

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

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**ЯДГАРОВА ДИЛНОЗА БАХТИЯРОВА**

**КАЛЬЦИЙЛИ СОДА ОЛИШДА АБСОРБЦИЯЛАШ ТЕХНОЛОГИК  
ЖАРАЁНИНИ АДАПТИВ-НОҚАТБЎЙ РОСТЛАШ ТИЗИМИ**

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

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

**Тошкент– 2020**

**Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати мундарижаси**  
**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)**  
**Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)**

**Ядгарова Дилноза Бахтияровна**

Кальцийли сода олишда абсорбциялаш технологик жараёнини адаптив-  
нокатый ростлаш тизими.....3

**Ядгарова Дилноза Бахтияровна**

Адаптивно-нечеткая система регулирования технологическим процессом  
абсорбции при получении кальцинированной соды.....21

**Yadgarova Dilnoza Baxtiyarovna**

Adaptive-fuzzy system for regulating the technological absorption process in  
producing salcinated soda.....39

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

**Список опубликованных работ**

**List of published works .....42**

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

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**ЯДГАРОВА ДИЛНОЗА БАХТИЯРОВНА**

**КАЛЬЦИЙЛИ СОДА ОЛИШДА АБСОРБЦИЯЛАШ ТЕХНОЛОГИК  
ЖАРАЁНИНИ АДАПТИВ-НОҚАТБЎЙ РОСТЛАШ ТИЗИМИ**

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

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

**Тошкент– 2020**

**Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2018.2.PhD/Т746 рақам билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

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

<b>Илмий раҳбар:</b>	<b>Сиддиков Исомиддин Хакимович</b> техника фанлари доктори, профессор
<b>Расмий оппонентлар:</b>	<b>Юсупбеков Азизбек Нодирбекович</b> техника фанлари доктори, профессор <b>Сапаев Маматкарим</b> техника фанлари номзоди, доцент
<b>Етакчи ташкилот:</b>	<b>Тошкент кимё-технология институти</b>

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.03/30.12.2019.Т.03.02 рақамли Илмий кенгашнинг 2020 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](mailto:tstu_info@tdtu.uz)).

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

Диссертация автореферати 2020 йил «\_\_» \_\_\_\_\_ куни тарқатилди.  
(2020 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 ҳозирги кунда кимё саноати соҳасида, энергия ва ресурс тежамкорлигини ошириш масалаларига алоҳида аҳамият берилмоқда. Технологик жараёнларни автоматлаштириш соҳасидаги энг муҳим вазифалардан бири, интеллектуал технологиялар ютуқларидан фойдаланган ҳолда бошқариш жараёнининг сифатини яхшилаш, энергия ва ресурс харажатларини мумкин қадар кам сарфлаб, юқори сифатли маҳсулот чиқаришни ошириш имконини берувчи юқори самарали бошқарув тизимларини яратишдир. Бу борада, ривожланган чет эл мамлакатлари, жумладан, АҚШ, Германия, Хитой, Россия, Украина ва бошқа давлатларида маълум ютуқларга эришилган бўлиб, уларда ишлаб чиқариш самарадорлигини ошириш ва маҳсулотларнинг рақобатдошлигини таъминловчи технологик жараёнларнинг бошқариш усулларини такомиллаштиришга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳон технологик жараёнларни бошқариш тизимини такомиллаштиришга қаратилган изланишлар, хусусан, кимё саноатида интеллектуал технология усулларини қўллаган ҳолда кальцинацияланган содани ишлаб чиқариш бўйича илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Шу билан бирга, абсорбциялаш жараёнини ноқатъий технология асосида адаптив бошқариш тизимларини яратишга алоҳида аҳамият қаратилмоқда.

Ҳозирги кунда республикамызда 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, иқтисодиёт тармоқларида меҳнат унумдорлигини ошириш, ... иқтисодиётда, ижтимоий соҳаларда, бошқарув тизимларида ахборот-коммуникация технологияларини жорий этиш»<sup>1</sup> вазифалари белгилаб берилган. Шу нуқтаи назардан, бошқариш жараёнининг сифат кўрсаткичларини ошириш имконини берадиган замонавий технологик воситалар асосида бошқариш объекти параметрларининг ноаниқликларини ҳисобга олган ҳолда кальцинацияланган сода олишдаги абсорбциялаш жараёнининг моделлари ва адаптив-ноқатъий бошқариш тизимини ишлаб чиқиш ниҳоятда долзарб ҳисобланади.

