

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.27.06.2017.Т.03.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ИСКАНДАРОВ ЗОХИД ЭРГАШБАЕВИЧ

**КАЛЬЦИНАЦИЯЛАНГАН СОДА ОЛИЩДА КАРБОНИЗАЦИЯЛАШ
ЖАРАЁНИНИНГ АДАПТИВ-НОҚАТЪИЙ БОШҚАРИШ
СИСТЕМАСИ**

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

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

Тошкент – 2019

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Искандаров Зоҳид Эргашбаевич

Кальцинацияланган сода олишда карбонизациялаш жараёнининг адаптив-
ноқатъий бошқариш системаси.....3

Искандаров Зоҳид Эргашбаевич

Адаптивно-нечеткая система управления процессом карбонизации при
получении кальцинированной соды21

Iskandarov Zokhid Ergashbaevich

Adaptive-fuzzy control system of the carbonization process in the production of
soda ash39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works43

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.27.06.2017.Т.03.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ИСКАНДАРОВ ЗОХИД ЭРГАШБАЕВИЧ

**КАЛЬЦИНАЦИЯЛАНГАН СОДА ОЛИЩДА КАРБОНИЗАЦИЯЛАШ
ЖАРАЁНИНИНГ АДАПТИВ-НОҚАТЪИЙ БОШҚАРИШ
СИСТЕМАСИ**

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

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

Тошкент– 2019

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2019.1.PhD/T1002 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

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

Илмий раҳбар:	Сиддиков Исомиддин Хақимович техника фанлари доктори, профессор
Расмий оппонентлар:	Каипбергенов Ботирбек Тулепбергенович техника фанлари доктори, профессор Сапаев Маматқарим техника фанлари номзоди, доцент
Етакчи ташкилот:	«Ўзкимёсаноатлойиха» АЖ

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.27.06.2017.T.03.02 рақамли Илмий кенгашнинг 2019 йил «___» ___ соат ___ 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 (82 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (+99871) 246-03-41.

Диссертация автореферати 2019 йил «__» _____ куни тарқатилди.
(2019 йил «__» _____ даги _____ - рақамли реестр баённомаси).

Н.Р.Юсупбеков

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

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,
т.ф.д., профессор, академик

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда кимё саноати соҳасида, хусусан кимё саноатида кальцинацияланган сода олишнинг мавжуд технологияларини такомиллаштириш, ишлаб чиқариш самарадорлигини ва технологик агрегатлар қувватини оширишга алоҳида аҳамият берилмоқда. Кейинги вақтларда бу соҳада жадал ривожланаётган муҳим масалалардан бири энергия ва ресурсларни камроқ сарфлаб, юқори сифатли маҳсулот ишлаб чиқаришни ошириш ва реал технологик объектларни бошқариш масалаларида бошқариш жараёнининг сифатини яхшилаш имконини берувчи замонавий ахборот технологияларини қўллаш ҳисобланади. Бу борада, ривожланган чет эл мамлакатлари АКШ, Германия, Хитой, Россия, Ҳиндистон, Украина ва бошқа давлатларда маълум ютуқларга эришилган бўлиб, уларда ишлаб чиқариш самарадорлигини ошириш ва маҳсулотлар рақобатдошлигини таъминлаш учун технологик жараёнларни бошқариш усуллари такомиллаштиришга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда бу соҳада технологик жараёнларнинг боришига таъсир этувчи турли омиллар параметрларининг ўзгарувчанлигини ҳисобга олган ҳолда кальцинацияланган сода олиш жараёни технологияларини такомиллаштириш ва бошқариш системаси самарадорлигини ошириш бўйича қатор тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Шу билан бирга таъсир этувчи ғалаён параметрлари ва бошқариш системасини ички хусусиятлари ўзгарувчан бўлган шароитларда реал динамик объектларни бошқариш масалаларига кўп сондаги илмий-тадқиқот ишлари бағишланган бўлиб, бу турдаги тадқиқотлар бугунги куннинг муҳим ва долзарб масалаларидан бири эканлигини кўрсатади.

Ҳозирги кунда республикамизда автоматлаштириш ва бошқариш йўналишига, жумладан турли технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни автоматлаштириш ва бошқаришда энергия ва ресурс тежамкорликни таъминловчи такомиллаштирилган бошқариш системаларини яратишга катта эътибор қаратилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «... юқори технологияли қайта ишлаш тармоқларини, энг аввало, маҳаллий хомашё ресурсларини чуқур қайта ишлаш асосида юқори қўшимча қийматли тайёр маҳсулот ишлаб чиқаришни жадал ривожлантиришга қаратилган сифат жиҳатидан янги босқичга ўтказиш орқали саноатни янада модернизация ва диверсификация қилиш, ... иқтисодиётда энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш, қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланишни кенгайтириш, иқтисодиёт тармоқларида меҳнат унумдорлигини ошириш»¹ вазибалари белгилаб берилган. Шу нуқтаи назардан, бошқариш жараёнининг сифат кўрсаткичларини ошириш имконини берадиган замонавий технологик

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

воситалар асосида бошқариш объекти параметрларининг ноаниқликларини ҳисобга олган ҳолда кальцинацияланган сода олишдаги карбонизациялаш жараёнининг моделлари ва адаптив-ноқатъий бошқариш системасини ишлаб чиқиш ниҳоятда долзарб ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги, 2017 йил 29 ноябрдаги ПФ-5264-сон «Ўзбекистон Республикаси инновацион ривожлантириш вазирлигини ташкил этиш тўғрисида»ги Фармонлари, 2012 йил 21 мартдаги ПҚ-1730-сон «Замонавий ахборот-коммуникация технологияларини жорий этиш ва янада ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги, 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 технологиялари ривожланишининг IV. «Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Ноаниқлик муҳитидаги технологик жараёнларни бошқариш усул ва алгоритмларини ишлаб чиқиш билан боғлиқ илмий-техникавий нашрлар таҳлили ушбу соҳада сезиларли назарий ва амалий натижаларга эришилганлигидан далолат беради. Турли мураккаб омилларни ҳисобга олган ҳолда динамик объектларни адаптив бошқариш системаларини яратиш ва ишлаб чиқиш назарияси ва амалиётининг ривожига қўплаб чет эл олимлари, жумладан A.Abraham, R.A.Aliev, A.Allgöwer, M.F.Griffin, K.J.Hunt, G.Irwin, P.Kraszewski, Li Ning, Li Shao Yuan, A.Piegat, S.Stolcman, M.Sugeno, K.Tanaka, H.O.Wang, K.Warwick, Xi Yu Geng, L.A.Zadeh, A.Zheng., А.Г.Афанасенко, А.Г.Алексеев, В.С.Балакирев, В.П.Мешалкин, Л.С.Гардиев, Ф.И.Василевлар, шунингдек мамлакатимиз олимларидан Д.А.Абдуллаев, Ф.Б.Абуталиев, Б.М.Азимов, М.М.Арипов, Т.Ф.Бекмуратов, Ш.М.Гулямов, И.И.Джуманов, Х.З.Игамбердиев, М.А.Исмаилов, Н.З.Камалов, М.М.Камилов, А.Р.Марахимов, И.Х.Сиддиқов, Ш.Х.Фозилов, Н.Р.Юсупбеков ва бошқалар ўзларининг улкан ҳиссаларини қўшишган.

Кальцинацияланган сода олиш технологиясининг муттасил мураккаблашиб бориши ва кимё саноатининг жадаллашуви ноаниқликлар шароитларида замонавий ахборот технологиялари ютуқлари ва техник воситаларини қўллаган ҳолда технологик жараёнларни бошқаришнинг юқори самарали усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқишни талаб этади. Юқорида келтириб ўтилганлардан карбонизациялаш жараёнини адаптив-ноқатъий

бошқариш системасини яратиш ва такомиллаштиришнинг жуда зарурлиги келиб чиқади.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университети илмий-тадқиқот ишлари режаларининг П20.22 – «Технологик объектларни иерархик мультимикропроцессорли бошқариш тизимларини автоматлаштирилган тадқиқ қилишнинг усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш» (2004-2006); А-14.002 – «Мураккаб динамик объектларни бошқариш жараёнларини интеллектуаллаш асосида моделлаштирувчи, башоратловчи ва адаптив бошқариш тизимларини яратишнинг инструментал воситасини ишлаб чиқиш» (2006-2008); ИТД-5-36 – «Нефть-кимёвий қурилма ва мажмуаларини технологик хавфсизлиги мониторингининг ахборот-аналитик интеллектуал тизимини яратиш» (2012-2014); А-5-42 – «Априор ноаниқлик шароитида технологик объектларнинг автоматлаштирилган мониторинги ва бошқаришнинг интеллектуаллаштиришни дастурий-инструментал воситаси» (2015-2017); БА-А5-025 – «Кўпбосқичли карбонизациялаш жараёнини адаптив бошқариш системаси ва автоматлаштирилган мониторингини ишлаб чиқиш ва тадбиқ этиш» (2017-2018) мавзуларидаги илмий-тадқиқот лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқот мақсади аммонийлаштирилган эритмани карбонизациялаш жараёнини маҳсулот сифат кўрсаткичлари бўйича оператив бошқаришнинг модел ва алгоритмларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

ноаниқлик шароитларида карбонизациялаш жараёнининг бошқариш системасини назарий ва амалий тадқиқ этишнинг замонавий ҳолатини тизимли таҳлил қилиш;

карбонизациялаш жараёнини бирламчи ўрганиш ва оптимал режимларини аниқлаш мақсадида математик моделини ишлаб чиқиш;

жараённи дастлабки ўрганиш босқичида олинган маҳсулот сифат кўрсаткичларини оператив аниқлаш учун жараёнларнинг нейро-ноқатъий моделларини ишлаб чиқиш;

карбонизациялаш колоннасининг иссиқлик баланс тенгламалари асосида жараёнга таъсир этувчи асосий ғалаён факторларни аниқлаш;

нейро-ноқатъий технологиялар базасида технологик жараённинг оптимал режимларини таъминлашнинг самарали алгоритм ва моделларини ишлаб чиқиш;

объект параметрлари ва ташқи ғалаён факторларини компенсацияловчи, ҳамда оптимал бошқаришни амалга оширувчи маҳсулот сифат кўрсаткичи бўйича жараённи бошқариш системаларини яратиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида кальцинацияланган сода олишда карбонизациялаш жараёнини бошқариш системаси олинган.

Тадқиқотнинг предмети ноаниқлик муҳитида карбонизациялаш технологик жараёнини адаптив-ноқатъий бошқариш системасини синтезлаш усуллари ва алгоритмларидан иборат.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида тизимли таҳлил, бошқариш назарияси, адаптив бошқариш, имитацион моделлаштириш назарияси, ноқатъий мантиқ ва нейрон тўрлари назариясидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

карбонизациялаш колоннасининг оптимал ҳарорат режимини аниқлаш учун кимёвий реакция ва стехиометрик муносабатлар асосида карбонизациялаш технологик жараёнининг кинетик модели ишлаб чиқилган;

асосий ғалаён таъсирлар ва маҳсулот сифат кўрсаткичларини ҳисобга олган ҳолда техник-иқтисодий мезонлар бўйича карбонизациялаш жараёнининг нейро-ноқатъий модели ва технологик режимларини оптималлаштириш алгоритмлари ишлаб чиқилган;

карбонизациялаш жараёни хусусиятларининг ўзгариши ва ташқи муҳит ғалаёнларини компенсациялаш орқали оптимал бошқаришни амалга оширувчи автоматик бошқариш системасини синтезлаш алгоритми ишлаб чиқилган;

оператив режимда ноқатъий ПИД-ростлагичнинг созлаш параметрларининг оптимал қийматларини ҳисоблашнинг самарали алгоритми ҳамда карбонизациялаш колоннасини унга таъсир этувчи ташқи ва ички параметрларининг ноаниқлиги шароитида маҳсулот сифат кўрсаткичи бўйича адаптив нейро-ноқатъий бошқариш системаси ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

карбонизациялаш жараёнини бошқариш системасини яратишга сифатли янгича ёндашув ва моделлаштиришнинг нейрон тўри усуллари асосида аммонийлаштирилган эритмани карбонизациялаш жараёни сифат кўрсаткичларининг оптимал параметрларини оператив аниқлашга мўлжалланган дастур модули ишлаб чиқилган;

кальцинацияланган сода ишлаб чиқаришдаги карбонизациялаш колоннасининг нормал ишлаш шароитларида олинган тажриба маълумотлари асосида карбонизациялаш жараёнининг адаптация хусусиятига эга нейрон тўри модели ишлаб чиқилган;

карбонизациялаш жараёнининг квазиоптимал технологик режимларини таъминловчи автоматлаштириш ва адаптив бошқариш системасининг структуравий ва функционал схемаси ишлаб чиқилган;

реал вақт масштабида карбонизациялаш колоннаси босими ва ҳарорат режимларини бошқариш учун дастурий мажмуа ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги услубий жихатдан асосланган назарий ҳисоб-китобларни амалга оширилиши, динамик объектларни адаптив бошқаришнинг назарий асосланган мезонлари кўлланилиши, замонавий автоматик бошқариш назариясининг синовдан ўтган усуллари ва алгоритмларини ишлатилиши, адаптив бошқаришнинг таклиф этилган усуллари ва алгоритмларини талаб

даражадаги яқинлиги, назарий ва амалий тадқиқот натижалари ва уларнинг ўзаро мувофиқлиги билан таъминланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти динамик объектларни адаптив бошқариш масалаларини ечиш имконини берувчи, ноаниклик шароитлар ва ишлаб чиқариш вазиятининг аниқ эмаслик ҳолатларида фаолият кўрсатувчи технологик объектларни адаптив-ноқатий ростлаш тизимларини синтез қилиш модел ва алгоритмларини ишлаб чиқишдан иборатдир.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти объект хусусияти ва ташқи муҳит ноаниқлиги шароитида динамик объектларни адаптив-ноқатий бошқариш системасини синтез қилиш масаласида математик ва алгоритмик таъминотни ишлаб чиқиш, ҳамда ишлаб чиқилган алгоритмлар узлуксиз характерли ишлаб чиқаришнинг технологик жараёнларини бошқаришнинг адаптив системаларини лойиҳалашда кенг қўллаш мумкинлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Кальцинацияланган сода олишда карбонизациялаш жараёнини адаптив-ноқатий бошқариш системасини ишлаб чиқиш бўйича олинган натижалар асосида:

маҳсулот сифат кўрсаткичи бўйича бошқариш системасини синтезлаш имконини берувчи карбонизациялаш жараёнининг математик модели «Қўнғирот сода заводи» МЧЖда жорий қилинган («ЎЗКИМЁСАНОВАТ» АЖнинг 2019 йил 19 апрелдаги 03-2230/К-сон маълумотномаси). Натижада кальцинацияланган соданинг асосини ташкил этувчи натрий гидрокарбонат кристалларининг сифати ошган;

асосий ғалаён таъсирлар ва маҳсулот сифат кўрсаткичларини ҳисобга олган ҳолда техник-иқтисодий мезонлар бўйича карбонизациялаш жараёни нейро-ноқатий модели ва оптималлаштириш алгоритмлари «Қўнғирот сода заводи» МЧЖда жорий қилинган («ЎЗКИМЁСАНОВАТ» АЖнинг 2019 йил 19 апрелдаги 03-2230/К-сон маълумотномаси). Натижада аммонийлаштирилган тузли эритмани карбонизациялаш жараёнидаги режимларни барқарорлаштириш ва унинг ишлаш самарадорлигини ошириш имконини берган;

нейро-ноқатий технологияларни қўллаш асосида карбонизациялаш жараёнининг ўлчанмайдиган сифат кўрсаткичларини ўлчанувчи ва бошқариш параметрлари бўйича аниқлаш алгоритми «Қўнғирот сода заводи» МЧЖда жорий қилинган («ЎЗКИМЁСАНОВАТ» АЖнинг 2019 йил 19 апрелдаги 03-2230/К-сон маълумотномаси). Натижада карбонизациялаш жараёнини бошқаришнинг сифат кўрсаткичлари параметрларини оператив назорат қилиш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқотнинг назарий ва амалий натижалари 3 та халқаро ва 5 та республика илмий-амалий анжуманларида маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 18 та илмий иш, шулардан – Ўзбекистон Республикаси

Олий аттестация комиссияси тавсия этган илмий нашрларда 7 та мақола, жумладан, 2 таси хорижий ва 5 та республика журналларида нашр этилиб, ЭҲМ лар учун дастурий маҳсулотларга Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигидан рўйхатдан ўтган 3 та гувоҳнома олинган.

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

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

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

Диссертациянинг **«Кальцинацияланган сода олишда карбонизациялаш жараёнини бошқариш муаммоларининг замонавий ҳолатини тизимли таҳлили»** деб номланган биринчи бобида кальцинацияланган сода олишда карбонизациялаш жараёнини бошқаришнинг ва замонавий ҳолатининг масалалари тизимли таҳлил қилинган. Карбонизациялаш жараёнини бошқаришнинг мавжуд усуллари танқидий таҳлили ўтказилган, кўриб чиқиладиган объектни бошқаришнинг мақсади ва сифат мезонлари аниқланган.

Бугунги кунда карбонизациялаш жараёнининг технологик параметрлари: карбонизациялаш колоннасидан чиқишдаги суспензия сарфи ва ҳароратини ростлаш, аммонийлаштирилган эритма сарфини меъёрида ушлаб туриш каби катталикларни бошқариш мақсадида локал автоматик ростлаш системалари қўлланилади. Бундай системалар жараён кириш ва чиқиш факторларининг корреляциялари ва технологик параметрларнинг ўзаро алоқаларини ҳисобга олинмаганлиги сабабли зарурий самарани бермайди.

Карбонизациялаш жараёнининг сифат кўрсаткичи натрийнинг утилизацияланиш даражаси билан характерланади ва унинг қиймати хом ашё оқимлар концентрациялари, сарфи, ҳарорати, колоннадаги реакцион оқим тезлиги, колонна ҳарорат режими ҳамда ҳосил бўлувчи кристалларнинг шакли ва ўлчамларига боғлиқ ҳисобланади.

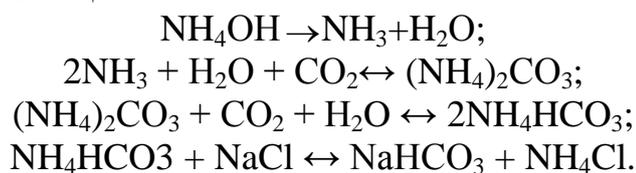
Таъкидлаш жоизки, ҳозирда ишлатилаётган аммонийлаштирилган эритмани карбонизациялаш жараёнининг математик модели кўпгина физик-кимёвий жараёнлар содир бўлишининг сифат ва миқдор жиҳатдан кимёвий реагентларнинг карбонизациялаш колоннаси баландлиги бўйича концентрациялари ўзгариши билан боғлиқ хоссаларини ифода қила олмайди.

Стабил ҳолатдан оғдирувчи факторларни баргараф қилиш ва технологик жараёни оптимал бошқариш учун параметрик ва структуравий ноаниқликларни ҳисобга олувчи, асосий маҳсулот сифат кўрсаткичларини оператив аниқлаш ҳамда агрегатлар квазиоптимал технологик режимларини қўллаб қувватлаш имконини берувчи нейро-ноқатъий технологиялар базасида карбонизациялаш жараёнининг математик моделини қуриш усуллари танланди ва асосланди.

Диссертациянинг «Карбонизациялаш жараёнининг ифодасини шакллантириш ва технологик режимларини оптималлаштириш» номли иккинчи боби карбонизациялаш жараёни кинетик тенгламалари асосида кинетик моделини қуриш, аммонийлашган тузли эритмани карбонизациялаш жараёнини оптималлаштириш мезонини танлаш, карбонизациялаш жараёнининг оптимал ҳарорат режимини аниқлаш алгоритминини ишлаб чиқиш, карбонизациялаш жараёни сифат кўрсаткичларини аниқлашнинг нейрон-тўри моделини қуришга бағишланган.

Кирувчи реагентлар ва карбонизациялаш жараёнининг экзотермик ва эндотермик реакцияларига боғлиқлиги ҳамда моддий ва иссиқлик баланс тенгламалари асосида, карбонизациялаш колоннасининг чиқишида олинадиган суспензиянинг реагентлари концентрациялари ўртасидаги миқдорий ва сифат жиҳатдан ўзаро алоқаларини тадқиқ қилиш мақсадида дифференциал тенгламалар системаси кўринишидаги математик модел ишлаб чиқилган бўлиб, у карбонизациялаш жараёнининг физик-кимёвий хоссаларини тизимли таҳлил қилишга асосланади.

Кимёвий реакцияларнинг хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда карбонизациялаш колоннасининг қуйидаги тўртта тенгламадан иборат кинетик модели ишлаб чиқилган:



Бунда ҳар бир босқичнинг кимёвий реакцияси тезликлари қуйидагича аниқланади:

$$\begin{aligned} \omega_1 &= k_1 C_{x1}; \\ \omega_2 &= k_2 C_{x2}^2 C_{x3} C_{x4} - k_3 C_{x5}; \\ \omega_3 &= k_4 C_{x5} C_{x4} C_{x3} - k_5 C_{x6}^2; \\ \omega_4 &= k_6 C_{x6} C_{x7} - k_7 C_{x8} C_{x9}; \end{aligned}$$

бу ерда: C_{xi} – компонентларнинг моляр концентрацияси; $k_1 - k_7$ – қуйидаги Аррениус тенгламаси билан аниқланадиган, мос йўналишлардаги кимёвий реакция тезликларининг доимийлари:

$$k(T) = k_0 \cdot e^{-\frac{E_{ак}}{RT}};$$

бу ерда: k_0 – экспоненциал кўпайтувчи; $E_{ак}$ – босқични активлаштириш энергияси, кал/моль; T – мутлақ ҳарорат, К; R – универсал газ доимийси,

кал/(моль*К).

Стехиометрик коэффициентларнинг матрицалари асосида карбонизациялаш технологик жараёнининг боришига бевосита таъсир қилувчи асосий компонентларнинг ўзгариш тезликлари аниқланган.

Карбонизациялаш жараёни баландлиги 27 м бўлган карбонизациялаш колоннасида юз беради ва ностационар объект ҳисобланади, у ҳолда компонентлар бўйича баланс тенглама тақсимланган параметрли объектнинг динамик модели бўлиб, уни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\frac{1}{L} \frac{\partial(V^R x_i)}{\partial t} = -\frac{\partial(v \cdot x_i)}{\partial l} + \frac{V^R}{L} g_{xi}; \quad i = \overline{1,9}, \quad (1)$$

бу ерда: L – карбонизациялаш колоннасининг баландлиги, м; V^R – карбонизациялаш колоннасининг ҳажми, м³; v – оқимнинг ҳажмий сарфи, м³/соат; g_{xi} – компонентнинг ўзгариш тезлиги:

$$g_{xi} = \sum_{j=1}^m C_{ij} k_j.$$

Асосий компонентлар концентрацияларининг ўзгариши қуйидагича ифодаланади:

$$\begin{aligned} \frac{dC_{x1}}{dl} &= \frac{V^R}{vL} (-k_1 C_{x1}); \\ \frac{dC_{x2}}{dl} &= \frac{V^R}{vL} (-k_1 C_{x1} - 2k_2 C_{x2}^2 C_{x3} C_{x4} - k_3 C_{x5}); \\ \frac{dC_{x3}}{dl} &= \frac{V^R}{vL} (k_1 C_{x1} - 2k_2 C_{x2}^2 C_{x3} C_{x4} - k_3 C_{x5} - k_4 C_{x5} C_{x4} C_{x3} + k_5 C_{x6}^2); \\ \frac{dC_{x7}}{dl} &= \frac{V^R}{vL} (-k_6 C_{x6} C_{x7} + k_7 C_{x8} C_{x9}). \end{aligned}$$

Карбонизациялаш технологик жараёнини бошқариш системаси таркибида бундай математик моделлардан фойдаланиш гидрокарбонат натрий йўқотишларини камайтириш, мақсадли маҳсулот – гидрокарбонат натрий суспензияси самарадолигини ошириш, майда натрий гидрокарбонат заррачалари ҳосил бўлиш ва таркибида намлик миқдорини камайтириш имконини беради.

Технологик жараён таҳлилидан кўришиб турибдики, колоннанинг алоҳида қисмларидаги ҳарорат қийматлари жараёнга энг катта таъсир кўрсатади. Шундан келиб чиққан ҳолда оптимал ҳарорат режимини аниқлаш зарурияти юзага келади ва бунда оптималлик мезони гидрокарбонат натрий чиқишини максималлаштиришдан иборат. Технологик нуқтаи назардан ҳароратга қуйидаги чегараланиш қўйилади:

$$28^{\circ}C \leq T \leq 65^{\circ}C.$$

Бошқариш жараёнини оптималлаштириш масаласини ечиш учун, бошқаришга қўйиладиган чегараланишларни ҳисобга олган ҳолда бўлакли-узлуксиз функциялар кўринишидаги оптимал бошқариш ечимини топиш ва оптималликнинг етарлилик шартини таъминлаш имконини берадиган

Понтрягиннинг максимумлик принципи усулидан фойдаланамиз.

Унда оптималлаштириш масаласи куйидаги кўринишда ёзилади:

$$I = \int_0^{l_k} \varphi_0(x, T) dt,$$

бу ерда: $\varphi_0(x, T) = -\frac{dx_8}{dl} = -\frac{S}{v} \frac{F_8 - x_8 F_n}{x_{10}}.$

Гамельтон функциясини киритамиз:

$$\begin{aligned} \tilde{H}(\lambda_0, x(l), \lambda(l), T) &= \lambda_0 \varphi_0(x(l), T) + \lambda_0 \varphi_8(x(l), T) + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq 8}}^{10} \lambda_k \varphi_k(x(l), T) = \\ &= \frac{S}{v} \left(\frac{F_8 - x_8 F_n}{x_{10}} + \lambda_8 \frac{F_8 - x_8 F_n}{x_{10}} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq 8}}^{10} \lambda_k \frac{F_k - x_k F_n}{x_{10}} \right); \end{aligned} \quad (2)$$

бу ерда: функция $\lambda_i(l)$ – кўшилган тенгламалар системасини қаноатлантиради:

$$\frac{d\lambda_i}{dl} = -\frac{\partial H}{\partial x_i}, i = \overline{1, 10}. \quad (3)$$

Ушбу ҳолда (1) ва (3) тенгламалар системасини интеграллаш учун 20 та чегаравий шартлар ўрнига $x_i(0) = x_i^0, i = \overline{1, 9}; C(0) = C_0$ бошланғич шартлар билан аниқланадиган 10 та шартга эга бўламиз. Етишмаган чегаравий шартлар трансверсаллик шартларини ҳисобга олиб, куйидаги қоида бўйича топиладиган $\lambda_i(l)$ функцияга чекли қийматларни бериш орқали олинади:

$$\lambda_i(l_k) + \lambda_0 \frac{\partial R}{\partial x_i} = 0, i = \overline{1, 10}.$$

Энди (2) ифода куйидагича ёзилиши мумкин:

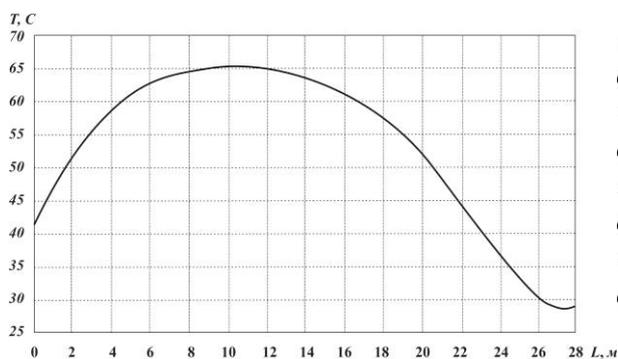
$$H(\lambda(l), x(l), T) = \sum_{k=1}^{10} \lambda_k \varphi_k = \frac{S}{v} \left(\sum_{k=1}^{10} \lambda_k \frac{F_k - x_k F_n}{x_{10}} + \lambda_k F_{10} \right).$$

Шундай қилиб, куйидаги икки нуқтали: (1), (3) системаларни чегаравий шартлар билан ишлаш масаласи ҳосил қилинди.

