем большинстве развитых государств действуют законодательные акты, которые устанавливают нормативы выбросов этих компонент в борьбе с засорением среды газовыми выбросами, и главенствующее место занимает метрологическое обеспечение.

Показано, что автоматизированное управление газосжигающими установками повышает надежностные и технико-экономические показатели технологических установок и печей. При этом потери топлива в значительной степени сопряжены с совершенством сжигания последнего.

При реализации экстремального регулирования оптимальные параметры процесса сжигания топлива определяются аналитическими или опытными приемами по итогам исследования на действующих газосжигающих печах. Разомкнутые системы экстремального регулирования могут обладать существенной статической ошибкой. При этом поиск экстремума статической характеристики объекта выполняется с помощью поисковых приемов, в ходе которых выявляются знак и абсолютное значение отклонения рабочей точки от оптимума и осуществляется движение в направлении экстремума. Этот класс быстродействующих линейных систем осуществляет непосредственный контроль текущего значения оптимума, характеризующего качество функционирования системы управления.

Надежная и безаварийная работа газосжигающих установок во многом зависит от решения проблемы функционирования теплонапряженных поверхностей нагрева в виде топочных экранов, характеризующихся

значительным числом конструкционных и эксплуатационных параметров, отражающих аэродинамический режим работы газосжигающих печей и их конструктивное исполнение. Структура и геометрия факела в топочном пространстве печи предопределяет профиль температур и газовый состав теплового потока по всему пространству газосжигающей установки. Используемые в настоящее время способы измерения тепловых нагрузок, вставок, переносных термозондов и других не отвечают предъявляемым требованиям.

Показано, что задача обеспечения экономичности процесса сжигания топлива в газосжигающих установках по-прежнему сохраняет свою злободневность.

Во-второй главе диссертации «**Разработка и исследование прибора для определения содержания оксидов углерода и углеводородов в отработавших выхлопах газосжигающих печей и установок**» выполнено обоснование физических принципов измерения содержания CO и C_nH_n в газовых смесях. В основу построения измерительного преобразователя положен метод спектрофотометрического газового анализа, достоинство которого состоит в относительной простоте конструктивной реализации метода измерения, быстродействии, возможности осуществления одно- и многокомпонентного измерительного анализа, а также высокой селективности анализа оксидов углерода (CO) (обладает полосой поглощения $I_{\max} = 4,7$ мкм); метана (CH₄), пропана C₃H₈ и других типов углеводородов (3,4 мкм), диоксида углерода (CO₂) (имеет полосу поглощения 4,27 мкм).

Установлено, что в реальных условиях зависимость коэффициента пропускания от концентрации газовой смеси отклоняется от экспоненциальной формы закона Бера-Бугера:

$$U = U_0 \exp(-acl), \quad (1)$$

где a - коэффициент поглощения потока газовой смеси; U_0 - интенсивность падающего пучка; c - концентрация газовой смеси, l - длина пути пучка излучения.

В диссертационной работе теоретически обосновано, что погрешность измерения достигается при значении метрической плотности 0,4. Получены зависимости:

$$dc/c = Sc * c = -0,4353dT/(T \lg T) = 0,4343S_T/(T / \lg T), \quad (2)$$

или

$$\Delta c/c = 0,4343\Delta T/T \lg T. \quad (3)$$

В результате соответствующих преобразований получена зависимость:

$$Sc/c = S_A/A = 0,4343S_T/10 - A \cdot A_c, \quad (4)$$

в которой параметр Sc выявляется на основе 5÷10 параллельных отсчётов.

Теоретическими и экспериментальными приёмами установлено:

1. Выражения (2) и (4) обладают заниженной воспроизводимостью и что существует возможность проводить процесс фотометрирования с гораздо более высокой воспроизводимостью при погрешности Δ концентрации, меньшей, чем 0,88 %, вытекающей из выражений (2) и (4).

2. Для однолучевых спектрофотометров и двухлучевых фотоколориметров интервал, оптических плотностей, в котором общая ошибка измерения не превышает удвоенной минимальной погрешности, в

отличие от общепринятого значения (0,12-1,2), доходит до величин в диапазоне (1,35 – 1,45).

3. Область измерения при $A \leq 0,1$ неблагоприятна вследствие резко возрастающих значений погрешности Δ . Установлено, что в каждом конкретном варианте для обеспечения наилучшей воспроизводимости целесообразно выявить оптимальную сферу измерения с учетом нестабильности и чувствительности газоанализатора. Приемлемый диапазон оптических плотностей составляет от 0,1 до 0,7. Нежелательность выполнения измерений при оптических плотностях выше 0,7 обусловлена низким уровнем измеряемого параметра.

Другой фактор, обладающий существенным значением при выборе длины кюветы: ее физический объем. В данном случае более приемлемым является критерий длины оптического хода кюветы. Она выбрана нами равной 145 мм, поскольку при данной длине оптического хода рассматриваемые параметры слоев газа при максимальных количествах СО (10% об) и C_nH_m (1% об) имеют место, следующее: их оптические плотности достаточно близки D_{CH} (1 об) = 0,48 и D_{CO} (10% об) = 0,84.