---

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

Ўзбекистон Республикасини ривожлантириш бўйича Харакатлар стратегиясига мувофиқ 2017 йил кимё саноати соҳасида қатор ўзгаришлар амалга оширилди. Жумладан, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 12 апрелдаги ПҚ-2884 сонли ««Ўзкимёсаноат» АЖ бошқаруви тизимини такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Фармони, 2019 йил 3 апрелдаги ПҚ-4265 сонли «Кимё саноатини янада ислоҳ қилиш ва унинг инвестициявий жозибадорлигини ошириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги, 2018 йил 27 апрелдаги ПҚ-3682-сонли «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 вазибаларни 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 шароитида технологик жараёнларни бошқариш усул ва алгоритмларини ишлаб чиқиш билан боғлиқ илмий-техникавий наشرларнинг 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 кўплаб 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.Piepat, 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 ҳамда, шунингдек, мамлакатимиз олимларидан М.М.Арипов, Т.Ф.Бекмуратов, Ш.М.Гулямов, И.И.Джуманов, Х.З.Игамбердиев, М.А.Исмаилов, Н.Р.Юсупбеков, М.М.Камилов, А.Р.Марахимов, И.Х.Сиддиқов, Ш.Х.Фозилов ва бошқалар ўзларининг улкан ҳиссаларини қўшишган.

Нейро- ноқатъий технологияни кўллаш орқали интеллектуал бошқариш тизимларини яратиш массаларига боғишланган ишлар мамлакатимиз олимларидан М.М.Арипов, Т.Ф.Бекмуратов, Ш.М.Гулямов, И.И.Джуманов, Х.З.Игамбердиев, М.А.Исмаилов, Н.Р.Юсупбеков, М.М.Камилов, А.Р.Марахимов, И.Х.Сиддиқов, Ш.Х.Фозилов ва бошқаларнинг ишларида тадқиқотларида динамик объектларнинг хоссалари ноаниқлиги ҳамда технологик жараёнларни бошқаришда маълумотларнинг ноаниқлиги ва қатъиймаслигини бевосита ҳисобга олиш зарурлиги муаммолари кўрилган.

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 ноаниқлик шароитида абсорбциялаш жараёнини адаптив-ноқатъий бошқариш тизимини 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 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** интеллектуал бошқариш усуллари қўллаган ҳолда кальцинацияланган сода олишда абсорбциялаш жараёнининг адаптив-ноқатъий ростлаш тизимини ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

кальцинацияланган сода олишда абсорбциялаш жараёнини тадқиқот объекти сифатида тизимли таҳлил қилиш;

абсорбциялаш жараёнининг математик моделини жараённинг физик-динамик хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда ишлаб чиқиш;

ҳисоблашнинг юқори самарадорликга эга ноқатъий-мантик ҳулосалаш алгоритминини ишлаб чиқиш;

кўп ўлчамли нозизиқли нейрон тармоқли ростлагичнинг синтезлаш;

кальцинацияланган сода олишда абсорбциялаш жараёнини адаптив-ноқатъий ростлаш тизимини синтезлаш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида аммонийлаштирилган эритмани тайёрлашда абсорбциялаш жараёнининг бошқариш тизими олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** кальцинацияланган сода олишда абсорбциялаш технологик жараёнини адаптив-ноқатъий бошқариш тизимининг тадқиқот моделлари ва алгоритмларидан иборат.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида тизимларни идентификациялаш назарияси, тизимли таҳлил усуллари, математик ва имитацион моделлаштириш усуллари, ноқатъий мантик ва нейрон тўрлари назарияси, адаптив бошқариш назарияси, интеллектуал бошқариш назарияси, автоматик бошқариш назарияларидан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

аммонийлашган эритмани абсорбциялаш жараёнининг нейро-ноқатъий технология асосида динамик модели ишлаб чиқилган;

адаптив хусусиятга эга бўлган ноқатъий-мантик ҳулосалашнинг майдонлар фарқи усулига асосланган тезкор алгоритми ишлаб чиқилган;

майдонни фарқлаш усулидан фойдаланиб, юмшоқ арифметик операцияларга асосланган адаптив нейро-ноқатъий тизимининг ўқитиш алгоритми ишлаб чиқилган;

абсорбциялаш колоннасининг технологик параметрларини априор ноаниқлик шароитида адаптив кўп боғлиқли нейро-ноқатъий автоматик ростлаш тизими синтез қилинган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

кимё саноатида юқори сифатга эга маҳсулот олишнинг энергия ва ресурс тежамкорлигини таъминлаш имконини берувчи самарадор интеллектуаллашган бошқариш тизимини яратишнинг сифат жиҳатидан янгича ёндашуви таклиф этилган;