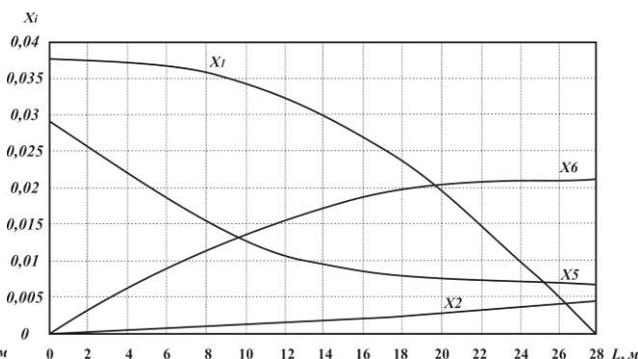
Карбонизациялаш колоннасининг баландлиги бўйича оптимал ҳарорат режимни топиш масаласини ечиш натижалари 1-4 расмларда келтирилган.

Жараён сифат кўрсаткичларини юқори аниқликда аниқлашни таъминлаш учун адаптация хусусиятига эга бўлган сунъий нейрон тўри базасида математик моделини куриш таклиф этилди.

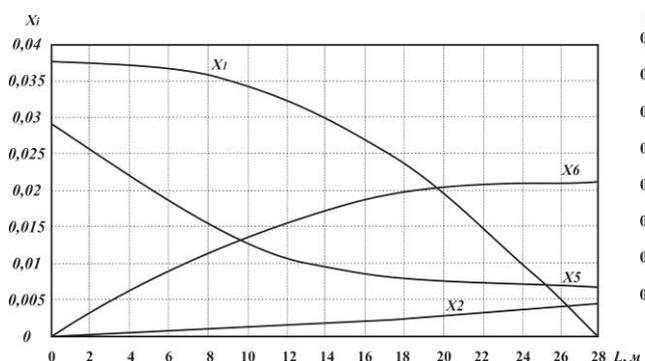
Ишда технологик жараён адекватлигини ҳисобга олган ҳолда нейрон тўрида яширин қатламлари сонини иккита танлаш асосланган. Карбонизациялаш жараёни сифат кўрсаткичларининг нейрон тўри модели сифатида 98 та ўқитиш даврига эга яширин қатламлари 20 та нейронлардан иборат, хатоликни тескари тақсимлаш усулидаги интеллектуал нейрон тармоғини қўллаш таклиф этилди.



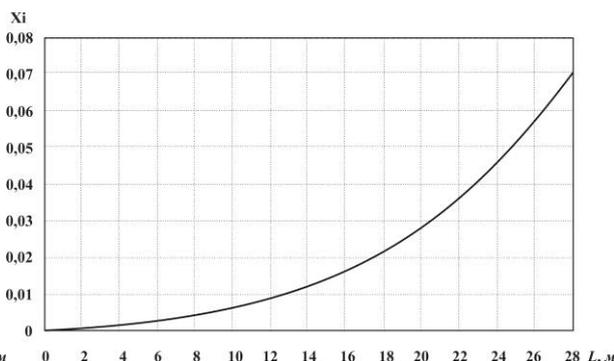
1-расм. Оптимал ҳароратнинг ўзгариш графиги, °C



2-расм. Оптимал ҳарорат режимида (X1) аммоний гидроксид, (X2) аммиак, (X5) аммоний карбонат, (X6) аммоний гидрокарбонат концентрациялари ўзгариши



3-расм. Оптимал ҳарорат режимида (X4) карбонат ангидрид, (X7) натрий хлор, (X9) аммоний хлорид концентрациялари ўзгариши



4-расм. Оптимал ҳарорат режимида асосий маҳсулот (X8) натрий гидрокарбонат концентрацияси ўзгариши

Карбонизациялаш жараёнининг сифат кўрсаткичларини нейрон-тўрли моделини адекватликка текшириш, хомашё оқимлари таркиби сифатини моделлаштириш натижасининг максимал нисбий хатолиги лаборатория таҳлиллари билан солиштирилганда 2 % дан ошмаслигини, ўртача хатолик эса 0,86 % эканлигини кўрсатди.

Диссертациянинг «Сифат кўрсаткичлари асосида карбонизациялаш жараёнини адаптив-ноқатъий бошқариш системасини синтезлаш алгоритмларини ишлаб чиқиш» номли учинчи бобида карбонизациялаш жараёнининг иссиқлик баланси таҳлил қилинган. Карбонизациялаш колоннаси кириш ва чиқиш оқимларининг сарфига боғлиқ ғалаён факторлар аниқланган. Бунда кириш параметрлари сифатида аммонийлашган тузли эритма, биринчи ва иккинчи киришдаги газ, шунингдек совитувчи сув оқимлари олинган. Чиқиш параметрлари эса гидрокарбонат суспензияси, колонна чиқишидаги газ ва колоннаниннг совитиш соҳасидан чиқаётган сув оқимлари ҳисобланади.

Колонна кириш ва чиқиш оқимларининг ҳароратига улар сарфининг таъсири қуйидаги тенгламалар ёрдамида баҳоланди.

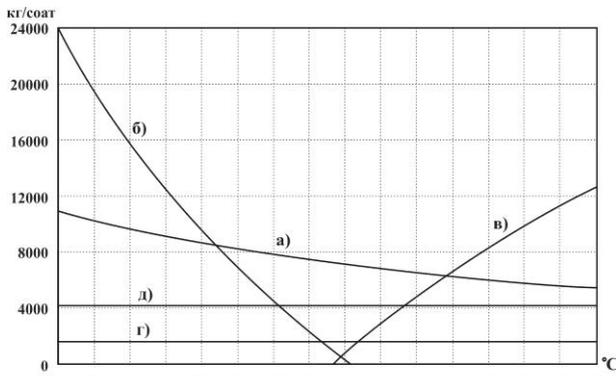
Хом ашё оқимлари ҳароратининг уларнинг массавий сарфига таъсирини ўрганиш қуйидаги иссиқлик баланси ҳисобидан амалга оширилади:

$$Q_{жс}^{кл} = V_{кл}' \cdot c_{кл} \cdot t_{кл} \cdot$$

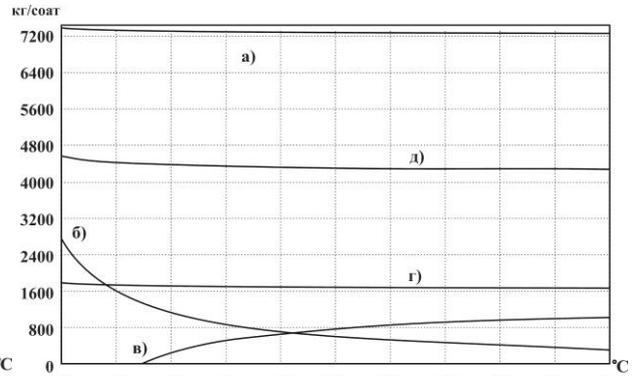
Эмпирик йўл билан қатор шартларни бажариб, қуйидаги ифодалар олинган:

$$\begin{cases} -7,46 \cdot (Q_2' + Q_2'' - Q_2) = Q_{CO_2}; \\ Q_{жс}^{кл} + Q_2' + Q_2'' + Q_{ким.р.} + Q_{CO_2} = Q_c + Q_2 + Q_{NH_4OH} + Q_{йўк} + Q_{сов}; \\ 0,45 \cdot (Q_{жс}^{кл} + Q_{ким.р.}) = Q_{йўк}; \\ Q_{ким.р.} + Q_{CO_2} = 0,79 \cdot Q_{сов}; \\ 2,87 \cdot Q_{NH_4OH} = Q_{ким.р.} \end{cases}$$

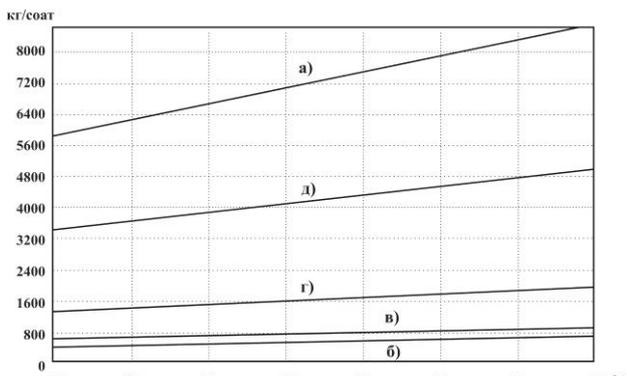
Тадқиқот натижалари, суспензиянинг ҳарорати аммонийлашган тузли эритма, биринчи ва иккинчи киришдаги газ, суспензия ва совитувчи сув сарфларига таъсир қилиши, яъни суспензиянинг ҳарорати кириш ва чиқиш оқимларининг массавий сарфига таъсир қилишини кўрсатди (5-8 расмлар).



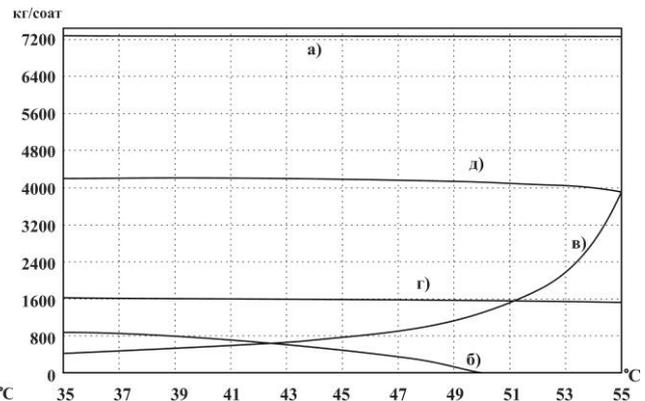
5-расм. Аммонийлаштирилган этирма ҳароратига (а, б, в, г, д) оқимлар сарфининг боғлиқлиги



6-расм. Биринчи киришдаги газ ҳароратига (а, б, в, г, д) оқимлар сарфининг боғлиқлиги



7-расм. Суспензия ҳароратига (а, б, в, г, д) оқимлар сарфининг боғлиқлиги



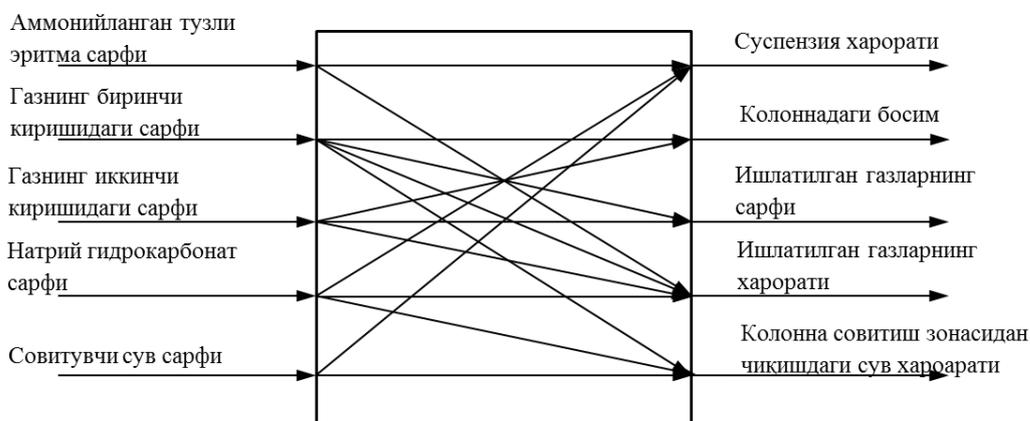
8-расм. Чиқишдаги сув ҳароратига (а, б, в, г, д) оқимлар сарфининг боғлиқлиги

бу ерда: а) аммонийлаштирилган эритма, б) биринчи киришдаги газ, в) иккинчи киришдаги газ, г) суспензия, д) совитувчи сув

Карбонизациялаш жараёнини бошқариш объекти сифатида таҳлили, унинг параметрлари ўзаро кучли таъсирга эга эканлиги объект структурасини кўп ўлчамли ва кўп алоқали кўринишда ифодалашни тақазо

этади. Бу ҳолат карбонизациялаш жараёнини бошқариш масаласини ечишни жиддий даражада мураккаблаштиради (9-расм).

Шунга кўра оптимал режимлар атрофида технологик параметрларнинг кесишувчи алоқаларини компенсациялашнинг зарурлигини юзага келтиради.