В работе выполнено исследование газоанализатора, предназначенного для контроля концентраций монооксида углерода, углеводородов и диоксида углерода (СО) в газовых выбросах. Поскольку все три анализируемых компонента активны в инфракрасной (ИК) области спектра, целесообразно высокая селективность измерений. В качестве метода анализа был выбран недисперсионный инфракрасный метод. Максимумы полос поглощения указанных газов находятся на длинах волн $L_1 = 3,39$ мкм (для углеводородов), $L_2 = 4,26$ мкм (для диоксида углерода), $L_3 = 4,6$ мкм (для монооксида углерода). Полосы поглощения не перекрываются между собой, так и с полосами поглощения мешающих компонентов. Кроме того, существует спектральный диапазон (3,8 – 4 мкм), в котором отсутствует поглощение излучения любым из газов, присутствующих в анализируемой смеси, и, следовательно, длина волны $L_4 = 3,9$ мкм может служить в качестве опорной. Для достижения высоких метрологических параметров используются ИК-газоанализаторы, построенные по однолучевой многоканальной схеме. При этом, под каналом понимают спектральную область, в которой проводится измерение величины пропускания газа. Для анализа, указанных выше трех компонентов исследуемой газовой смеси необходимы четыре канала: три рабочих и один опорный. В работе установлено, что для получения оптимальной оптической плотности газа необходимы длины рабочих кювет для диоксида 0,4 см, для углеводородов и монооксид углерода 14,5 см. Исходя из этого, предложена оригинальная комбинированная оптическая схема газоанализатора, состоящего из двух одинаковых источников излучения 1 и 1' (рис.1) представляющих собой лампы ТРШ 1500-2300; линз 2 и 2' для формирования световых потоков излучения; светоделительной пластины 3, с помощью которой смешиваются два световых потока; двух рабочих кювет 4 и 5, через которые последовательно прокачивается анализируемая газовая смесь (длина рабочей кюветы 4 равна 14,5 см, кюветы 5 - 0,4 см); диска 6, на котором установлены четыре интерференционных светофильтра 7; двигатель 8, приводящий во

вращательное движение диск 6; линзы 9; фотоприемник 10, представляющий собой охлаждаемое термостатированное фотосопротивление ФУО – 614.

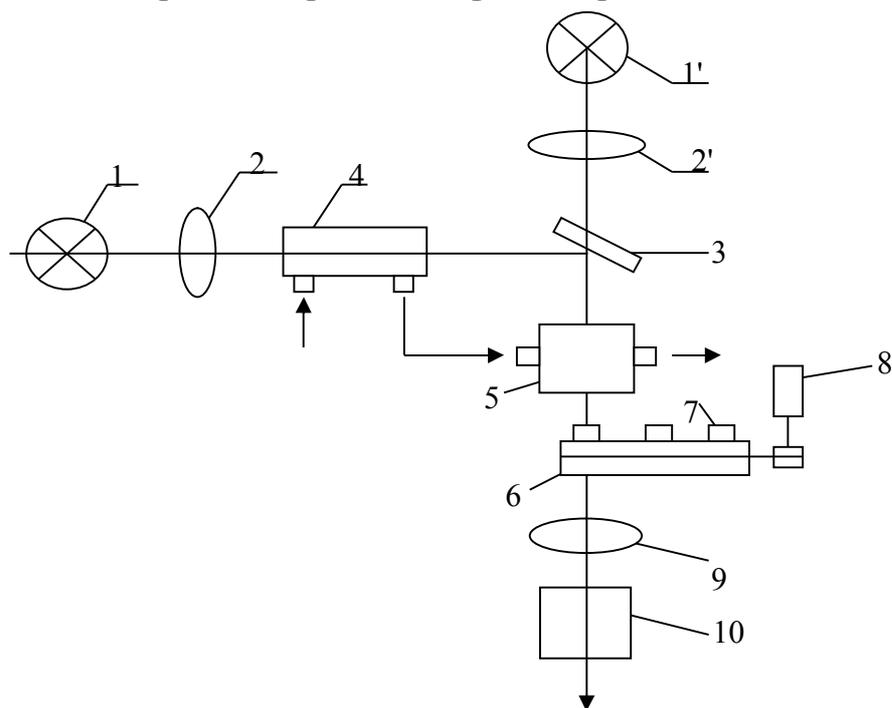


Рис.1. Оптическая схема газоанализатора.

Излучение от лампы 1 проходит через кювету 4, отражается от светоделительной пластины 3, поступает в кювету 5 и далее на светофильтры 7, поочередно вводимые в световой поток при вращении диска 6 и пропускающие длины волн λ_1 , λ_2 , λ_3 и λ_4 . Излучение от лампы 1' проходит через светоделительную пластину 3, рабочую кювету 5 и светофильтры 7. На фотоприемнике 10 фокусируются с помощью линзы 9 световые импульсы, имеющие различные длины и несущие информацию о поглощении излучения от ламп 1 и 1' в кюветах 4, 5 на указанных длинах волн.

При появлении в кюветах 4, 5 определенной концентрации той или иной концентрации компонента, происходит поглощение светового потока на соответствующих длинах волн:

$$\Phi_{1,1'} = \Phi_0(e^{-c_i k_i l_1} + e^{-c_i k_i l_2}), \quad (5)$$

где Φ_0 – световой поток от ламп 1 и 1'; c_i – концентрация i -го компонента; k_i – коэффициент поглощения i -го компонента; l_1 – суммарная длина кювет 4, 5; l_2 – длина кюветы 5.

Из уравнения (5) следует, что при небольших концентрациях определяемого компонента происходит поглощение светового потока от лампы 1. При больших концентрациях излучение от лампы 1 практически полностью поглощено

$$e^{-c_i k_i l_1} = 0, \quad (6)$$

а изменение претерпевает световой поток от лампы 1'.

Таким образом, становится возможным анализ в широком диапазоне концентраций определяемого компонента. Для повышения селективности анализа и уменьшения потерь светового потока используется

светоделительная пластина 3, которая представляет собой интерференционный светофильтр, пропускающий длину волны λ_2 и отражающий все остальные длины волн ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ и λ_4). Поэтому излучение на длине волны проходит только через кювету 5 (короткую кювету для анализа диоксида углерода), а излучение на длинах волн $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ - через обе кюветы 4 и 5. Это позволяет проводить измерение газовых компонентов, обладающих существенно различными коэффициентами поглощения с большой селективностью.