мураккаб кимёвий технологик жараёнлар, хусусан абсорбциялаш жараёнига интеллектуаллашган бошқариш усулларини қўллаш соҳасини кенгайтириш имконини берувчи ишлаб чиқаришга мослашувчанлик хусусиятига эга адаптив ноқатъий ростлагичли бошқариш тизимини функционал схемаси ишлаб чиқилган;

турли ишлаб чиқариш ҳолатларини таҳлил қилиш, башорат қилиш ва бошқарув қарорларини қабул қилиш имконини берувчи абсорбциялаш колоннасининг технологик параметрларини бошқариш жараёнини имитацион моделлаштириш тизимининг дастурий мажмуа ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончилиги нейрон тармоқлари, ноқатъий тўпламлар назарияси асосида динамик объектларни интеллектуал бошқаришнинг назарий асосланган меъзонларининг қўлланилиши; замонавий автоматик бошқариш назариясининг синовдан ўтган усулларининг ишлатилиши; олинган назарий ва амалий тадқиқот натижалари ҳамда уларнинг ўзаро мувофиқлиги билан асосланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти бошқариш мақсадида кўриб чиқиладиган технологик объектлар синфининг нейро-ноқатъий технологияси асосида қурилган гибрид моделларини қуришнинг умумий ёндашувини ишлаб чиқишдан; кузатиш жараёнини адаптив-хоссали коррекциялаш матричасига эга узлуксиз-дискрет ҳолат кузатувчисини ишлаб чиқиш, ахборотлар ноаниқлиги шароитида ишлайдиган технологик объектларни адаптив бошқариш масалаларини самарали ечиш имконини берувчи адаптив нейро-ноқатъий ростлаш тизимини синтезлашнинг конструктив алгоритмларини ишлаб чиқишдан иборатдир.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти тизимнинг ҳолатларини башорат қилиш ва оптимал бошқарув қарорларини қабул қилиш имконини берадиган ТЖБАТнинг мавжуд қисми сифатида фойдаланиш учун мўлжалланган, дастурий мажмуа сифатида ишлайдиган, математик ва алгоритмик таъминотни ишлаб чиқишдан иборат. Ишлаб чиқилган алгоритмлар узлуксиз характерли ишлаб чиқаришнинг технологик жараёнларини адаптив бошқариш тизимларини қуришда қўллаш мумкинлиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Кальцинацияланган сода олишда абсорбциялаш жараёнини адаптив-ноқатъий бошқариш системасини синтези бўйича олинган натижалар асосида:

абсорбциялаш жараёнини автоматик бошқаришнинг адаптив тизимини тадқиқ қилишнинг нейро-ноқатъий модели ва алгоритмлари «Қўнғирот сода заводи» МЧЖда жорий қилинган («ЎЗКИМЁСАНОАТ» АЖнинг 2020 йил 4 августдаги 24-3199-сон маълумотномаси). Натижада, кальцинацияланган сода асосини ташкил этувчи аммонийлашган эритмаларининг сифати ошган;

объект хусусиятлари ва номаълум ғалаёнларга адаптацияли бошқариш тизимининг нейро-тармоқли ростлагичини синтез қилиш алгоритмлари «Қўнғирот сода заводи» МЧЖда жорий қилинган («ЎЗКИМЁСАНОАТ» АЖнинг 2020 йил 4 августдаги 24-3199-сон маълумотномаси). Натижада, абсорбциялаш колоннасининг технологик агрегатлари иш режими барқарорлиги таъминланган.

нейро-ноқатъий моделларга асосланган чиқиш ва бошқариш параметрларини ўлчаш бўйича абсорбциялаш жараёнининг назоратсиз параметрларини қайта тиклаш алгоритми «Қўнғирот сода заводи» МЧЖда жорий қилинган («ЎЗКИМЁСАНОАТ» АЖнинг 2020 йил 4 августдаги 24-3199-сон маълумотномаси). Натижада, объект ва ташқи таъсирлар параметрларини аниқлашнинг самарадорлиги ошган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқот натижалари 4 та халқаро ва 2 та республика илмий-амалий анжуманларида маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Диссертация мавзуси бўйича жами 17 та илмий иш, шулардан – 1 та монография, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссияси тавсия этган илмий нашрларда 7 та мақола, жумладан, 2 таси хорижий журналларда нашр этилиб, ЭХМ лар учун дастурий маҳсулотларга Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигидан рўйхатдан ўтган 2 та гувоҳнома олинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 111 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 очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «Аммонийлашган эритма олишда абсорбциялаш жараёнини бошқариш муаммоларининг замонавий ҳолатини тизимли

**тахлили»** деб номланган биринчи бобида аммонийлашган эритма олишда абсорбция жараёнини бошқариш тизимининг замонавий ҳолати ва ривожланиш тенденция масалалари тизимли таҳлил қилинган, натижалари мавжуд бошқарув тизимларининг интенсив ривожланиши ва янгиларининг пайдо бўлишидан далолат беради.