9-расм. Карбонизациялаш колоннасининг бошқариш объекти сифатида инфор­мацион схемаси

$$W_0(s) = \begin{pmatrix} \frac{0.88}{37s+1} \cdot e^{-0.2s} & 0 & 0 & \frac{0.12}{64s+1} \cdot e^{-8s} & 0 \\ 0 & \frac{0.69}{45s+1} \cdot e^{-0.7s} & 0 & \frac{1.35}{31s+1} \cdot e^{-3.9s} & \frac{1.24}{41s+1} \cdot e^{-17s} \\ 0 & 0 & \frac{0.71}{41s+1} \cdot e^{-0.9s} & \frac{1.29}{26s+1} \cdot e^{-4.2s} & \frac{1.15}{48s+1} \cdot e^{-5.1s} \\ \frac{-0.23}{42s+1} \cdot e^{-13s} & 0 & 0 & \frac{0.66}{214s+1} \cdot e^{-67s} & \frac{-0.17}{21s+1} \cdot e^{-16s} \\ \frac{1.81}{44s+1} \cdot e^{-7.2s} & 0 & 0 & \frac{-0.11}{37s+1} \cdot e^{-0.5s} & \frac{2.67}{153s+1} \cdot e^{-61s} \end{pmatrix}.$$

Бошқариш объектининг узатиш каналларининг автономлигини таъминлаш учун унинг динамикасини ҳолат тенгламалари кўринишида ифодаланади.

$$\begin{aligned} \bar{x}(t) &= \bar{A} \cdot \bar{x}(t) + \bar{B} \cdot v(t) \\ y(t) &= \bar{C} \cdot \bar{x}(t) \end{aligned} ;$$

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} A & BC_c \\ 0 & A_c \end{bmatrix}_{(n+n_c) \times (n+n_c)} ; \bar{B} = \begin{bmatrix} BD_c \\ B_c \end{bmatrix}_{(n+n_c) \times m} ; \bar{x} = \begin{bmatrix} x \\ x_c \end{bmatrix}_{(n+n_c) \times 1} ;$$

Изланаётган B_c матрицаларининг қийматларини бошқариш системасининг турғунлиги ва компенсаторларнинг физик амалга ошириш мумкинлигини таъминловчи алгоритм асосида ҳисобланди.

$$d_i = \begin{cases} \min k : \bar{C}_i \cdot \bar{A}^k \cdot \bar{B} \neq 0, & k \in (0, 1 \dots n+n_c), i \in \overline{1, m}, \\ n+n_c - 1, & \text{если } \bar{C}_i \cdot \bar{A}^k \cdot \bar{B} = 0 \quad \forall k \end{cases}, \bar{C} = [C \ 0]_{m \times (n+n_c)}.$$

$$\bar{B}_i^* = \bar{C}_i \bar{A}^{\bar{d}_i} \bar{B} = [C_i \quad 0] \begin{bmatrix} A & BC_c \\ 0 & A_c \end{bmatrix}^{\bar{d}_i} \begin{bmatrix} BD_c \\ B_c \end{bmatrix} = [C_i A^{\bar{d}_i} B; \dots; C_i A^{\bar{d}_i-1} B; \dots; C_i A^{\bar{d}_i} B] \cdot \begin{bmatrix} D_c \\ C_c B_c \\ \vdots \\ C_c A^{d_i-d_i-1} B_c \end{bmatrix}, i \in \overline{1, m};$$

$$P_i = \begin{cases} 1, & i \in (1, \dots, m-r) \\ 1+j, & i \in (m-r+1, \dots, m), j=1, 2, \dots, r, (0 < r < m) \end{cases}, \sum_{i=1}^m P_i = m + \sum_{j=1}^r j, (0 < r < m);$$

$$B_c = \bar{B}^* - \begin{bmatrix} C_1 A^{d_1+1} B \\ \vdots \\ C_{m-r} A^{d_{m+r+1}} \\ \vdots \\ C_{m-r+1} A^{d_{m+r+2}} B \\ \vdots \\ C_m A^{d_{m+r+1}} B \end{bmatrix} D_c; \bar{B}^* = \begin{bmatrix} C_1 A^{d_1} B & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ C_{m-r} A^{d_{m-r}} B & 0 & \dots & 0 \\ C_{m-r} A^{d_{m-r+1}} B & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & & \vdots \\ C_m A^{d_m+r} B & \dots & \dots & C_m A^{d_m} B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_c \\ C_c A^c \\ \vdots \\ \vdots \\ C_c A^{P_{max}} \end{bmatrix}.$$

Келтирилган ҳисоблаш процедураси замонавий микропроцессорли контроллерларда осон амалга оширилувчи ўзаро кесишган алоқалар динамик ва статик компенсаторларининг узатиш функцияларини аниқлаш имконини беради.

Аммонийлаштирилган эритмани карбонизациялаш жараёнини бошқариш ва сифат кўрсаткичларининг оптимал параметрларини аниқлаш масаласини ечишнинг специфик хусусиятларини ҳисобга олган карбонизациялаш колонналарини бошқариш системасининг функционал ва структуравий схемалари таклиф этилган.

Шу билан бирга объект хусусияти ва ташқи муҳит ўзгаришларини ҳисобга олган ноқатъий ПИД ростлагич сошлаш параметрларининг оптимал қийматларини аниқлаш масалалари ҳам кўриб чиқилган. Ростлагичларни сошлашда адаптация хусусиятини бериш учун нейро-ноқатъий тўрдан фойдаланиш таклиф этилди. Натижада адаптив нейро-ноқатъий ПИД ростлагични оператив режимда оптимал параметрларга сошлаш амалга оширилди.

Автоматик бошқариш системасини жараёнга яхши адаптация қилувчи адаптив нейро-ноқатъий ростлагични сошлаш алгоритми ишлаб чиқилди ва у объект параметрларини актив идентификациялашнинг махсус усулларини қўллашни талаб қилмайди.

Диссертациянинг «Аммонийлаштирилган эритмани карбонизациялаш технологик жараёнини бошқариш масалаларида ишлаб чиқилган нейрон тўри модели ва синтезлаш алгоритмларини қўллаш» номли тўртинчи бобида параметрик ноаниклик шароитида карбонизациялаш жараёнини бошқаришнинг ишлаб чиқилган алгоритм ва моделларини қўллаш натижалари келтирилган. Ундан ташқари ишлаб

чиқилган бошқариш системасининг самарадорлини таҳлил қилиш имконини берувчи автоматлаштирилган технологик мажмуани моделлаштириш масалалари кўриб чиқилган.

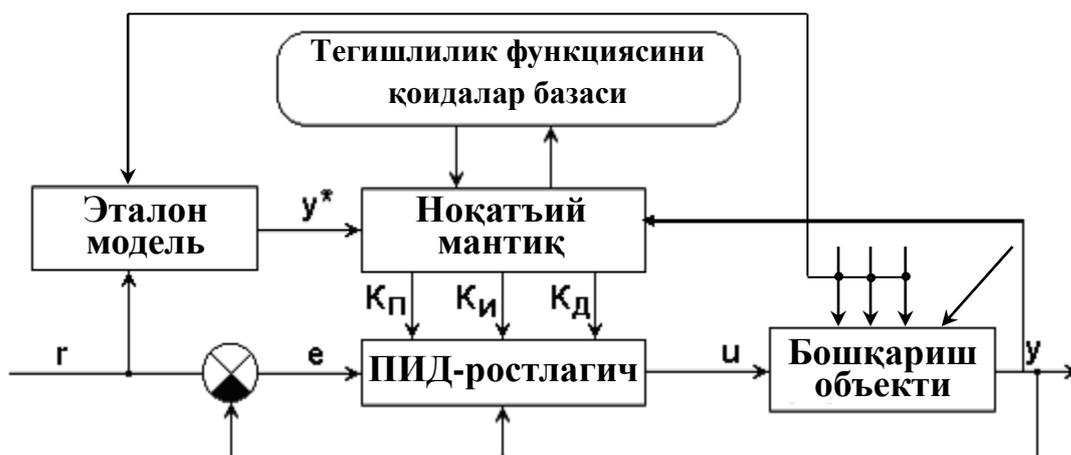
Карбонизациялаш колоннасини бошқариш системаси ва блоклари ўртасидаги ўзаро таъсирларини функционал ифодаловчи имитацион модел MatLAB муҳитида дастурий амалга оширилган.

Дастурий комплекс кўринишида амалга оширилган системанинг имитацион моделини қўллаш сифат кўрсаткичларини оператив назорат қилиш учун статистик таҳлил, технологик жараён ҳақида жорий ахборотларни йиғиш мақсадида, ҳамда динамик режимда ростлагичларни созлаш параметрларини аниқлаш учун кўп марта тажрибалар ўтказиш имконини беради.

Кўриб чиқилаётган объектда ташқи ёки параметрик ғалаён таъсирларининг мавжудлиги (масалан, буғ босимининг 15 % дан кўпга ўзгариши, реакция аралашмасидаги компонентлар концентрациясининг 10 % га ўзгариши) ўтиш жараёнининг сифат кўрсаткичларини анча ёмонлаштиради. Ушбу параметрларнинг ўзгариш диапазони кенг бўлган ҳолларда мазкур жиҳат бошқариш системасини нотурғун ҳолатга олиб келиши мумкин. Бу, ростлагичларининг параметрларини қийматлари қайд қилинган автоматик ростлаш системаларида ўтиш жараёнининг сифати ғалаёнлар ва карбонизациялаш колоннасининг технологик режимларига кўра ўзгариши билан изоҳланади. Шундан келиб чиққан ҳолда, диссертация ишида адаптив ноқатъий ПИД-ростлагичнинг параметрларини созлаш алгоритмлари ишлаб чиқилган.

Тадқиқ қилинаётган жараён ва бошқариш системасининг математик модели Matlab (Simulink Neural Network пакети) муҳитида дастурий амалга оширилган.

Технологик жараённи бошқаришнинг адаптив нейрон-тўрли системасини структуравий схемаси 10-расмда келтирилган.



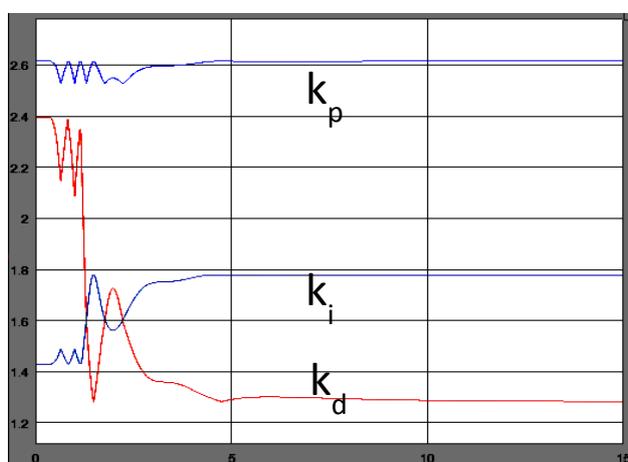
10-расм. Нейро-ноқатъий бошқариш системасининг структуравий схемаси

Имитацион моделларнинг монандлигини реал технологик объект –

карбонизациялаш колоннасида текширдик. Текшириш натижалари, имитацион модель лабораториядаги таҳлил натижалари билан қониқарли мувофиқликка эгаллигини кўрсатди.

Аммонийлашган тузли эритмани карбонизациялаш жараёнини бошқариш системасини жорий қилиниши, маҳсулотнинг сифат кўрсаткичлари ва имитацион моделлаштириш натижаларига кўра, углерод икки оксиди сарфи ўзгармас бўлганда таркибида натрий бор хом-ашёдан фойдланиш самарадорлигини 6-7 % га ошириш имконини берди.

11-расмда объект иш режимлари вақт бўйича ўзгарганида адаптив ноқатъий ПИД-ростлагичнинг солаш параметрларини ўзгариш графиклари кўрсатилган. 12-расмда классик ПИД-ростлагич параметрларини солаш ва таклиф этилган алгоритм бўйича ПИД-ростлагичнинг параметрларини динамик солашдаги ўтиш жараёнларининг графиклари келтирилган.



11-расм. Адаптив ноқатъий ПИД-ростлагич параметрларининг ўзгариши



12-расм. Классик ва адаптив ПИД-ростлагичли системаларнинг ўтиш жараёнларини солиштириш

Графиклардан кўришиб турибдики, ноқатъий ПИД-ростлагичдан фойдаланилганда, ўтиш жараёнининг сифат кўрсаткичлари яхшиланган (классик ростлагичдаги $t_p \approx 7$ с, $\sigma \approx 42$ % билан солиштирганда, $t_p \approx 4,5$ с, $\sigma \approx 20$ % олинган).

Ўтиш жараёнларининг солиштира таҳлили шуни кўрсатадики, ростлагичларнинг таклиф этилган ёндашув асосида олинган солаш параметрлари бошқариш жараёнининг юқори сифат кўрсаткичларини бермоқда, графиклардан криниб турибдики, карбонизациялаш жараёнини адаптив АБС чиқишида адаптив ўтиш жараёнининг сўниши кузатилди.

ХУЛОСА

Диссертацияда автоматик ва интеллектуал бошқариш назариясини тизимли таҳлил концепцияси асосида карбонизациялаш жараёнини нейро-ноқатъий моделлари ҳамда ноаниқлик шароитида ишловчи карбонизациялаш колоннасининг ҳарорат режимини бошқариш алгоритмлари ишлаб чиқилди.

Тадқиқот якунида қуйидаги илмий натижалар олинди:

1. Карбонизациялаш жараёнини бошқариш системаларини қуришнинг иссиқлик баланс тенгламалари асосида карбонизациялаш колонналари режимларини моделлари ва оптимизаторларига эга истиқболли варианты таклиф этилган.

2. Карбонизациялаш жараёнининг кимёвий кинетикага асосланувчи ва реакция аралашмасининг ноаниқликларини ҳисобга олувчи математик модели ишлаб чиқилган. Модель жараён самарадорлигининг сифат кўрсаткичлари чегараларини аниқлаш ҳамда карбонизациялаш колоннасининг оптимал режим параметрларини ҳисоблаш имконини беради.

3. Сифат кўрсаткичларининг нейрон-тўрли модели ишлаб чиқилган. Тўрнинг тури ва архитектураси асосланган, нейрон тармоғининг параметрларини адаптив созлаш алгоритми таклиф этилган. Ушбу модель карбонизациялаш жараёнини сифат кўрсаткичлари бўйича тезкор бошқариш имконини беради.

4. Карбонизациялаш жараёнининг кинетик моделлари асосида оптимал ҳарорат режимини қидириш масаласи шакллантирилган. Масалани ечиш Понтрягиннинг максимумлик принципи ёрдамида амалга оширилди.