Для проведения анализа газовая проба должна быть подготовлена и доставлена в рабочие кюветы. В работе представлена схема пробоподготовки для рассматриваемого

Для исследования концентрационных зависимостей прибора «TAZAL» использовались поверочные газовые смеси, приготовленные в газовых баллонах. Состав газовых смесей: «СО+воздух» или «СО+N₂» и C₃H₈+воздух» или «C₃H₈+N₂». Исследования проведены на отлаженных настроенных приборах. В зависимости от изменения концентрации определялась величина пропускания. Результаты измерения представлены в табл.2. и в графической интерпретации.

Таблица 2

Результаты измерения

ПГС	Прибор №2	Прибор №17	ПГС	Прибор №2	Прибор №17
СО+N ₂ , % об	T _{со}	T _{со}	C ₃ H ₈ + N ₂ , ppm	T _{сзH8}	T _{сзH8}
0	1	1	0	1	1
0,95	0,912	0,917	1420	0,847	0,849
1,79	0,866	0,875	2770	0,732	0,735
4,52	0,784	0,797	3700	0,670	0,673
7,09	0,731	0,745	5050	0,594	0,591
8,95	0,702	0,716			

Установлено, что зависимости имеют, в соответствии с теорией, экспоненциальный закон изменения пропускания от концентрации.

Согласно закону Бугера – Ламберта – Бера, вид зависимости, следующий:

$$T = T_0 \cdot \exp(-alc), \quad (7)$$

где T_0 , T - пропускание до и после прохождения; a - коэффициент поглощения; l - длина поглощающего слоя; c - концентрация измеряемого газа.

Поскольку концентрации измеряемых газов достаточно высокие, то зависимость имеют отклонения от закона Бугера - Ламберта - Бера. Наиболее точно зависимость описывается кубическим уравнением.

Типичная зависимость концентрации СО в азоте от пропускания T имеет вид:

$$C_{CO} = (1 - T)[5,47653 + (1 - T)(26,02161 + (1 - T)(100,7986))]. \quad (8)$$

Типичная зависимость концентрации C₃H₈ в азоте от пропускания T имеет вид:

$$C_{C3H8} = (1 - T)[8080,961 + (1 - T)(-201,2232 + (1 - T)(17604,36))]. \quad (9)$$

Для C_3H_8 зависимость воспроизводится хорошо, практически характеристики неразличимы. Для зависимостей по CO различия более заметны. Это значит, что по CO требуется индивидуальная градуировка шкал.

На поверочных газовых смесях («CO+воздух», «CO+N₂», «C₃H₈+N₂», «C₃H₈+воздух» или «C₃H₈+N₂») выполнены исследования концентрационных зависимостей, изучены результаты измерений на различных приборах, осуществлена градуировка шкал датчиков давления и температур, а также выполнен анализ способов температурной коррекции показаний прибора «TANZAL».

В третьей главе «Разработка оптимальной системы управления процессом горения топлива в газосжигающих печах» выполнена содержательная постановка и дано решение задачи оптимального управления экономичностью процесса горения топлива в теплотехнических печах. Экстремальное управление экономичностью процесса горения может быть реализовано путем подачи сигнала по тепловосприятию $\Delta P_{п.б.}$ и пропорционального сигнала тепловыделения Q_T в зависимости от расхода воздуха в широком интервале нагрузок. Предлагаемая система экстремального регулирования содержит два контура: стабилизирующий внутренний контур образуют объект управления и регулятор подачи общего воздуха и внешний контур, содержащий объект и устройство выделения экстремума целевой функции, поддерживая оптимальное соотношение «топливо-воздух» при постоянстве расхода сжигаемого в печи топлива. Такое построение системы регулирования повышает динамическую точность слежения за положением экстремума сигнала $\Delta P_{п.с.}$, ибо в случае изменения расхода топлива сразу же происходит изменение расхода до значения, близкого к оптимальному. Экстремальный регулятор устраняет статическую неточность стабилизирующего регулятора, выводит и поддерживает в области экстремальных значений сигнала $\Delta P_{п.с.}$ путем воздействия на расход подаваемого воздуха.

Эффективность исследуемой системы регулирования характеризуется величиной суммарных потерь Π_1 и Π_2 на поиск экстремума:

$$\Pi = \Pi_1 + \Pi_2 = \int_0^{t_1} (y_0 - y(t)) dt + \int_{t_1}^{t_2} |y(t)| dt \rightarrow \Pi_{\min} . \quad (10)$$

Для проверки работы системы была использована программа, реализующая предлагаемую систему и в которой применен шаговый метод поиска максимума сигнала $\Delta P_{п.с.}$, суть которого заключается в формировании управляющего воздействия по крутизне статической характеристики объекта. Последняя на каждом шаге вычисляется как отношение разностей предыдущего и последующего значений $\Delta P_{п.с.}$ и G_B :

$$R_1 = (\Delta P_{п.с.I} - \Delta P_{п.с.I-1}) / (P_{B.I} - P_{B.I-1}) , \quad (11)$$

где R_1 – крутизна статической характеристики объекта на первом шаге; I – номер шага.

Алгоритм определения значения критерия смены шага $R_{зад}$ имеет вид:

$$(G_{B_{\max}} - n\Delta G_B) \rightarrow (ШВЭ \leftrightarrow ШПЭ) \rightarrow R_{зад} , \quad (12)$$

где $G_{B_{\max}}$ – значение расхода воздуха, соответствующее максимуму статической характеристики; ΔG_B – изменение расхода воздуха на одном

также поддержания экстремума; n - число шагов от точки (ШВЭ ↔ ШПЭ) до максимума статической характеристики.