Ҳозирги вақтда абсорбциялаш жараёнини бошқариш алгоритмларини ишлаб чиқиш бир қатор муҳим хусусиятлар билан мураккаблашади: объектнинг ноаниқ параметрлари ва ночизиқли хусусиятларини мавжудлиги, кўп ўлчамлилик, ўзаро боғлиқ бўлган узатиш каналларининг мавжудлиги, математик моделнинг ноаниқлиги, тўғридан-тўғри ҳолатни ўзгартириш имконияти, ташқи таъсирларни назоратсиз қолишлиги ва абсорбциялашда кечадиган жараённинг ностационарлиги ва бошқалар.

Юқори самарли бошқариш тизимларини яратиш масаласини ҳал қилишда ишлатилган усулларнинг мураккаблиги ва бундай тизимларнинг синтези туфайли баъзи қийинчиликларга дуч келади.

Материал ва иссиқлик оқими билан аниқланадиган бошқариш объектининг кўп ўлчамлилиги ва узатиш каналларинг ўзаро боғлиқлиги ҳамда уларнинг таъсири бошқариш масалаларини мураккаблаштиради ва технологик режимга риоя қилиш талабларини кучайтиради.

Ҳозирги вақтда локал бошқариш тизимлари ҳар доим ҳам кутилган натижани бермайди, сабаби уларнинг ўзаро таъсири ҳисобга олинмаслиги ва амалга оширган мақсадларни мувофиқлаштирилмаганлигидир. Шунинг учун сўнгги йилларда бошқарув тизимини ривожлантиришнинг асосий тенденцияси маҳаллий бошқарув тизимининг интеграцияси бўлиб, унда айрим қуйи тизимларнинг ишлаши бошқариш объектининг глобал мақсадига асосланган ҳолда мувофиқлаштирилади ва аниқланади, бундай бошқариш тизимлари компонентларнинг ишлаши келишилган учун энг мақбул вариантларни танлаш орқали самарадорликнинг тезроқ ўсишини, ахборотдан фойдаланишнинг ишончлилиги ва даражасини оширади, оптималлаштириш бўйича комплекс масалаларнинг функциялари бўйича янги ечимлар ва бошқаларни қабул қилишни таъминлайди. Шу билан бирга ишлаб чиқаришни бошқариш тизимининг ҳозирги ҳолати ва ривожланиш тенденциялари тизимли таҳлил қилинди, ишлаб чиқилган бошқариш тизимининг тузилишини аниқлаш учун омилларнинг фазовий тақсимланиши, масса ва иссиқлик алмашинуви жараёнларининг ўзаро боғлиқлигини тавсифловчи абсорбциялаш жараёнининг концептуал модели яратилди.

Бундай шароитларда, яъни маълумотларнинг етишмаслиги ва ноаниқлиги, адаптив-ноқатъий бошқарувни яратиш ва сунъий интеллект ва бошқариш назарияси методологиясини гибрид қўллаш асосида бошқарув тизимини синтез қилиш усулларини ишлаб чиқиш масалалари долзарб бўлиб қолмоқда.

Юқорида айтилганлар, ҳолат кузатувчили нейро-ноқатъий моделлар ва адаптив-ноқатъий бошқариш тизими алгоритмларини яратиш ҳамда ҳисоблаш схемаларини синтез қилиш ва уларни амалда қўлланилиши билан асосланади.

Шунга мувофиқ диссертация тадқиқотида тадқиқот мақсади ва вазифалари аниқланди. Таъкидлаш жоизки, нейро-ноқатъий технологиялар ёрдамида абсорбциялаш жараёнини адаптив бошқариш тизимини яратиш муаммосини ҳал қилиш тадқиқот учун истиқболли йўналиш ҳисобланади.