5. Жараённинг сифат кўрсаткичларига энг кўп таъсир қилувчи асосий технологик параметрлари танланган ва асосланган. Иссиқлик режимининг карбонизациялаш колоннасига кирувчи ва чиқувчи оқимлар сарфига боғлиқлиги аниқланган. Кирувчи ва чиқиувчи оқимларнинг сарфларини уларнинг ҳароратларига функционал боғлиқликлари олинган. Карбонизациялаш колонналарининг узатиш каналларини автономлигини таъминлаш учун ёйиш алгоритмларидан фойдаланиб, кесишувчи алоқаларнинг динамик ва статик компенсаторларини узатиш функциялари олинган.

6. Адаптив нейро-ноқатъий ростлагични созлашнинг, объект параметрларини фаол идентификациялашнинг бошқариш сифатини ёмонлаштирувчи махсус усулларини талаб қилмайдиган, мавжуд алгоритмлардан фарқланувчи алгоритми ишлаб чиқилган.

7. Ишлаб чиқилган адаптив бошқариш алгоритмлари ва нейро-ноқатъий моделлар асосида кальцинацияланган сода олишдаги карбонизациялаш жараёнининг адаптив-нейро-ноқатъий бошқариш системаси таклиф этилган. Кўриб чиқилган жараённинг таклиф этилган бошқариш системаси карбонизациялаш жараёнининг ҳарорат режимларини барқарорлаш ва бошқариш системасининг ишлаш самарадорлигини ошириш имконини беради.

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

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

ИСКАНДАРОВ ЗОХИД ЭРГАШБАЕВИЧ

**АДАПТИВНО-НЕЧЕТКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЦЕССОМ КАРБОНИЗАЦИИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ
КАЛЬЦИНИРОВАННОЙ СОДЫ**

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

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

Ташкент – 2019

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за №B2019.1.PhD/T1002.

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.

Научный руководитель: **Сидиков Исамидин Хакимович**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Каипбергенов Ботирбек Тулепбергенович**
доктор технических наук, профессор

Сапаев Маматкарим
кандидат технических наук, доцент

Ведущая организация: **АО «Ўзкимёсаноатлойиҳа»**

Защита диссертации состоится «___» ____ 201__ г. в ____ часов на заседании Научного совета DSc.27.06.2017.T.03.02 при Ташкентском государственном техническом университете по адресу: 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 (регистрационный номер №82). Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: 246-03-41.

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2019 года.
(реестр протокола рассылки № __ от «___» _____ 2019 г.)

Н. Р. Юсупбеков
Председатель научного совета
по присуждению учёных степеней,
д.т.н., профессор, академик

У.Ф.Мамиров
Ученый 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,
д.т.н., профессор, академик

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире особое внимание уделяется совершенствованию существующих технологий, повышению эффективности производства и мощности технологических агрегатов в химической промышленности, в частности, при получении кальцинированной соды. В последнее время одной из наиболее актуальных задач в стремительно развивающихся этой и других отраслях является применение современных информационных технологий для управления реальными технологическими объектами, позволяющих улучшить качество процессов управления и увеличить выпуск высококачественной продукции с наименьшими энерго- и ресурсными затратами. В этом направлении определенные успехи достигнуты в ведущих странах мира, таких как США, Германия, Китай, Россия, Индия, Украина и др., уделяется пристальное внимание совершенствованию систем управления технологическими объектами, обеспечению конкурентоспособности продукции и эффективности производства.

В мире ведутся интенсивные исследования по совершенствованию технологий и созданию эффективных систем управления процесса, в частности, получения кальцинированной соды с учетом изменчивости параметров различных факторов, влияющих на ход технологических процессов. Задачам управления реальными динамическими объектами в условиях изменчивости параметров внешних условий и внутренних свойств посвящено большое количество научно-исследовательских работ, что указывает на высокую актуальность и востребованность такого рода исследований.

В настоящее время в республике уделяется большое внимание направлениям автоматизации и управления, в том числе созданию систем усовершенствованного управления, обеспечивающих энерго- и ресурсосбережения при автоматизации и управления различными технологическими процессами и производствами. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан в 2017-2021 годах отмечен ряд задач, в частности: «...дальнейшая модернизация и диверсификация промышленности путем перевода ее на качественно новый уровень, направленные на опережающие развитие высокотехнологичных обрабатывающих отраслей, прежде всего по производству готовой продукции с высокой добавленной стоимостью на базе глубокой переработки местных сырьевых ресурсов, ... сокращение энергоемкости и ресурсоемкости экономики, широкое внедрение в производство энергосберегающих технологий, расширение использования возобновляемых источников энергии, повышение производительности труда в отраслях экономики»². В этом аспекте разработка моделей и адаптивно-нечеткой системы управления процессом карбонизации при получении

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

кальцинированной соды с учетом неопределенности параметров объекта управления на базе современных технологических средств, способствующих повышению качественных показателей процессов управления является весьма актуальной и востребованной.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан № УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» 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-1730 от 21 марта 2012 года «О мерах по дальнейшему внедрению развитию современных информационно-коммуникационных технологий» и №ПП-3682 от 27 апреля 2018 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии приоритетного направления развития науки и технологий республики IV. «Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий».

Степень изученности проблемы. Анализ научно-технических публикаций, связанных с разработкой методов и алгоритмов управления технологическими процессами в условиях неопределенности свидетельствует о достижении значительных теоретических и практических результатов в этой области. По результатам мировых исследований большой вклад в развитии теории и практики разработки и создание систем адаптивного управления динамическими объектами с учетом различных факторов сложности внесли многие зарубежные ученые, таких как Abraham A., Aliev R.A., Allgöwer A., Griffin M.F., Hunt K.J., Irwin G., Kraszewski P., Li Ning, Li Shao Yuan, Piegat A., Stolcman S., Sugeno M., Tanaka K., Wang H.O., Warwick K., Xi Yu Geng, Zadeh L.A., Zheng A., Афанасенко А.Г., Алексеенко А.Г., Балакирев В.С., Мешалкин В.П., Гардиев Л.С., Василев Ф.И., а также отечественные ученые Абдуллаев Д.А., Абуталиев Ф.Б., Азимов Б.М, Арипов М.М., Бекмуратов Т.Ф., Гулямов Ш.М., Джуманов И.И., Игамбердиев Х.З., Исмаилов М.А., Камалов Н.З., Камиллов М.М., Марахимов А.Р., Сиддиқов И.Х, Фозилов Ш.Х., Юсупбеков Н.Р. и др.

Постоянное усложнение технологий получения кальцинированной соды и интенсификация химической промышленности требуют разработки высокоэффективных методов и алгоритмов управления технологическими процессами с применением достижений современных информационных технологий и технических средств в условиях неопределенности. В связи с этим возникает необходимость совершенствование существующих и создания адаптивно-нечеткой системы управления процессом карбонизации.

Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках следующих научно-исследовательских проектов Ташкентского государственного технического университета по темам: П20.22 - «Разработка методов и алгоритмов автоматизированного исследования, иерархических мультимикропроцессорных систем управления технологическими объектами», (2004-2006); А-14.002 - «Разработка инструментальных средств создания моделирующих, прогнозирующих и адаптивных систем на основе интеллектуализации процессов управления сложными динамическими объектами», (2006-2008); ИТД-5-36 - «Разработка информационно-аналитической интеллектуальной системы мониторинга технологической безопасности нефтехимических установок и комплексов» (2012-2014); А-5-42 - «Программно-инструментальные средства интеллектуализации автоматизированного мониторинга и управления технологическими объектами в условиях априорной неопределенности» (2015-2017); БА-А5-025 - «Разработка и внедрение системы адаптивного управления и автоматизированного мониторинга многоступенчатого процесса карбонизации» (2017-2018).

Целью исследования является разработка модели и алгоритмов оперативного управления процессом карбонизации аммонизированного рассола по показателям качества продуктов.

Задачи исследования:

системный анализ современного состояния теории и практики исследования систем управления процессом карбонизации в условиях неопределенности;

разработка математической модели на основе априорной информации процесса и отыскания оптимальных режимов процесса карбонизации;

разработка нейро-нечеткой модели процессов для оперативного определения показателя качества продукции;

выявление основных возмущающих факторов на основе уравнения теплового баланса карбонизационной колонны;

разработка модели и высокоэффективных алгоритмов поиска оптимальных режимов технологического процесса на базе нейро-нечеткой технологии;

разработка системы оптимального управления по показателям качества продукции, с компенсацией внешних возмущений и изменения свойства объекта;

Объектом исследования являются система управления процессом карбонизации при получении кальцинированной соды.

Предмет исследования составляют методы и алгоритмы синтеза адаптивно-нечеткой системы управления технологическим процессом карбонизации в условиях неопределенности.

Методы исследований. В диссертационной работе использованы теория автоматического и адаптивного управления, методы системного

анализа теории имитационного моделирования, теория нейронных сетей и нечеткой логики.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана кинетическая модель технологического процесса карбонизации на основе стехиометрических соотношений и обратимости химических реакциях, являющаяся основой поиска оптимального температурного режима карбонизационной колонны;

разработаны нейро-нечеткие модели и алгоритмы оптимизации технологических режимов процесса карбонизации по технико-экономическим критериям с учетом показателей качества продукции и основных возмущающих воздействий;

разработан алгоритм синтеза системы автоматического управления технологическим процессом карбонизации, реализующей оптимальное управление с компенсацией внешних возмущений и изменения свойства объекта;

разработаны эффективные в вычислительном отношении алгоритмы расчета оптимальных настроечных параметров нечеткого ПИД- регулятора в оперативном режиме и адаптивная нейро-нечеткая система управления карбонизационной колонной по показателям качества продукции в условиях неопределенности внешней среды и свойств объекта.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

предложен качественно новый подход к созданию системы управления процессом карбонизации и разработаны программные модули, предназначенные для оперативного определения оптимальных параметров показателей качества процесса карбонизации аммонизированного рассола на основе методов нейро-сетевого моделирования;

на основе экспериментальных данных в условиях нормального функционирования карбонизационной колонны разработаны нейро-сетевые модели процесса карбонизации при кальцинации соды, имеющие свойства адаптации;

разработана структурная и функциональная схема системы автоматизации и адаптивного управления технологическим процессом карбонизации, обеспечивающая квазиоптимальные технологические режимы;

разработан программный комплекс управления температурным режимом и давлением карбонизационной колонны в реальном масштабе времени.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования обеспечивается выполнением методически обоснованных теоретических выкладок; применением теоретически обоснованных концепций адаптивного управления динамическими объектами; использованием апробированных методов и алгоритмов современной теории автоматического управления; требуемой степенью сходимости предлагаемых

методов и алгоритмов адаптивного управления; результатами теоретических и прикладных исследований и их взаимной согласованностью.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается в разработке нейро-нечетких моделей и алгоритмов синтеза адаптивно-нечетких систем регулирования технологическими объектами, функционирующими в условиях неопределенности и размытости производственной ситуации, позволяющая эффективно решать задачи адаптивного управления динамическими объектами.

Практическая значимость результатов работы заключается в разработке математического и алгоритмического обеспечения задач синтеза систем адаптивно-нечеткого управления динамическими объектами в условиях неопределенности внешней среды и свойства объекта. Разработанные алгоритмы могут быть применены при проектировании адаптивных систем управления технологическими процессами с непрерывным характером производства.

Внедрение результатов исследования.

На основе полученных результатов адаптивно-нечеткая система управления процессом карбонизации при получении кальцинированной соды внедрены:

математические модели процесса карбонизации, позволяющие синтезировать систему управления по показателям качества продукции внедрены на ООО «Кунградский содовый завод» (Справка АО «УЗКИМЁСАНОАТ» №03-2230/К от 19 апреля 2019 года). В результате повысилось качество кристаллизации гидрокарбонат натрия, являющаяся основой кальцинированной соды;

нейро-нечеткие модели и алгоритмы оптимизации процесса карбонизации по технико-экономическим критериям с учетом показателей качества продукции и основных возмущающих воздействий внедрены на ООО «Кунградский содовый завод» (Справка АО «УЗКИМЁСАНОАТ» №03-2230/К от 19 апреля 2019 года). В результате обеспечена стабилизация температурных режимов процесса карбонизации аммонизированного рассола и повышения эффективности производства;

алгоритм определения неизмеряемых показателей качества процесса карбонизации по измеряемым и управляющим параметрам на основе использования нейро-нечетких технологий внедрены на ООО «Кунградский содовый завод» (Справка АО «УЗКИМЁСАНОАТ» №03-2230/К от 19 апреля 2019 года). В результате появилась возможность оперативно контролировать параметры качественных показателей процесса управления карбонизацией.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования были обсуждены на 3 международных и 5 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликованы 18 научных работ. Из них 7 журнальных статей, в том числе 2

в иностранных, 5 в республиканских журналах, получены 3 свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Структура диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 120 страниц.

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, приведены сведения о внедрении в практику результатов исследования, по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе **«Системный анализ современного состояния проблемы управления процессом карбонизации при получении кальцинированной соды»** произведен системный анализ задачи современного состояния и управления процессом карбонизации при получении кальцинированной соды. Определены цели и критерии качества процесса управления рассматриваемого объекта, осуществлен критический анализ существующих способов управления процессом карбонизации.

В настоящее время управление технологическими параметрами карбонизационной колонны осуществляется с помощью локальных систем автоматического управления, таких как управление расходом и температурой суспензии на выходе из карбонизационной колонны, поддержание расхода аммонизированного рассола, получаемого из карбонизационной колонны, которые не дают желаемого эффекта, так как не учитывают взаимовлияния технологических параметров и коррелированность входных и выходных переменных.

Процесс карбонизации характеризуется качественными показателями такими как: 1) степень утилизации натрия, функционально зависящей от концентрации исходных реагентов, обрабатываемых в колонне; 2) скорость перемещений и температурного режима; 3) полноты использованного углекислого газа, которые зависят от концентрации CO_2 , а также образования кристаллов различных по размеру и форме.

Следует отметить, что используемые математические модели процесса карбонизации аммонизированного рассола не объясняют многие качественные и количественные свойства физико-химических явлений, связанные с изменением концентрации химических реагентов в каждом сечении карбонизационной колонны.