Численные значения шагов поддержания экстремума и $R_{зад}$ определяются индивидуально для каждого объекта при проведении базовых испытаний и сопоставлении статических характеристик $\eta_{op}^k = f_1(\alpha)$ и $\Delta P_{п.с} = f_2(\alpha)$. Значение шага задается из условия попадания максимума коэффициента полезного действия объекта в зону автоколебаний системы вокруг экстремума статической характеристики объекта ($\Delta P_{п.с} = f_2(\alpha)$). Увеличение шага поддержания экстремума приводит к увеличению потерь Π_2 .

Модель системы управления экономичностью процесса горения представлена на рис.2.

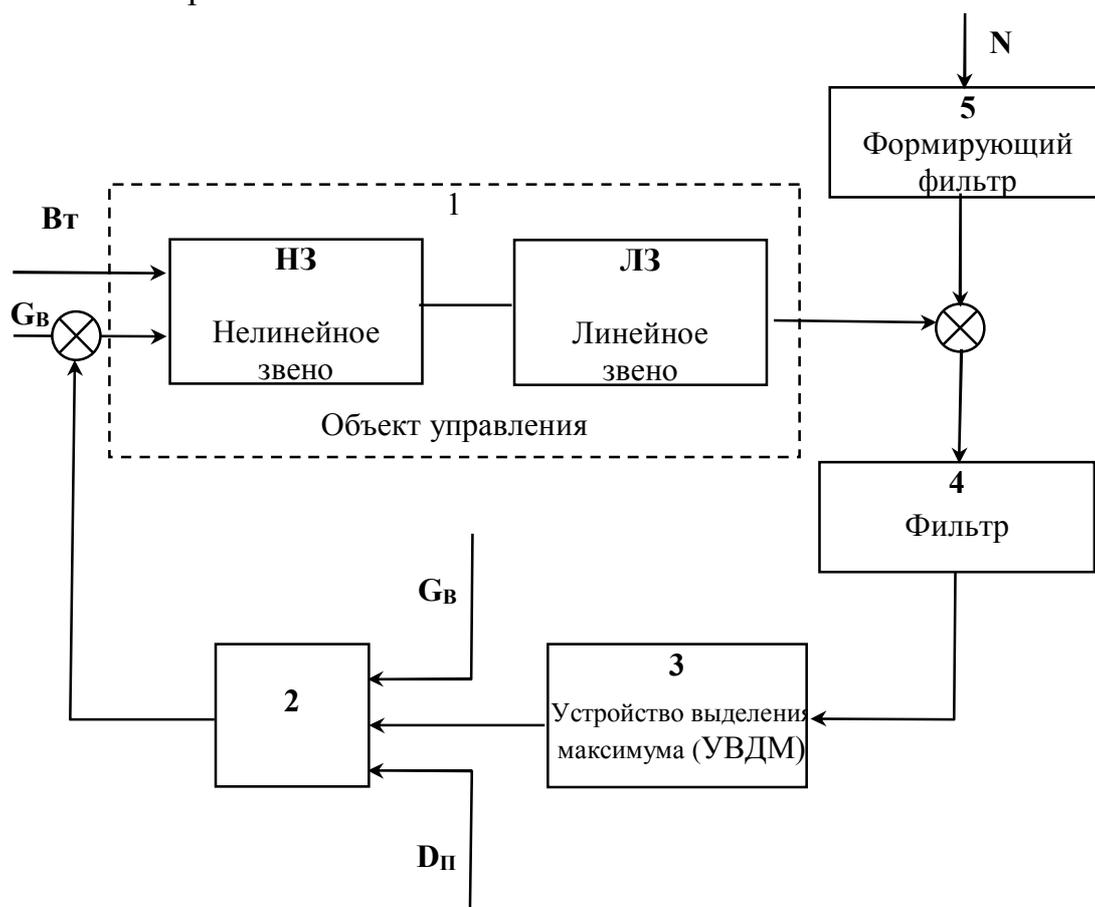


Рис. 2. Модель системы управления экономичностью процесса горения: 1 - объект регулирования; 2 - регулятор общего воздуха; 3 - устройство выделения максимума (УВДМ); 4 - дискретный фильтр экспоненциального сглаживания; 5 - формирующий фильтр; N - дискретный белый шум; НЗ - нелинейное звено; ЛЗ - линейное звено.

Математическая модель формирования случайного процесса x_i , выбирается на основании полученной при статистическом анализе реализаций сигнала $\Delta P_{п.с}$ модели корреляционной функции $\gamma(\tau)$, оценка которой выполняется по следующему алгоритму:

$$R^*(\Delta\tau_j, N) = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N P_{п.с}(i\Delta t_s) \cdot P_{п.с}(i\Delta t_s + j\Delta\tau) \right), \quad (13)$$

где N – число выборочных данных; Δt_g – шаг выборочных данных; $\Delta \tau$ – шаг дискретного процесса.

На основании $R^*(\Delta \tau_j, N)$ при $\Delta t_g = \Delta \tau$ рассчитывается нормированная корреляционная функция

$$(\gamma^*(\tau) = R^*(\Delta \tau_j, N) / D(\Delta P_{\text{ПС}}), \quad (14)$$

где $D(\Delta P_{\text{ПС}})$ - дисперсия выходного сигнала.

Нелинейное звено (НЗ) объекта представляет собой статическую зависимость сигнала по тепловосприятию от расхода воздуха $\Delta P_{\text{ПС}} = f(G_B)$ и имеет вид параболы:

$$\Delta P_{\text{ПС}} = A \cdot (G_B - S)^2 + B(G_B - S) + C, \quad (15)$$

где A, B, C , - коэффициенты, определяемые в результате испытаний объекта.