Диссертациянинг «**Абсорбциялаш жараёнининг ҳолат тенгламаларини шакллантириш ва математик моделини ишлаб чиқиш**» номли иккинчи боби абсорбциялаш жараёнининг математик моделини ишлаб чиқишга бағишланган. Аммонийлашган эритмани олишда абсорбциялаш колоннасида юзага келадиган абсорбциялаш жараёни физик-кимёвий хусусиятларини ўрганиш натижасида аналитик усуллар ёрдамида материал ва иссиқлик баланси тенгламалари асосида абсорбциялаш жараёнининг математик модели яратилди, у қуйидаги дифференциал тенгламалар тизими томонидан умумий кўринишда ифода этилади:

$$\partial C_{a_2} / \partial t = -v_{a_2} (\theta_{a_2}, P_{a_2}) (\partial C_{a_2} / \partial z) - R_{a_2} [C_{a_2} - C_{a_2}^p(C_p)];$$

$$\partial C_p / \partial t = -v_p (\partial C_p / \partial z) + R_p [C_{a_2} - C_{a_2}^p(C_p)];$$

бу ерда:  $C_{a_2}$  ва  $C_{ap}$  - аммиакнинг газ ва суюқликдаги концентрацияси;

$C_{a_2}^p(C_{ap})$  - суюқликдаги аммиак таркибига қараб газдаги аммиакнинг мувозанат даражаси;

$v_z, v_p$  -  $h$  ўқи бўйлаб газ ва суюқлик тезлиги;

$\theta_z$  - ишчи ҳолатдаги газ ҳарорати, С;

$P_z$  - ишчи ҳолатдаги газ босими, МПа;

$R_a, R_p$  - газ ва суюқлик фазаларнинг физик хусусиятларига қараб физик-технологик коэффициентлар.

Таъкидлаш жоизки, абсорбциялаш колоннасида содир бўладиган жараён тақсимланиш хусусиятга эга ва барча параметрларни ўлчаш мумкин эмас.

Объект ҳолатини ўлчанмаган координаталарини қайта тиклаш учун ушбу алгоритм таклиф этилади, унинг аҳамияти қуйидагича: дастлаб объект параметрлари  $W(T)$ , ташқи таъсирлар  $f(T)$  ва бошқариш векторлар  $u(T)$  асосида жараённи дискретлаш зарурий қадамлар сони қуйидаги формула билан белгиланади:

$$W(T)y[kT] = W_H(T)y_H[kT] + W_H(T)y_H[kT]$$

бу ерда:  $W_H(T)$  - ўлчанган координаталари бўлган қисм матрица,  $W_H(T)$  - умумий матрица  $W(T)$  дан барча устунларни чиқариб ташлаш орқали олинган матрица қисмини ўзгармас координаталари, ўлчанмаган координаталар сонига мос келади.

Бу икки матрицадан умумийлаштирилган матрица тузилади:

$$L_H = (W_H(T) - E_H), \quad (1)$$

бу ерда:  $E_H$  - бирлик матрицаси. Янги тенгламалар тизимига эга бўламиз

$$\theta = L_H y_H,$$

бу ерда:  $\theta$  ва  $L_H$  - ўз навбатида нол элементлари бўлган қаторларни йўқ қилиш орқали олинган вектор ва матрицалар. Тенгламалар (1) тизимининг

ечими ўлчанмаган ўзгарувчиларнинг исталган қийматларини топишга имкон беради.

$X(t)$  объект ҳолати координаталари векторининг жорий қийматини доимий бошқариш ўлчовларидан  $U(t)$  ва вақтни дискрет моментларда олинган  $Y(t)$  назорат маълумотларини ҳисоблаш учун доимий дискрет ҳолат кузатувчиси қуйидаги формула орқали аниқланади

$$\begin{cases} \hat{X}'(t) = A_H \cdot \hat{X}(t) + B_H \cdot U(t) + K \cdot \Delta Y(t); \\ \hat{Y}(t) = C_H \cdot \hat{X}(t), \end{cases}$$

бу ерда:  $A_H, B_H, K, C_H$  -кузатувчи ҳолат матрицалари, бошқариш, коррекция ва чиқишдаги кузатувчилар.

Кузатувчида мос бўлмаган  $\Delta Y(t)$  ёрдамида ҳолатни тузатиш, объект ва кузатувчининг чиқиш қийматлари орасидаги ҳар бир момент вақтида аниқланади.

Объектни бошқариладиган қийматлари  $T_H$  нинг дискрет даври билан амалга оширилганлиги сабабли,  $\Delta Y(t)$  вектор ўлчаш вақти маълум. Шунинг учун кузатувчининг параметрларини коррекциялаш фақат вақтнинг дискрет моментларида,  $\lambda \cdot \Delta Y(t)$  қисқа корректовчи импульслардан  $\tau$  давомийлиги  $T_H$  дан анча паст:

Шунинг учун кузатувчининг киришига  $\tau = \lambda T_H$  узунликка эга булган корректовчи импульслар бериб, бу ерда  $\tau$  -  $T_H$  импульсларнинг такрорланиш даврига нисбатан анча кичик бўлган кузатувчининг параметрларини тузатиш киритувчи импульсли элементнинг кучайтириш коэффициентини:

$$\Delta Y(t) = \begin{cases} Y(t) - \hat{Y}(t) & \text{при } j \cdot T_H \leq t \leq j \cdot T_H + \tau, (j = 0, 1, 2, \dots); \\ 0 & \text{при } j \cdot T_H + \tau < t < (j + 1) \cdot T_H, (j = 0, 1, 2, \dots). \end{cases}$$