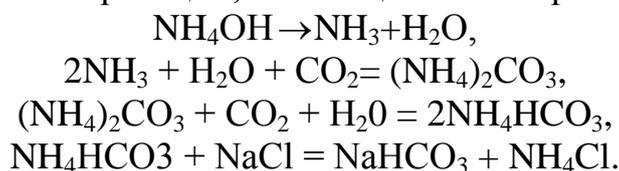
Для устранения дестабилизирующих факторов и оптимального управления технологическим процессом выбраны и обоснованы способы

построения математической модели процесса карбонизации на базе нейро-нечеткой технологии, учитывающие неопределенности структурного и параметрического характера, позволяющие оперативно определять показатели качества целевой продукции, а также для поддержания квазиоптимальных технологических режимов агрегатов.

Вторая глава диссертации «**Формализованное описание процесса карбонизации и оптимизация технологических режимов**» посвящена разработке кинетической модели процесса карбонизации с учетом обратимости химических реакций и стехиометрических соотношений, формализации критерия оптимизации процесса карбонизации аммонизированного рассола, разработке алгоритма определения оптимального температурного режима процесса по длине карбонизационной колонны, а также алгоритма построения нейро-сетевой модели показателя качества процесса карбонизации.

Для целей исследования качественных и количественных взаимосвязей концентраций реагентов суспензии, получаемых на выходе карбонизационной колонны в зависимости от входящих реагентов и экзотермических и эндотермических реакций процесса карбонизации, а также на основе уравнений материального и теплового баланса разработана математическая модель, представленная в виде системы дифференциальных уравнений, которые основаны на системном анализе физико-химических свойств процесса карбонизации.

Разработана кинетическая модель карбонизационной колонны с учетом особенности химических реакций, состоящей из четырех этапов:



При этом учитывается скорость протекания химических реакций каждого этапа:

$$\begin{aligned} \omega_1 &= k_1 C_{x1}; \\ \omega_2 &= k_2 C_{x2}^2 C_{x3} C_{x4} - k_3 C_{x5}; \\ \omega_3 &= k_4 C_{x5} C_{x4} C_{x3} - k_5 C_{x6}^2; \\ \omega_4 &= k_6 C_{x6} C_{x7} - k_7 C_{x8} C_{x9}; \end{aligned}$$

здесь C_{xi} - мольная концентрация компонентов; $k_1 - k_7$ - константы скоростей химической реакции соответствующего направления, определяемых уравнением Аррениуса:

$$k(T) = k_0 \cdot e^{-\frac{E_{ак}}{RT}};$$

здесь k_0 - предэкспоненциальный множитель; $E_{ак}$ - энергия активации стадии, кал/моль; T - абсолютная температура, К; R - универсальная газовая постоянная, кал/(моль*К).

Определены скорости изменения ключевых компонентов, которые непосредственно влияют на ход технологического процесса карбонизации на основе матрицы стехиометрических коэффициентов.

Учитывая, что процесс карбонизации происходит в карбонизационной колонне высотой 27 м и является нестационарным, уравнение покомпонентного баланса для динамической модели данного процесса с распределенными параметрами можно записать следующим образом:

$$\frac{1}{L} \frac{\partial(V^R x_i)}{\partial t} = -\frac{\partial(v \cdot x_i)}{\partial l} + \frac{V^R}{L} g_{xi}, \quad i = \overline{1,9}, \quad (1)$$

здесь L - высота карбонизационной колонны; V^R - объем карбонизационной колонны; v - объемный расход потока; g_{xi} - скорость изменения компонента

$$g_{xi} = \sum_{j=1}^m C_{ij} k_j$$

Изменения концентраций компонентов представляется в следующем виде:

$$\begin{aligned} \frac{dC_{x1}}{dl} &= \frac{V^R}{vL} (-k_1 C_{x1}), \\ \frac{dC_{x2}}{dl} &= \frac{V^R}{vL} (-k_1 C_{x1} - 2k_2 C_{x2}^2 C_{x3} C_{x4} - k_3 C_{x5}), \\ \frac{dC_{x3}}{dl} &= \frac{V^R}{vL} (k_1 C_{x1} - 2k_2 C_{x2}^2 C_{x3} C_{x4} - k_3 C_{x5} - k_4 C_{x5} C_{x4} C_{x3} + k_5 C_{x6}^2), \\ \frac{dC_{x7}}{dl} &= \frac{V^R}{vL} (-k_6 C_{x6} C_{x7} + k_7 C_{x8} C_{x9}). \end{aligned}$$

Реализация разработанной математической модели процесса в задачах управления технологическими параметрами объекта позволит: снизить потери гидрокарбоната натрия, повысить производительность целевого продукта – суспензии гидрокарбоната натрия, сократить количество остаточной влаги в гидрокарбонате натрия и образования мелких частиц гидрокарбоната натрия.

Анализ технологического процесса карбонизации как объекта управления показал, что на качество целевого продукта данного процесса существенное влияние оказывает температурный режим по длине карбонизационной колонны. В связи с этим возникает необходимость определения оптимального температурного режима, при котором критерий оптимальности представляет собой максимизацию выхода гидрокарбоната натрия. Из технологических соображений на температуру накладываются ограничения

$$28^{\circ}C \leq T \leq 65^{\circ}C.$$

Для решения задачи оптимизации процесса управления будем использовать метод принципа максимума Понтрягина, позволяющий найти решения оптимального управления в виде кусочно-непрерывной функции с ограничениями, накладываемые на управления, и обеспечить выполнения достаточности условия оптимальности.

Тогда задача оптимизации представляется в виде:

$$I = \int_0^{l_k} \varphi_0(x, T) dt,$$

где $\varphi_0(x, T) = -\frac{dx_8}{dl} = -\frac{S}{v} \frac{F_8 - x_8 F_n}{x_{10}}$.

Введя функцию Гамильтона

$$\begin{aligned} \tilde{H}(\lambda_0, x(l), \lambda(l), T) &= \lambda_0 \varphi_0(x(l), T) + \lambda_0 \varphi_8(x(l), T) + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq 8}}^{10} \lambda_k \varphi_k(x(l), T) = \\ &= \frac{S}{v} \left(\frac{F_8 - x_8 F_n}{x_{10}} + \lambda_8 \frac{F_8 - x_8 F_n}{x_{10}} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq 8}}^{10} \lambda_k \frac{F_k - x_k F_n}{x_{10}} \right), \end{aligned} \quad (2)$$

где функции $\lambda_i(l)$ - удовлетворяют системе сопряженных уравнений:

$$\frac{d\lambda_i}{dl} = -\frac{\partial H}{\partial x_i}, i = \overline{1, 10}. \quad (3)$$

Для интегрирования систем уравнений (1) и (3) в данном случае вместо 20 имеется 10 граничных условий, определяемых соотношениями с начальными условиями $x_i(0) = x_i^0, i = \overline{1, 9}; C(0) = C_0$. Недостающие граничные условия получаются заданием конечных значений для функций $\lambda_i(l)$, найденных с учетом условий трансверсальности по следующему правилу:

$$\lambda_i(l_k) + \lambda_0 \frac{\partial R}{\partial x_i} = 0, i = \overline{1, 10}.$$

С учетом выражения (2) представим в форме:

$$H(\lambda(l), x(l), T) = \sum_{k=1}^{10} \lambda_k \varphi_k = \frac{S}{v} \left(\sum_{k=1}^{10} \lambda_k \frac{F_k - x_k F_n}{x_{10}} + \lambda_k F_{10} \right).$$

Для нахождения оптимальных значений переменных необходимо решить систему уравнений (1), (3) с граничными условиями, результаты решения которых представлены на рисунках (рис. 1-4).

Для обеспечения высокой точности определения показателей качества процесса разработана математическая модель процесса в виде искусственных нейронных сетей, отличающиеся свойством адаптации.

В работе обоснованы выбор количества скрытых слоев нейронных сетей, с учетом адекватности технологического процесса. В качестве нейро-сетевой модели показатели качества процесса карбонизации предлагается применить ИНС с обратным распространением ошибки с сигмоидальными функциями активации скрытого и выходного слоя, с численностью нейронов в скрытом слое – 20 и количеством эпох обучения – 98.

Проверка адекватности нейро-сетевой модели показателей качества процесса карбонизации показала, что максимальная относительная погрешность моделирования качественного состава сырьевых потоков не превышает 2% по сравнению с лабораторными данными, средняя погрешность составляет 0,86%.

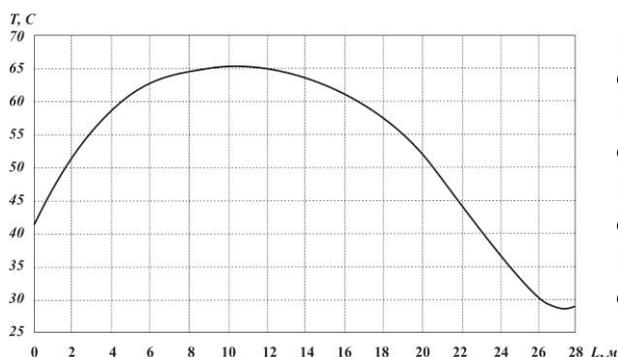


Рис.1. Оптимальная температурная кривая, °С

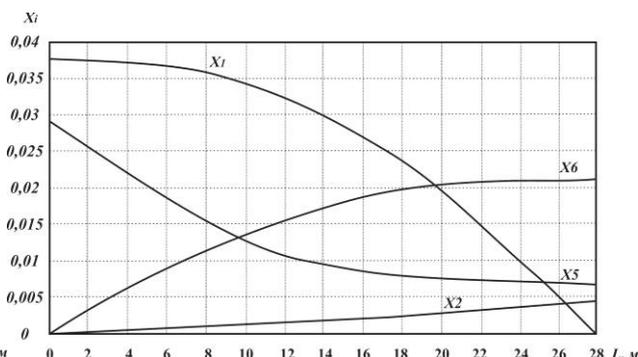


Рис.2. Концентрация аммония гидроксида (X1), аммиака (X2), аммония углекислого (X5), аммония двууглекислого (X6) при оптимальном температурном режиме

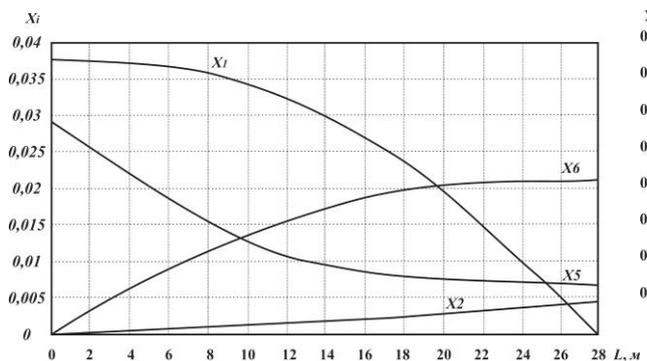


Рис.3. Концентрация двуокиси углерода (X4), хлорида натрия (X7), аммония хлористого (X9) при оптимальном температурном режиме

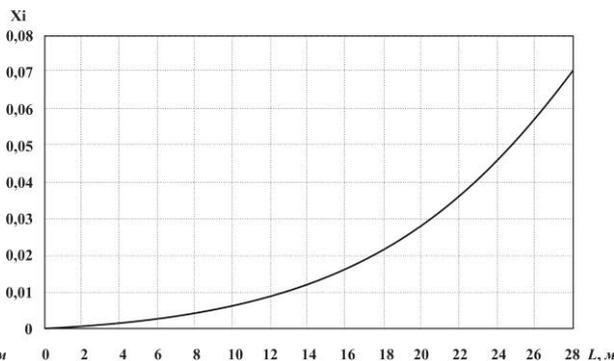


Рис.4. Концентрация целевого продукта – натрия двууглекислого (X8) при оптимальном температурном режиме

В третьей главе диссертации «Разработка алгоритмов синтеза адаптивно-нечеткой системы управления процессом карбонизации на основе показателей качества» произведен анализ тепловых балансов процесса карбонизации, выявлены возмущающие факторы, которые зависят от расходов входящих и выходящих потоков в карбонизационной колонне. При этом в качестве входных параметров взяты потоки аммонизированного рассола, газа первого и второго входа, а также воды охлаждения. Выходными переменными являются потоки гидрокарбонатной суспензии, газ на выходе колонны и воды из холодильной зоны колонны.