Изменение расхода воздуха предусматривается в пределах от 0 до 100% по указателю положения (УП) (т.е. $0 \leq S \leq 100$). Линейное звено (ЛЗ) объекта представляет собой передаточную функцию по каналу «расход воздуха G_B - тепловосприятие $\Delta P_{\text{ПС}}$ »:

$$W(p) = \frac{1}{T_1^2 \cdot p^2 + T_2 \cdot p + 1}, \quad (16)$$

где T_1 и T_2 - постоянные времени, определяемые из эксперимента.

Расчет линейной части объекта производится методом Рунге-Кутты. Численные значения коэффициентов НЗ и ЛЗ сведены в табл. 2. Формирование помехи при проведении имитационного моделирования осуществлялось с помощью реализации дискретного белого шума с дисперсией $D_N=100$.

Таблица 2

Параметры звеньев объекта моделирования и формирующего фильтра

Нелинейное звено			Линейное звено		Фильтр	
A	B	C	T_1	T_2	m	N
0,009	1,19	3,04	0,12	9,8	0,3	0,6

Для обеспечения требуемого соотношения между величинами полезного сигнала и случайной помехи, значение коэффициента b выбиралось следующим образом:

$$b = \sqrt{\frac{R_0 - a_1 R_1 - a_2 R_2 - a_3 R_3}{D_N}} = 1,12.$$

На входе в устройство выделения максимума для фильтрации помехи использовался дискретный фильтр экспоненциального сглаживания, сигнал которого на выходе имеет вид:

$$\hat{Y}_i = m \cdot \hat{Y}_{i-1} + n \cdot Y_i,$$

где m, n - параметры фильтра (табл.2).

Выбор оптимальных параметров фильтра осуществлялся прямым перебором вариантов при работе систем в трех режимах: 1) при отсутствии помехи; 2) при наличии помехи и отсутствии фильтрации; 3) при фильтрации вводимой помехи. Исследования проводились как при фиксированной характеристике объекта, так и при ее дрейфе. Численные значения дисперсий, отражающих качественные характеристики функционирования системы, сведены в табл. 3.

Наихудший режим функционирования рассматриваемой системы имеет

место при дрейфе статической характеристики исследуемого объекта одновременно и в горизонтальном и в вертикальном направлениях, когда дисперсия выходного сигнала: $D(\Delta P_{ПС}) = 11585 \text{ Па}^2$.

Таблица 3

Результаты моделирования при дрейфе статической характеристики объекта

Работа системы с помехой	Дисперсия при дрейфе статической характеристики объекта											
	Отсутствует	Вертикальный BD=0.05 мВ/шаг			Вертикальный BD=-0.1 мВ/шаг		Горизонтальный				Комбинированный BD=-0.1 мВ/шаг AD=0.2 %УП/шаг	
		AD=0.1 %УП/шаг		AD=0.15 %УП/шаг								
$\Delta P_{ПС}$ мВ ²	$\Delta P_{ПС}$ мВ ²	G_6 УП ²	$\Delta P_{ПС}$ мВ ²	G_6 УП ²	$\Delta P_{ПС}$ мВ ²	G_6 УП ²	$\Delta P_{ПС}$ мВ ²	G_6 УП ²	$\Delta P_{ПС}$ мВ ²	G_6 УП ²	$\Delta P_{ПС}$ мВ ²	G_6 УП ²
Без фильтра	2950	2720	431	1390	222	5610	611	16930	1158	16813	1096	
С фильтром	99	171	42	136	24	430	190	2043	356	2317	474	

Преимущество системы экстремального управления с переменным шагом по отношению к регулятору с постоянным шагом выхода на экстремум (ШЭР) вытекает при сравнении дисперсии выходного сигнала $\Delta P_{ПС}$: $D(ШЭР)/D(\Delta P_{ПС}) = 930/469 = 1,98$. Это означает, что экстремальная система регулирования с сигналом по $\Delta P_{ПС}$ и переменным шагом поиска и поддержания экстремума обладает более высоким качеством управления по сравнению с системой с постоянным шагом выхода на экстремум.

Четвертая глава диссертации «**Реализация систем контроля и экстремального управления процессом горения природного газа в газосжигающих печах**». При разработке автоматического газоанализатора в тропическом исполнении для определения содержания оксида (СО) и углеводородов (C_nH_m) в отработавших выхлопах газосжигающих печей и установок представляется перспективным использовать дисперсионный инфракрасный метод, позволяющий одновременно контролировать содержание СО и C_nH_m в условиях изменяющейся температуры газовой среды и переменном атмосферном давлении. В этой связи, в состав разрабатываемого прибора целесообразно ввести микроконтроллер с тем, чтобы и обработку сигналов и их коррекцию проводить автоматически. При этом появляется возможность ввести в прибор дополнительный канал для измерения дымности – содержание в отработавших газах аэрозольных веществ: сажи, золы, частиц топлива, масла и др.

Эта концепция принята за основу для выполнения реферруемой диссертационной работы, в соответствии с требованиями технического задания и с учетом специфики эксплуатации прибора в условиях жаркого тропического климата: прибор должен эксплуатироваться при температурах до 50 °С с влажностью до 100 % при давлении атмосферы 750-760 мм.рт.ст.

Измеряемые газы СО и C_nH_m имеют полосы поглощения на длинах волн 4,7 мкм (СО) и 3,4 мкм (C_nH_m). На этих частотах происходит поглощение излучения, которое пропорционально концентрации. На фотоприемнике модулированное излучение преобразуется в приемное напряжение, которое в микро-ЭВМ обрабатывается по программе и представляется в виде значений концентрации СО - % об и C_nH_m – ppm.

Результаты исследований показали, что макет прибора обладает высокими надежностными характеристиками, а его метрологические

характеристики соответствуют требованиям технического задания на разработку тропического варианта газоанализатора.