Кузатувчининг турғунлиги ва адаптация жараёнининг талаб қилинадиган тезлигини таъминлаш учун коррекция импульсларини ошиши лни танлаш керак. Ушбу ёндашув билан кузатувчи амплитуда-импульс тизими деб номланади. Бу ҳолда, коррекция каналидаги импульсли элемент (ИЭ)  $\tau \ll T_H$  давомийлигининг қисқа тўртбурчак импульсларини ҳосил қилади.

Импульс элементининг кучайтириш коэффициентини  $\lambda$  кузатувчининг турғунлигини ва зарурий адаптация жараёнининг яқинлашиш тезлигини таъминлаш учун танланади. Ушбу ёндашув, ўрганилаётган тизимни АИТ деб ҳисоблаш имконини беради, бу эрда ИЭ  $\tau \ll T_H$  давомийлиги билан қисқа импульс сигналларини ҳосил қилади. Координаталарни баҳолаш ва чиқиш математик моделлар ўртасида сигналларни фарқланишида, яъни  $|y(t) - \hat{y}(t)|$  корректовчи сигналларни узатиш учун коррекциялаш каналари ҳосил бўлади. Шундай қилиб, ҳолат кузатувчисининг координаталарини объектнинг математик моделига яқинлаштириш таъминланади.

Тавсия этилган тизимнинг кузатувчи билан турғунлиги корректовчи канал матрицаси коэффициентларини танлаш билан таъминланади. Шу сабабли қаралаётган тизим дискрет бўлгани учун, тузатиш матрицасининг

коэффициентлари ёпиқ тизимнинг характеристик тенгламаси илдизларини бирлик доира ичида жойлашишини таъминлаши керак.

Кузатувчининг ҳақиқий объектга мослашиши тузатиш матрицаси  $K$  коэффициентларининг иккита режимда йўналтирилган ишларга:  $K_{III}$  ўтиш режими учун,  $K_{UR}$  турғун режим учун таъминлайди. Бундай ҳолда,  $K_{III}$  объектнинг координаталарининг ҳақиқий қийматига тезкор ўтишни таъминлайди,  $K_{UR}$  эса ўлчаш хатоларига нисбатан сезгирликни таъминламайди.

$K_{III}$  дан  $K_{UR}$  ўтиш режимининг охирида амалга оширилади. Тузатиш матрицасини  $K$  ўтишни аниқлаш учун мос келмаслик қиймати  $\Delta Y(t)$  ни  $\Delta$  ўлчаш хатосининг белгиланган қиймати билан тизим ишининг реал режимни дискрет вақтлардаги таққослаш орқали амалга оширилади.

Диссертациянинг «**Нейро-ноқатъий технология асосида абсорбциялаш жараёнини адаптив бошқариш алгоритмларини ишлаб чиқиш**» номли учинчи бобида кўп боғлиқли бошқариш тизимининг декомпозиция алгоритмларини ишлаб чиқиш, нейро фаззи тармоқнинг тузилиши ва параметрларини мослаштириш, ноаниқ-мантиқий хулосаларни синтез қилиш, ночизикли хусусиятларга эга динамик объектни адаптив-ноқатъий ростлаш ва майдон фарқи асосида нейро-ноқатъий тизимни ўқитишни синтез қилиш натижалари келтирилган.

Ўрганилаётган тизим кўп ўлчамли ва кўп боғлиқли тузилишга эга, бошқариладиган ўзгарувчилар уланиши кўп боғлиқли бошқариш тизимларининг (КБТ) синтезида баъзи қийинчиликларни келтириб чиқаради. Ушбу қийинчиликлар, биринчи навбатда ўзаро таъсирни йўқ қилиш ёки узатиш каналларининг зарур уланишини таъминлаш билан боғлиқ.

Минимал мураккаблик билан ростлагич тузилмасини аниқлаш билан боғлиқ бўлган кўпалоқали ва кўпўлчовли автоматик бошқарув тизимларини синтез қилиш муаммолари, шунингдек бошқариш тизимининг турғунлиги ва зарур динамик хусусиятлар, билан бир қаторда узатиш каналларининг ўзаро таъсири туфайли баъзи қийинчиликлар юзага келади. Узатиш каналларининг ўзаро таъсирини компенсацияси учун динамик декомпозициялаш усулидан фойдаланиш таклиф этилади.