Исследования влияния температуры сырьевых потоков на их массовый расход осуществляется с учетом уравнения теплового баланса:

$$Q_{жс}^{кл} = V_{Кл}^{жс} \cdot c_{Кл} \cdot t_{Кл}$$

Для оценки влияния температуры поступающих и выходящих из колонны потоков на их массовый расход представлена в виде следующего соотношения:

$$\begin{cases} -7,46 \cdot (Q'_2 + Q''_2 - Q_2) = Q_{CO_2}, \\ Q_{жс}^{Кл} + Q'_2 + Q''_2 + Q_{хим.р.} + Q_{CO_2} = Q_c + Q_2 + Q_{NH_4OH} + Q_{потери} + Q_{охлажд}, \\ 0,45 \cdot (Q_{жс}^{Кл} + Q_{хим.р.}) = Q_{потери}, \\ Q_{хим.р.} + Q_{CO_2} = 0,79 \cdot Q_{охлажд}, \\ 2,87 \cdot Q_{NH_4OH} = Q_{хим.р.} \end{cases}$$

Результаты исследования показали, что от температуры суспензии зависит расход аммонизированного рассола, газа первого и второго входа, суспензии и охлаждающей воды. Т.е. температура суспензии, оказывает существенное влияние на все массовые расходы входящих и выходящих потоков представленных на рисунках 5-8:

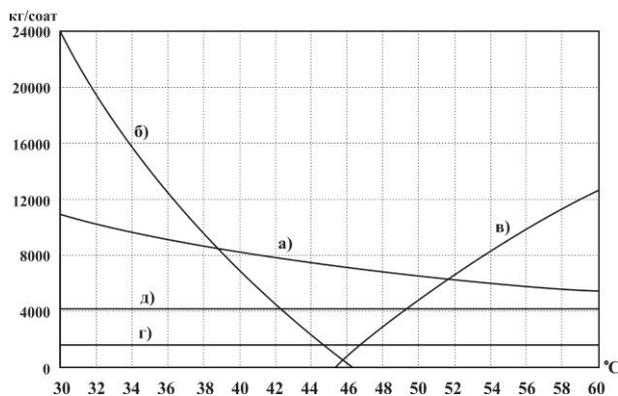


Рис.5. Зависимость расхода (а, б, в, г, д) от температуры аммонизированного рассола

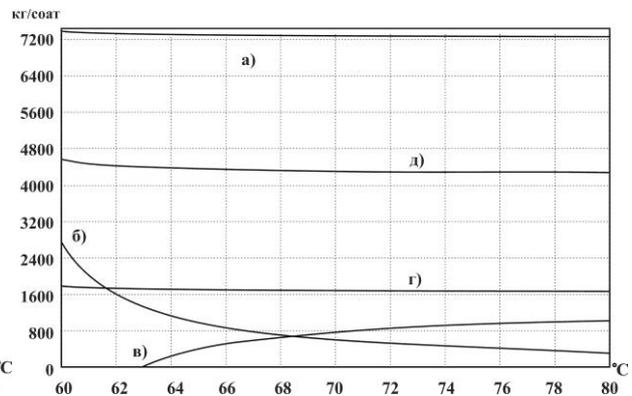


Рис.6. Зависимость расхода (а, б, в, г, д) от температуры газа первого входа

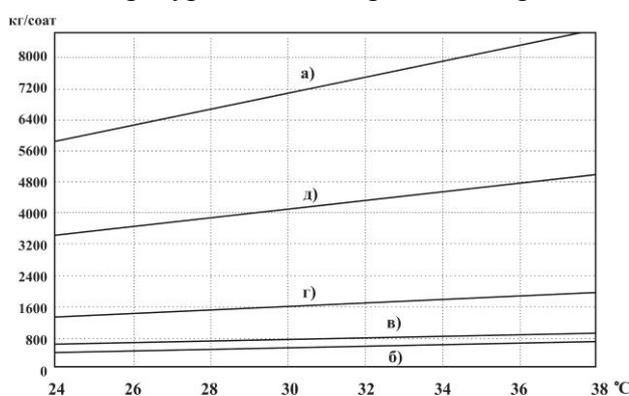


Рис.7. Зависимость расхода (а, б, в, г, д) от температуры суспензии

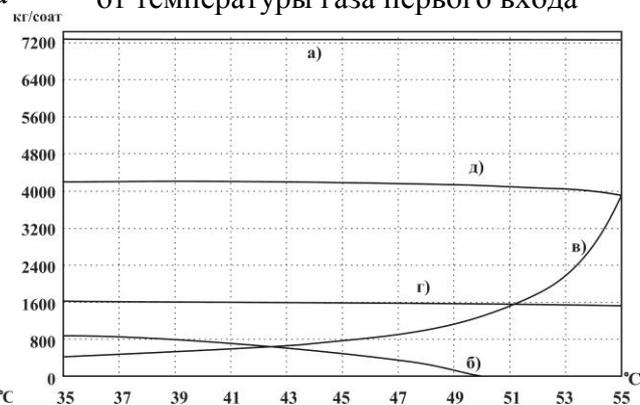


Рис.8. Зависимость расхода (а, б, в, г, д) от температуры выходящей воды

где: а) аммонизированный рассол, б) газ первого входа, в) газ второго входа, г) суспензия, д) охлаждающая вода.

Анализ процесса карбонизации как объекта управления показал, что его параметры обладают существенным взаимным влиянием и обуславливает представление структуры объекта как многомерной и многосвязанной системы (рис.9.).

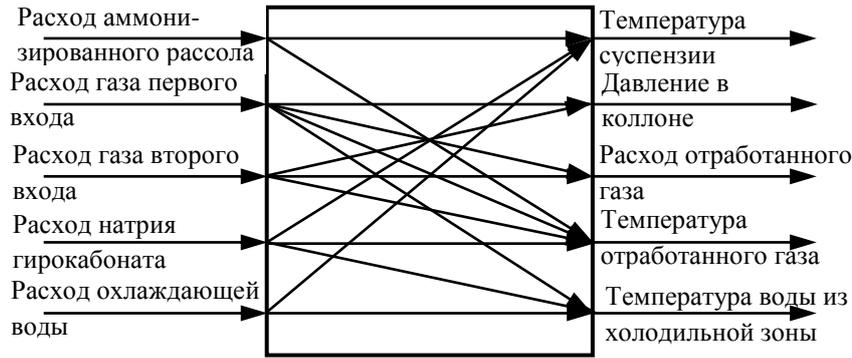


Рис.9. Информационная схема карбонизационной колонны как объекта управления

Это обстоятельство существенно усложняет решение задачи управления процессом карбонизации. В связи с этим возникает необходимость компенсации влияния перекрестных связей каналов передач в окрестности оптимальных режимов

$$W_0(s) = \begin{pmatrix} \frac{0.88}{37s+1} \cdot e^{-0.2 \cdot s} & 0 & 0 & \frac{0.12}{64s+1} \cdot e^{-8 \cdot s} & 0 \\ 0 & \frac{0.69}{45s+1} \cdot e^{-0.7 \cdot s} & 0 & \frac{1.35}{31s+1} \cdot e^{-3.9 \cdot s} & \frac{1.24}{41s+1} \cdot e^{-17 \cdot s} \\ 0 & 0 & \frac{0.71}{41s+1} \cdot e^{-0.9 \cdot s} & \frac{1.29}{26s+1} \cdot e^{-4.2 \cdot s} & \frac{1.15}{48s+1} \cdot e^{-5.1 \cdot s} \\ \frac{-0.23}{42s+1} \cdot e^{-13 \cdot s} & 0 & 0 & \frac{0.66}{214s+1} \cdot e^{-67 \cdot s} & \frac{-0.17}{21s+1} \cdot e^{-16 \cdot s} \\ \frac{1.81}{44s+1} \cdot e^{-7.2 \cdot s} & 0 & 0 & \frac{-0.11}{37s+1} \cdot e^{-0.5 \cdot s} & \frac{2.67}{153s+1} \cdot e^{-61 \cdot s} \end{pmatrix}.$$

Для обеспечения автономности каналов передач объекта управления его динамика представляется в виде уравнения состояния.

$$\begin{aligned} \bar{x}(t) &= \bar{A} \cdot \bar{x}(t) + \bar{B} \cdot \nu(t) \\ y(t) &= \bar{C} \cdot \bar{x}(t) \end{aligned}; \bar{A} = \begin{bmatrix} A & BC_c \\ 0 & A_c \end{bmatrix}_{(n+n_c) \times (n+n_c)}; \bar{B} = \begin{bmatrix} BD_c \\ B_c \end{bmatrix}_{(n+n_c) \times m}; \bar{x} = \begin{bmatrix} x \\ x_c \end{bmatrix}_{(n+n_c) \times 1}.$$

Искомые значения коэффициентов матрицы B_c рассчитывались на основе алгоритма, обеспечивающего физическую реализуемость компенсаторов и устойчивости системы управления.

$$d_i = \begin{cases} \min k : \bar{C}_i \cdot \bar{A}^k \cdot \bar{B} \neq 0, & k \in (0, 1 \dots n+n_c), i \in \overline{1, m} \\ n+n_c - 1, & \text{если } \bar{C}_i \cdot \bar{A}^k \cdot \bar{B} = 0 \quad \forall k, \bar{C} = [C \quad 0]_{m \times (n+n_c)}. \end{cases}$$

$$\bar{B}_i^* = \bar{C}_i \bar{A}^{\bar{d}_i} \bar{B} = [C_i \quad 0] \begin{bmatrix} A & BC_c \\ 0 & A_c \end{bmatrix}^{\bar{d}_i} \begin{bmatrix} BD_c \\ B_c \end{bmatrix} = [C_i A^{\bar{d}_i} B : \dots : C_i A^{\bar{d}_i-1} B : \dots : C_i A^{\bar{d}_i} B] \cdot \begin{bmatrix} D_c \\ C_c B_c \\ \vdots \\ C_c A^{\bar{d}_i-1} B_c \end{bmatrix}, i \in \overline{1, m};$$

$$P_i = \begin{cases} 1, & i \in (1, \dots, m-r) \\ 1+j, & i \in (m-r+1, \dots, m), j=1, 2, \dots, r, (0 < r < m) \end{cases}, \quad \sum_{i=1}^m P_i = m + \sum_{j=1}^r j, (0 < r < m),$$

$$B_c = \bar{B}^* - \begin{bmatrix} C_1 A^{d_1+1} B \\ \vdots \\ C_{m-r} A^{d_{m+r+1}} \\ \vdots \\ C_{m-r+1} A^{d_{m+r+2}} B \\ \vdots \\ C_m A^{d_{m+r+1}} B \end{bmatrix} D_c; \bar{B}^* = \begin{bmatrix} C_1 A^{d_1} B & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ C_{m-r} A^{d_{m-r}} B & 0 & \dots & 0 \\ C_{m-r} A^{d_{m-r+1}} B & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ C_m A^{d_m+r} B & \dots & \dots & C_m A^{d_m} B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_c \\ C_c A^c \\ \vdots \\ \vdots \\ C_c A^{P_{max}} \end{bmatrix}.$$

Приведенные вычислительные процедуры позволяют определить передаточную функцию динамических и статических компенсаторов перекрестных связей, которые легко реализуются на современных микропроцессорных контроллерах.

С учетом специфических особенностей решение задачи определение оптимальных параметров показателей качества и управление процессом карбонизации аммонизированного рассола предложена структурная и функциональная схемы системы управления карбонизационной колонны.

В работе также рассмотрены вопросы определения оптимальных настроечных параметров нечеткого ПИД-регулятора с учетом изменения свойства объекта и изменение внешней среды. Для придания свойства адаптации настройки регуляторов предложено применение нейро-нечеткой сети, которая в оперативном режиме позволяет определять параметры адаптивного нейро-нечеткого ПИД- регулятора.

Разработан алгоритм настройки адаптивного нейро-нечеткого регулятора, позволяющий улучшить процесс адаптации САУ, так как он не требует специальных методов активной идентификации параметров объекта.

В четвертой главе диссертации «**Применение разработанных нейро-сетевых моделей и алгоритмов синтеза в задачах управления технологическим процессом карбонизации кальцинированной соды**» приводятся результаты применения разработанных моделей и алгоритмов управления процессом карбонизации в условиях параметрических и модельных неопределенностей, а также система имитационного моделирования автоматизированного технологического комплекса, позволяющая анализировать эффективность разработанной адаптивно-нечеткой системы управления процессом карбонизации.

Имитационная модель, описывающая функционирование систем управления карбонизационной колонны и правил взаимодействия между блоками системы программно реализована в среде Matlab. Применение имитационной модели, реализованной в виде программного комплекса, позволяет проводить многократные эксперименты с целью сбора текущей информации о технологическом процессе, статистического анализа для

оперативного контроля показателей качества, а также для определения настроечных параметров регуляторов в динамическом режиме.

Наличие на рассматриваемом объекте внешних или параметрических возмущающих воздействий (например, изменение давления пара более чем на 15%, изменение концентрации компонентов реакционной смеси на 10%), существенно ухудшают качественные показатели переходного процесса. В случае широкого диапазона изменения этих параметров данный аспект может привести систему управления к неустойчивому состоянию. Это объясняется тем, что в системах автоматического регулирования с фиксированными значениями параметров регулятора качество переходного процесса изменяется в зависимости и технологических режимов карбонизационной колонны. Для определения этой трудности разработаны алгоритмы определения оптимальных настроечных параметров адаптивного нечеткого ПИД-регулятора в динамическом режиме.

Математическая модель исследуемого процесса и системы управления программно реализована в среде Matlab (пакеты Simulink Neural Network).

Структурная схема адаптивной нейро-сетевой системы управления технологическим процессом представлена на рис.10.

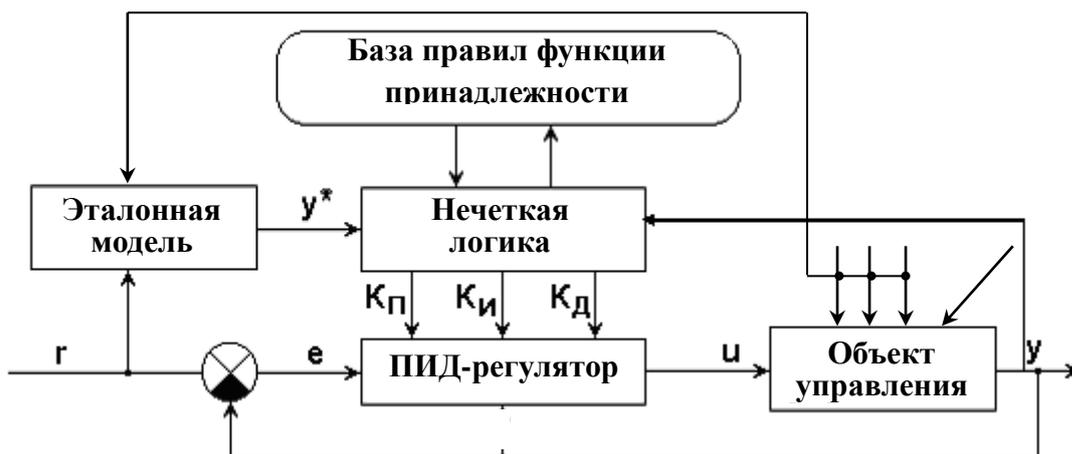


Рис. 10. Структурная схема нейро-нечёткой системы управления.

Проверка адекватности разработанной имитационной модели процесс осуществляется с сравнение данных полученные реальном технологическом объекте – карбонизационной колонне. Проверка показала, что имитационная модель обладает удовлетворительной сходимостью результатов с лабораторными анализами.