В работе изложены вопросы опытно-промышленных испытаний предлагаемой системы экстремального управления процессом горения топлива с использованием сигнала по тепловосприятию топочных экранов газосжигающих печей с обоснованием целесообразности использования сигнала ΔP для целей технической диагностики теплонапряженности экранных поверхностей нагрева исследуемой печи.

Проведено сопоставительное исследование метода решения задачи экстремального управления «по приращению» и метода регулирования «по второй разности». Были рассчитаны статические и динамические характеристики систем управления. Сначала проверялась работа регулятора при выбранных параметрах настройки. Затем на вход регулятора подавали корректирующий сигнал, с помощью которого осуществлялся поиск и поддержание оптимального коэффициента избытка воздуха в газосжигающей печи. Полученные численные значения дисперсий исследуемых сигналов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Сравнительные данные исследования системы регулирования экономичности процесса горения с сигналами $\Delta P_{ис}$ и D_q

Вид топлива	Дисперсия, $(O_2)^2$	
	$\Delta P_{ис}$	D_q
Газ	1,25	2,30

Параллельно выполнялся газовый анализ в реперных точках. В табл. 5 представлены сравнительные данные газового анализа, полученные в результате испытаний и данные, взятые из режимных карт технологического регламента.

Таблица 5

Результаты газового анализа при испытании системы регулирования экономичности процесса горения

Показатели		Результаты								
Расход пара, $m^3/ч$		330	300	270	240	210	235	275	310	330
Содержание O_2 , %		4,5	4,6	4,9	5,1	6,0	5,8	5,1	4,5	4,6
α		1,27	1,28	1,31	1,32	1,40	1,38	1,32	1,27	1,30
Технологический регламент	O_2 , %	5,0	-	5,4	-	6,6	-	5,4	-	5,0
	α	1,31	-	1,35	-	1,46	-	1,35	-	1,31
$\Delta P_{ис}$, $кПа$		5,2	4,9	4,6	3,8	2,9	3,6	4,8	5,0	5,3

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основе методов системного анализа, использованы методы и алгоритмы технологических измерений в отраслях химической, нефтеперерабатывающей и промышленности строительных материалов, а также теоретический аппарат систем контроля и управления сложными технологическими процессами и производствами, разработаны алгоритмы контроля и управления процессом горения в газосжигающих печах.

В итоге получены следующие научные результаты:

1. Проанализировано современное состояние теории и практики автоматического контроля и управления технологическими процессами

горения топлива в газосжигающих печах и выявлены тенденции их дальнейшего совершенствования и развития.

2. Обоснованы физические принципы построения первичного измерительного преобразователя для селективного измерения концентрации вредных веществ (CO) и (C_nH_m) в отработавших газовых смесях на основе спектрофотометрического метода измерения в полосах поглощения ИК-диапазона, обеспечивающего избирательность определения целевых параметров.

3. Разработана оригинальная комбинированная оптическая схема трехкомпонентного (углеводороды, монооксид углерода и диоксид) газоанализатора, основанного на инфракрасном (ИК) методе измерения.

4. На поверочных газовых смесях (« $\text{CO} + \text{воздух}$ », « $\text{CO} + \text{H}_2$ », « $\text{C}_3\text{H}_8 + \text{воздух}$ » или « $\text{C}_3\text{H}_8 + \text{N}_2$ ») выполнены исследования концентрационных зависимостей, изучены результаты измерений на различных приборах, градуировки шкал датчиков давления и температур и выполнен анализ способов коррекции показаний прибора «TAZAL».

5. Выполнены исследования разработанного недисперсионного оптического газоанализатора в условиях тропического климата, показавшие, что в условиях повышенной влажности прибор работает исправно и результаты измерений не превышают основной погрешности прибора.

6. Выполнена содержательная постановка и дано решение задач автоматического управления экономичностью процесса сжигания топлива как экстремальной задачи максимального быстрогодействия, свидетельствующее о том, что эффективность функционирования системы характеризуется величиной потерь, обусловленных поиском оптимума статистической характеристики исследуемого динамического объекта.

7. Сопоставительный анализ методов решения задач экстремального управления по «приращению» и по «второй разности» свидетельствует о том, что работоспособность и качество регулирования не уступает известным традиционным системам управления экономичностью сжигания топлива в газосжигающих печах.

8. Для селективного измерения содержания трех компонентов вредных газовых выбросов (диоксид углерода, монооксид углерода и собственно углеводородов) в составе дымовых газов газосжигающих печей изготовлен макет газоанализатора в тропическом исполнении. Опытно-промышленные испытания которого показали, что для повышения надежных характеристик целесообразно в конструкцию прибора ввести микронасос для отвода конденсата из капелотбойника, а также использовать шаговый двигатель для привода обтюлятора с интерференционными фильтрами.

9. Результаты опытно-промышленных испытаний газоанализатора выхлопных дымовых газов теплосжигающих печей показали, что разработка диссертации обладают высокими метрологическими и надежными показателями и соответствуют требованиям технического задания на разработку прибора в тропическом исполнении для определения содержания вредных выбросов в выхлопных газах.

10. Результаты обработки экстремальных характеристик предложенной системы экстремального регулирования процесса сжигания топлива в газосжигающих печах свидетельствуют о ее высокой помехозащищенности и перспективах ее использования в промышленных условиях.

**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

BOBOMURODOV NASRIDDIN HASANOVICH

**MONITORING AND CONTROL OF THE COMBUSTION
PROCESS IN GAS-BURNING FURNACES**

05.01.08 - Automation and control of technological processes and manufactures

**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 under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number №B2018.2.PhD/T703.

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, Professor

Official opponents: **Sevinov Jasur Usmonovich**
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Kadirov Yorkin Bakhodirovich
Doctor of Philosophy in technical sciences

Leading organization: **LLC «Ximavtomatika»**

Defense of dissertation will take place in «13» 06 2020 at 11⁰⁰ o'clock at a meeting of the scientific council DSc.03/30.12.2019.T.03.02 at the Tashkent state technical university (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (99871) 246-46-00; fax: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

The doctoral dissertation could be reviewed at the Information-resource center of Tashkent state technical university (registration number 148). (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (99871) 246-03-41.)