Бир хил миқдордаги бошқариш ва бошқариладиган параметрларга эга бўлган динамик кўп ўлчамли объект ҳолат ўзгарувчиси тенгламалар билан ифодаланган

$$\dot{x} = Ax + Bu., y = Cx,$$

бу ерда:  $x - n$  вектор ҳолати;  $u$  ва  $y - q$  - бошқариш ва бошқариладиган параметрларнинг векторлари;  $A, B, C$  - мос келадиган ўлчовларнинг рақамли матрицалари.

Объектнинг узатиш матрицаси қуйидагича:

$$W(p) = A^{-1}(p)C(p),$$

бу ерда:  $A(p) = \det(pE - A)$  - объектнинг характерли полиноми;  $C(p) - q \times q$  полином матрицаси. Бу ҳолда, шаклнинг декомпозиция матрицаси қуйидагича ифодаланади

$$P_{yu}(p) = A(p)adjW_{yu}(p),$$

бу ерда:  $adj(*)$  - бириктирилган матрица, хусусиятига эга  $HadjH = E \det H$ . Бундай ҳолда матрицанинг декомпозиция хусусияти  $P_{yu}(p)$  тўпламлар ҳисобига сақланади  $adjW_{yu}(p)$ . Бу матрицаларни кўпайтиришдан  $W_{yu}(p)$  ва  $\tilde{P}_{yu}(p)$  шу кўринишга келади:

$$W_{yu}(p)\tilde{P}_{yu}(p) = A_{\Omega}(p)E_q \det W_{yu}(p),$$

бу ерда  $E_q$  -  $q \times q$  бирлик матрица. Декомпозиция матрицасидан фойдаланганда кўп ўлчамли бошқарув қурилмаси (КБК)нинг «кириш-чиқиш» тенгламаси қуйидагича ифодаланади:

$$u(p) = A_{\Omega}(p)adjW_{yu}(p)R^{-1}(p)[Q(p)g - L(p)y(p)],$$

бу ерда:  $R(p) = diag[R_1(p), R_2(p), \dots, R_q(p)]$ ,  $L(p) = diag[L_1(p), L_2(p), \dots, L_q(p)]$ ,  $Q(p)$  - матрица ҳосиласи  $q \times q$ .

Узатиш матрицаси ва КБК бўлган объектни ёпиқ бошқарув тизимининг «кириш-чиқиш» тенгламаси қуйидаги кўринишга эга:

$$y(p) = A_{\Omega}(p)W_{yu}(p)adjW_{yu}(p)R^{-1}(p)[Q(p)g(p) - L(p)y(p)],$$

ёки кўшилган матрицаларнинг хусусиятларини ҳисобга олиш

$$y(p) = A_{\Omega}(p)\det W_{yu}(p)R^{-1}(p)[Q(p)g(p) - L(p)y(p)].$$

Бу узатиш каналларининг автономлигини таъминлайди ва бунинг учун кўп ўлчамли бошқарув қурилмасини синтез қилишнинг анъанавий стандарт усулларидан фойдаланиш мумкин.

Мазкур тадқиқот ишида кўриб чиқилган динамик декомпозициялаш усулига асосланган қурилиш алгоритми вақтинчалик режимда белгиланган сифат кўрсаткичлари билан самарали, физик жиҳатдан реализация қилинадиган кўпўлчовли бошқарув тизимини аналитик режимда синтез қилиш имконини беради.

Моделни реал нозичикли объектга адаптация хусусиятини бериш учун ҳар қандай нозичикли функцияларни ихтиёрий аниқлик билан аппроксимация хусусиятларига эга бўлган нейрон тармоқлардан фойдаланиш таклиф этилади.

Бундай ҳолда, объект майдон ҳолати шаклида тақдим этилади

$$X(k+1) = AX(k) + Bf[u(k), u(k-1), \dots, u(k-m+1)],$$

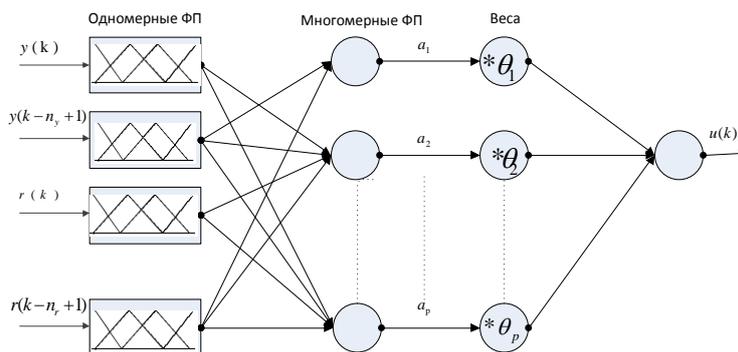
$$y(k) = CX(k),$$

бу ерда:  $f[\cdot]$  - силлиқ нозичикли функция  $\frac{\partial f}{\partial u(k+1)} = 0; \frac{\partial f}{\partial u(k)} \neq 0$ .