Внедрение разработанной системы управления процессом карбонизации аммонизированного рассола по показателям качества продуктов, на ООО «Кунградский содовый завод», позволило повысить эффективность использования натрийсодержащего сырья на величину порядка 6-7% при неизменном потреблении двуокиси углерода.

На рис.11. показаны графики изменение настроечных параметров адаптивного нечеткого ПИД-регулятора, изменяющиеся во времени с учетом

изменения режима работы объекта.

На рис.12. показаны графики переходных процессов при стандартном способе определения настройки параметров классического ПИД-регулятора, и динамической настройке параметров ПИД-регулятора, определенных по предложенному алгоритму.

Из графика видно, что при использовании адаптивного нечеткого ПИД-регулятора качественные показатели переходного процесса улучшилось ($t_p \approx 4,5$ с, $\sigma \approx 20$ % по сравнению с классическими $t_p \approx 7$ с, $\sigma \approx 42$ %).

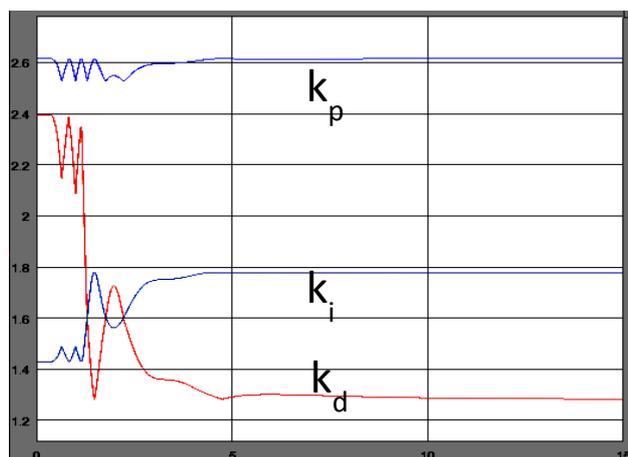


Рис. 11. Изменение параметров адаптивного нечеткого ПИД-регулятора.

Рис. 12. Переходные процессы сравнения системы с классическим и адаптивным ПИД регуляторами.

Сравнительный анализ переходных процессов показал, что определенные настроечные параметры регулятора на основе предложенного подхода дают более высокие показатели качества процесса управления. Из графиков видно, что на выходе адаптивной САУ процессом карбонизации наблюдался затухающий адаптивный переходный процесс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основе концепции системного анализа теории автоматического и интеллектуального управления разработаны нейро-нечеткие модели процесса карбонизации и алгоритмы управления температурным режимом карбонизационной колонны, функционирующей в условиях неопределенности. В итоге получены следующие научные результаты:

1. Произведен системный анализ физико-химических свойств процесса карбонизации аммонизированного рассола и методы управления карбонизационной колонной. Это позволяет выбрать перспективный вариант построение системы управления с эталонной моделью для вычисления показателей качества целевого продукта и оптимизатором режимов на основе модели теплового баланса.

2. Разработана математическая модель процесса карбонизации,

базирующаяся на химической кинетике с учетом неопределенности реакционной смеси. Модель позволяет определить предельные показатели качества эффективности процесса и рассчитать оптимальные режимные параметры карбонизационной колонны.

3. Разработана нейро-сетевая модель показателей качества. Обоснованы тип и архитектура сети, предложен алгоритм адаптивной настройки параметров нейронной сети. Данная модель позволяет оперативно управлять процессом карбонизации по показателям качества целевого продукта.

4. Разработана вычислительная нейро-нечеткая модель и алгоритм определения неизмеряемых показателей качества процесса карбонизации по измеряемым и управляющим параметрам на основе использования нейро-нечетких технологий. Предложенная модель и алгоритм позволяют проанализировать поведения объекта управления в оперативном режиме, корректировать его параметры с учетом изменения свойства объекта, а также определять оптимальный температурный режим по длине карбонизационной колонны.

5. Разработана вычислительная модель оценки влияние температуры поступающих и выходящих потоков реагентов на их массовый расход. Модель позволяет определить оптимальные соотношения расходов реагентов в зависимости от изменения температурного режима карбонизационной колонны.

6. Разработан алгоритм оперативной настройки адаптивного нейро-нечеткого ПИД-регулятора, отличающийся от существующих, не требующий специальных методов активной идентификации параметров объекта, ухудшающих качество управления. Алгоритм позволяет повысить точность вычисления оптимальных настроечных параметров адаптивного нечеткого ПИД-регулятора в динамическом режиме в условиях неопределенности внешней среды и изменения свойств объекта.

7. На основе разработанных нейро-нечетких моделей и алгоритмов исследование системы управления динамическим объектам предложена адаптивно-нейро-нечеткая система управления процессом карбонизации при получении кальцинированной соды. Предложенная система управления рассматриваемым процессом позволяет стабилизировать температурные режимы процесса карбонизации и повысить эффективность функционирования системы управления карбонизационной колонны в условиях параметрических неопределенностей.

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

TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY

ISKANDAROV ZOKHID ERGASHBAEVICH

ADAPTIVE-FUZZY CONTROL SYSTEM OF THE CARBONIZATION
PROCESS IN THE PRODUCTION OF SODA ASH

05.01.08 – Automation and control of technological processes and manufactures

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

Tashkent – 2019

The theme of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan in number B2019.1.PhD/T1002.

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:

Siddikov Isamiddin Xakimovich
doctor of technical sciences, professor

Official opponents:

Kaipbergenov Botirbek Tulepbergenovich
doctor of technical sciences, professor

Sapaev Mamtkarim
candidate of technical sciences, associate professor

Leading organization:

JSC «Uzkimyosanoatloyiha»

Defense of dissertation will take place in «__» ____ 2019 at ____ o'clock at a meeting of the scientific council DSc.27.06.2017.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 82). Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (+99871) 246-03-41.

Abstract of dissertation sent out on «__» _____ 2019 year.
(mailing report № ____, on «__» _____ 2019 year).

N.R.Yusupbekov
Chairman of Scientific council,
awarding scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor, academician

U.F.Mamirov
Scientific secretary of Scientific council,
awarding scientific degrees,
doctor of philosophy (PhD) on technical sciences

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 is to develop a model and algorithms for the operational control of the carbonization process of ammoniated brine in terms of product quality.

The object of the research work is the control system of the carbonization process in the preparation of soda ash.

Scientific novelty of the research work is as follows:

kinetic model of the carbonization process based on stoichiometric ratios and reversibility coefficients of the proceeding chemical reaction have been developed, which allow synthesizing a control system based on product quality indicators;

neuro-fuzzy models and algorithms for optimizing the carbonization process according to technical and economic criteria, taking into account product quality indicators and main disturbing influences, have been developed;

a method for determining the connection coefficient between neurons of a network that implements the dependence of the network inputs (raw material parameters: temperature, flow, pressure, etc.) and output data (carbonization quality indicators) is proposed;

an algorithm has been developed for determining the unmeasurable indicators of the quality of the carbonization process using measured and control parameters based on the use of neuro-fuzzy technologies.

Implementation of the research results. On the basis of the obtained results, the adaptive-fuzzy system for controlling the carbonization process in the production of soda ash has been introduced:

mathematical models of the carbonization process, allowing to synthesize the control system for product quality indicators are implemented at “Kungrad Soda Plant” LLC (Reference JSC “UZKIMYOSANOAT” № 03-2230/K, april 19, 2019). As a result, the quality of crystallization of sodium bicarbonate, which is the basis of soda ash, has improved

neuro-fuzzy models and algorithms for optimizing the carbonization process according to technical and economic criteria, taking into account product quality indicators and main disturbing influences, were introduced at “Kungrad Soda Plant” LLC (Reference JSC “UZKIMYOSANOAT” № 03-2230/K, april 19, 2019). As a result, stabilization of the carbonization process of ammoniated brine and increase in production efficiency was ensured.

the algorithm for determining the non-measurable quality indicators of the carbonization process using measurable and controlling parameters based on the use of neuro-fuzzy technologies was introduced at “Kungrad Soda Plant” LLC (Reference JSC “UZKIMYOSANOAT” № 03-2230/K, april 19, 2019). As a result, it became possible to quickly control the parameters of the quality indicators of the carbonization control process.

The structure and volume of the dissertation. The thesis consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of used literature and applications. The volume of the thesis is 119 pages of typewritten text.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (Часть I; Part I)

1. Сиддиков И.Х., Халматов Д.А., Искандаров З.Э. Синтез регулятора микропроцессорной системы управления дискретным объектом в среде Matlab // Проблемы текстиля. – Тошкент, 2005, – №1. – С.83-85. (05.00.00; №17)

2. Сиддиков И.Х., Халматов Д.А., Искандаров З.Э. Синтез алгоритма управления многомерной цифровой системы управления // Химическая технология. Контроль и управление. – Ташкент, 2010, – №1. – С.78-81. (05.00.00; №12)

3. Сиддиков И.Х., Искандаров З.Э. Моделирование и анализ качества нечеткой системы управления электроприводом // Химическая технология. Контроль и управление. Ташкент, – №3. – 2014, – С.39-42. (05.00.00; №12)

4. Siddikov I.X., Iskandarov Z.E. Synthesis of neuro fuzzy PID-regulator for controlling the pressure pipelines // International scientific and technical journal «Chemical technology control and management» and Journal of Korea Multimedia Society, Special Issue, South Korea, Seoul – Uzbekistan, Tashkent, 2015, №3-4.- PP. 127-130. (05.00.00; №12)

5. Сиддиков И.Х., Искандаров З.Э. Исследование нечётко-логической системы регулирования процессом карбонизации // Химическая технология. Контроль и управление. Ташкент, – 2017, – №5. – С.55-62. (05.00.00; №12)

6. Siddikov I.X., Iskandarov Z.E Synthesis of adaptive-fuzzy control system of dynamic objects in conditions of uncertainty of information // International journal of advanced research in science, Engineering and technology. India 2018, Volume 5, Issue 1, January 2018. (05.00.00; №8)

7. Сиддиков И.Х., Искандаров З.Э., Ядгарова Д.Б. Системный подход к математическому моделированию процесса карбонизации // Химическая технология. Контроль и управление. – Ташкент, 2018. – №1-2. – С.112-118. (05.00.00; №12)

II бўлим (Часть II; Part II)

8. Сиддиков И.Х., Аюбджанова В.У., Халматов Д.А., Искандаров З.Э. Структурный анализ многоуровневой системы управления графовыми моделями // Агенство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство №DGU 00822, 15.07.2004.

9. Сиддиков И.Х., Халматов Д.А., Искандаров З.Э., Мусаханов А., Реал вақтда технологик объектни компьютер билан боғловчи интеллектуал интерфейс // Агенство по интеллектуальной собственности РУз. №DGU 01278, 15.05. 2007.

10. Сиддиков И.Х., Искандаров З.Э., Ядгарова Д.Б., Измайлова Р.Н.,

Мамасодикова Н.Ю. Микроконтроллерное управление температурным режимом динамических объектов // Агентство по интеллектуальной собственности РУз. №DGU 2018 0670, 05.09. 2018.

11. Siddikov I.X., Iskandarov Z.E. The decision of control problem of electromechanical objects of elastic properties on the basis of the theory of interactive adaptation // Sixth World Conference on Intelligent Systems for Industrial automation WCIS-2010, Tashkent, 2010.-pp.159-162.

12. Siddikov I.X., Iskandarov Z.E. Neuro-fuzzy automatic control system process of the stretchings of the tape // Seventh World Conference on Intelligent Systems for Industrial automation WCIS-2012, Tashkent, 2012.-pp.303-306.

13. Сиддиков И.Х., Искандаров З.Э. Синтез алгоритмов управления электромеханическими системами технологических агрегатов // Ишлаб чиқариш ва олий таълимда инновацион технологлар: Республика илмий-амалий конференцияси, Андижон, 2013. 2-қисм, 280-283 бетлар.

14. Халматов Д.А., Искандаров З.Э., Хужаназаров У.О. Нечеткое регулирование одномассовой системой с переменным моментом инерции //Фан, таълим ва ишлаб чиқариш интеграциясида ахборот-коммуникация технологияларини қўллашнинг ҳозирги замон масалалари: Республика илмий-техник анжумани, Нукус. 2015. 3-қисм. 426-429 бетлар.

15. Сиддиков И.Х., Искандаров З.Э. Исследование применения нечетких регуляторов в задачах управления технологическими процессами// Техника ва технологияларни модернизациялаш шароитида иқтидорли ёшларнинг инновацион ғоялари ва ишланмалари: Республика илмий-амалий анжумани, Ташкент, 2016. II-қисм. 45-48 бетлар.

16. Сиддиков И.Х., Искандаров З.Э. Имитационное моделирование системы управления химическим реактором // Достижения, проблемы и современные тенденции развития горно-металлургического комплекса: IX международная научно-практическая конференция. Навои, 2017. С.483.

17. Сиддиков И.Х., Искандаров З.Э. Синтез системы автоматического регулирования технологическими параметрами химического реактора // Нефть ва газ конларини ишга тушириш ва улардан фойдаланишда замонавий технологиялар: Республика илмий-амалий анжумани, Карши, 2017. 158-159 бетлар.

18. Сиддиков И.Х., Искандаров З.Э. Система автоматического управления процессом карбонизации кальцинированной соды // Замонавий ишлаб чиқариш шароитида техника ва технологияларни такомиллаштириш ва уларнинг иқтисодий самарадорлигини ошириш: Республика илмий-амалий анжумани, Наманган, 2017. I-қисм. 236-239 бетлар.

Авореферат «ТошДТУ хабарлари» илмий журнали тахририятида тахрирдан ўтказилди
хамда ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларини мослиги текширилди.

Бичими 84x60¹/₁₆. Ризограф босма усули. Times гарнитураси.
Шартли босма табағи: 3. Адади 100. Буюртма № ____.

«Тошкент кимё-технология институти» босмахонасида чоп этилди.
100011, Тошкент, Навоий кўчаси, 32-уй.