Abstract of dissertation sent out on «06» 06 2020 year.
(mailing report № 7, on «01» 06 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 science

X.Z.Igamberdiyev

Chairman of the Academic seminar under the
Scientific council awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor, academician

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research work develop methods and algorithms for structural and parametric analysis and synthesis of control systems and processes for burning fuel in gas-burning furnaces of industrial production.

The object of the research is the control system and automatic control of the processes of fuel flaring in industrial furnaces.

Scientific novelty of the research work is as follows:

the physical principles of constructing a measuring unit for determining the concentration of harmful substances (CO) and (C_nH_m) in exhaust gas mixtures are substantiated and formulated on the basis of a spectrophotometric method for measuring the content in the absorption bands of the infrared band, which ensures selectivity in determining the target parameters;

an original combined optical scheme of a three-component (hydrocarbon, carbon monoxide and dioxide) gas analyzer based on a non-dispersive infrared measurement method was developed;

concentration dependences were obtained on calibration gas mixtures ("CO+air", "CO+N₂", "C₃H₈+air" or "C₃H₈+air"), the scales of pressure and temperature sensors were graduated, and methods for introducing temperature correction of the TAZAL device readings were justified;

a non-dispersive optical gas analyzer was developed in a tropical climate, and the reliability of the device in conditions of high humidity and the measurement error not exceeding the basic error were determined;

the task is to build an extreme system for regulating the efficiency of the combustion process in gas-burning furnaces with a correction signal for the heat reception of the furnace screens as tasks of maximum speed and its solutions have been developed;

a comparative study of two methods for solving the problem of extreme regulation with a variable step ("incrementally" and "second difference") was carried out and a control system was developed in the conditions characteristic of the system using existing equipment.

Implementation of the research results. Based on the results of monitoring and control of the combustion process in gas-burning furnaces, the following have been introduced:

developed tropical gas analyzer for determining the content of carbon monoxide (CO) and hydrocarbons (C_nH_m) in industrial exhausts of gas-burning furnaces, based on the dispersion method of gas analysis, implemented at «Qizilqumsement» JSC (Reference of the Association «O‘SANOATQURILISHMATERIALLARI» № 02/10-3326 of December 17, 2019). As a result, the accuracy of the electrochemical gas analyzer increases;

The adequacy of the mathematical model for controlling the actual technological process of burning fuel in gas-burning furnaces tested at «Qizilqumsement» JSC (Reference of the Association «O‘SANOATQURILISHMATERIALLARI» № 02/10-3326 of December 17,

2019). As a result, it is possible to achieve the required quality of functioning of the natural gas combustion control system.

The optimal control system for the fuel combustion processes in gas-burning furnaces was developed and the applied problem of calculating the optimal settings for the proportional-integral-differential controller, implemented at «Qizilqumsement» JSC (Reference of the Association «O‘SANOATQURILISHMATERIALLARI» № 02/10-3326 of December 17, 2019) was solved. As a result, the required quality of the transition process and the efficiency of fuel combustion are observed in compliance with environmental standards.

The structure and volume of the dissertation. The thesis consists of an introduction, four chapters, conclusion, list of references and applications. The dissertation volume is 121 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (Часть I; Part I)

1. Акромов Э.М., Закиров Т.З., Бобомуродов Н.Х., Нигматов Р., Адылов Д. Исследование ионизационных характеристик газоздушного факела пламени горелок // Научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление», №6(12), 2006. –С.44-48. (05.00.00; №12)
2. Курбанов О.А., Закиров Т.З., Бобомуродов Н.Х. Автоматизированная система управления процессами сжигания топлива в газосжигающих печах // Научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление», №4(16), 2007. – С. 65-69. (05.00.00; №12)
3. Бобомуродов Н.Х. Некоторые задачи оптимального проектирования систем очистки химических предприятий // Научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление», №1(19), 2008 – с. 87-88. (05.00.00; №12)
4. Бобомуродов Н.Х. Постановка задачи оптимизации процессов очистки дымовых газов // Научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление», №5(23), 2008. –С.70-73. (05.00.00; №12)
5. Банденок Е.Ю., Бобомуродов Н.Х., Ешматова Б.И. Способ изготовления газочувствительного электрода для электрохимического определения содержания хлора в газах // Научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление», №4(28), 2009. – С.41-43. (05.00.00; №12)
6. Гулямов Ш.М., Банденок Е.Ю., Ешматова Б.И., Бобомуродов Н.Х. Разработка и исследование электрохимических ячеек для определения концентрации оксида углерода в газовых средах // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». №1, 2010. –С.32-37. (05.00.00; №12)
7. Бандёнок Е.Ю., Ешматова Б.И., Бобомуродов Н.Х. Разработка и исследование электрохимических ячеек для определения концентрации оксида углерода в газовых средах // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». №3(39), 2011. –С.50-52. (05.00.00; №12)
8. Нурматов У.Ш., Бобомуродов Н.Х., Банденок Е.Ю., Зикриллаев Б.Х. Газоаналитическая установка для определения содержания вредных компонентов в газовых смесях // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». №2(44), 2012. –С.61-64. (05.00.00; №12)
9. Юсупбеков Н.Р., Банденок Е.Ю., Зикриллаев Б.Х., Бобомуродов Н.Х. Разработка блока газоподготовки с эжекционным разбавлением для электрохимических газоанализаторов // Международный научно-

- технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». №4(46), 2012. –С.15-17. (05.00.00; №12)
10. Бобомуродов Н.Х., Ражабов А.Т., Гапаров Ф.Р. Физические принципы построения датчика дымности // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». №2(50), 2013. –С.46-49. (05.00.00; №12)
 11. Банденок Е.Ю., Бобомуродов Н.Х., Исхакова Ф.Ф. Электрохимические ячейки газоанализаторов для определения концентрации вредных веществ в газовых средах // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». №1(61), 2015. –С.63-67. (05.00.00; №12)
 12. Yusupbekov N.R., Gulyamov Sh.M., Temerbekova V.M., Bobomurodov N.Kh. Algorithm of Estimation of Stability and Noise Immunity of Production in Difficult Installations and Complexes // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 3, Issue 4, April 2016. –PP.1870-1877. (05.00.00; №8)
 13. Бобомуродов Н.Х. Математическое моделирование процесса функционирования газовой горелки в печах сжигания природного газа // Международный научно-технический журнал «Химическая технология. Контроль и управление». №6(78), 2017. –С.67-72. (05.00.00; №12)
 14. Bobomurodov N.X., Holmanov U.U. Mathematical modeling of a gas burner of combustion of natural gas in glass furnaces // Journal “Chemical technology. Control and management”, Special Issue, 2018, №4-5 (82-83). –PP.158-161. (05.00.00; №12)
 15. Bobomurodov N.X. Mathematical Modeling of the Gas Burner Functioning Process in Natural Gas Burning Furnaces // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 6, Issue 10, October 2019. -PP.11247-11252. (05.00.00; №8)

II бўлим (Часть II; Part II)

16. Юсупбеков Н.Р., Гулямов Ш.М., Банденок Е.Ю., Ешматова Б.И., Бобомуродов Н.Х. Газодиффузионные гидрофобизированные электроды для определения концентрации оксида углерода в газовых смесях // Датчики и системы. Sensors & Systems. 2010. №11(138). –С. 30-33.
17. Юсупбеков Н.Р., Гулямов Ш.М., Бобомуродов Н.Х., Банденок Е.Ю., Зикриллаев Б.Х. Автоматический контроль и управление процессом горения топлива в газосжигающих печах. Ташкент, 2011. -74 с. (Препринт).
18. Юсупбеков Н.Р. Гулямов Ш.М. Банденок Е.Ю. Зикриллаев Б.Х. Бобомуродов Н.Х. Многокомпонентный газоанализатор электрохимического типа для селективного определения токсичных компонентов в газовых смесях // Промышленные АСУ и контроллеры. Издательство "Научтехлитиздат". -Москва. 2012. –С.42-44.
19. Гулямов Ш.М., Юсупбеков А.Н., Банденок Е.Ю., Зикриллаев Б.Х., Бобомуродов Н.Х. К разработке измерительного преобразователя в

- составе газоаналитического комплекса для определения содержания вредных компонентов в газовых смесях // Датчики и системы. Sensors & Systems. 2012. №7. –С. 67-69.
20. Закиров Т.З., Юн С.К., Бобомуродов Н.Х. Разработка системы управления газовыми горелками топочных печей // Республиканская научная конференция «Современное состояние и пути развития информационных технологий» Ташкент, 11-13 октября 2006 года.
 21. Юсупбеков Н.Р., Бобомуродов Н.Х. Физико – химическая модель процессов очистки дымовых газов неподвижном слое катализатора // Международная научная конференция «ИННОВАЦИЯ – 2008». Ташкент. ТашГТУ. –С. 146-148.
 22. Юсупбеков Н.Р., Бобомуродов Н.Х. Математическая модель процессов очистки дымовых газов // Шестая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов государств участников РРС «Техника и технологии в связи». Ташкент, 9-10 октября 2008 года. –С. 364-367.
 23. Bobomurodov N.H., Mirzaraximov M.S. Problems of optimization of processes clearing of smoke gases // Fifth World Conference of Intelligent Systems for Industrial Automation, WCIS-2008. Tashkent, Uzbekistan November 25-27, 2008. –PP.341-344.
 24. Мухитдинов Д.П., Бобомуродов Н.Х. Получение интегральных уравнений динамики объекта по заданным дифференциальным уравнениям // Международная научная конференция «Актуальные проблемы механики и горного машиноведения, развития науки и интеграции вузов». Кыргызстан, г.Ош, 2009 г.
 25. Банденок Е.Ю., Бобомуродов Н.Х. Программно-аппаратный комплекс для анализа профиля волны горения // Международная научно-техническая конференция «Современная техника и технологии горно-металлургической отрасли и пути их развития». Навои-2010. -С.492-493.
 26. Bobomurodov N.H. Mathematical modeling of the gas burner // Sixth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation WCIS –2010, Tashkent, Uzbekistan, November 25-27, 2010. –PP. 215-216.
 27. Банденок Е.Ю., Бобомуродов Н.Х., Зикриллаев Б.Х. Разработка электрохимической ячейки газодиффузионными гидрофобными электродами для определения концентрации вредных компонентов в газовой среде // Республиканская научно-техническая конференция «Современные технологии и инновации горно-металлургической отрасли». Навои-2012. -С.446-447.
 28. Bobomurodov N.Kh., Shamsutdinova V.H., Irgasheva G.R., Ganieva S.U. Problem diagnosis fault information subsystems automated systems process control // Eighth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation (WCIS - 2014). November 25-27, 2014. Tashkent, Uzbekistan. – PP.361-364.

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

Бичими 60x84¹/₁₆. Рақамли босма усули. Times гарнитураси.
Шартли босма табоғи: 3,5. Адади 100 нусха. Буюртма № 100.

Гувоҳнома № 10-3719

“Тошкент кимё технология институти” босмаҳонасида чоп этилган.
Босмаҳона манзили: 100011, Тошкент ш., Навоий кўчаси, 32-уй.