Нейро-фаззи тармоқ асосида нозичикли аппроксиматор ишлаб чиқилган бўлиб, у битта локал моделдан иккинчисига силлиқ ўтишни таъминлайди ва такрорий ўқитишни талаб қилмайди.

Нейрон тармоқнинг киришига  $[y(k) \dots y(k-ny+1), r(k-nr+1)]$  таянч сигнал берилади. Тармоқнинг чиқиши фаззификацияланган киришда чизикли комбинацияланган вазни акс этиради. Нейрофаззи тармоқни ишлаб чиқиш бир ўлчовли функциялар тартибини, кириш ва чиқиш параметрларининг

диапазони ва нейронларнинг ички тугунлар сонини, нейрон тармоқларнинг ўғирликлари кузатувчига қараб белгиланади.



1-расм. Ночизикли нейрон тармоқ (аппроксиматор)

Нейро-фаззи тармоғини ўқитишда ноқатъий қоидалар ёки тармоқ оғирликларини созлаш киради. Ўқитиш жараёнида тармоқдаги оғирликларни куйидагича созлаш мумкин:

$$\theta_i(k+1) = \theta_i(k) - g \frac{\partial J}{\partial \theta_i} = \theta_i(k) - g e \frac{\partial e}{\partial \theta_i}, \text{ for } i = 1, 2, \dots, p$$

бу ерда  $\frac{\partial e}{\partial \theta_i} = \frac{\partial y}{\partial \theta_i} = \frac{\partial y}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial \theta_i} = \frac{\partial y}{\partial u} a_i(x)$ .

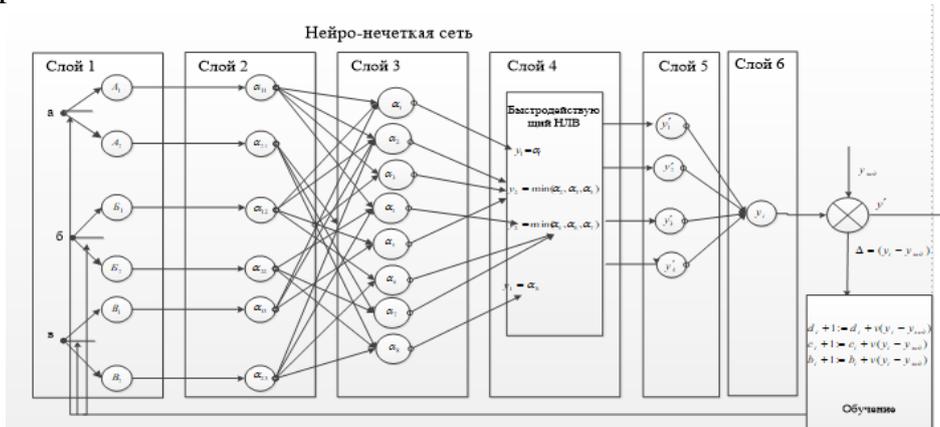
Маълумки, нейрон тармоқларни ўқитиш жараёнида ноаниқ-мантиқий хулосалар сони кириш ўзгарувчилари ва атамалар сонига қараб геометрик прогрессия кўринишида ўсиб бормоқда.

Бўш ечимлар ва нол участкаларини чиқариб ташлаш орқали, шу билан бошқариш тизимининг юқори тезлигини, тармоқнинг иш фаолиятини яхшилашни таъминловчи нейро-фаззи тармоғи асосида қурилган ночизикли аппроксиматор таклиф қилинган (1-расм).

Шуни таъкидлаш жоизки, бошқариладиган параметрлар сонининг кўпайиши билан барча турдаги, шу жумладан кириш параметр термларининг бўш ечимларни, ҳамда бошқариладиган сигналларни яратишда нол қисмини ҳисобга олган ҳолда, нейро-қатъийнас ростлагич бошқариш тизимининг тезлиги пасаяди. Бошқариш тизимининг юқори ишлашини таъминлаш учун адаптив нейро-ноқатъий тармоқ ва ноқатъий мантиқий хулосаларни адаптив моделлари кўпўлчовли ночизикли функциялар кўринишида такдим этиладиган ва универсал аппроксиматорлардан фойдаланиш тавсия этилади. Икки хил турдаги адаптив моделларнинг параметрлари ўқув намуна маълумотлари асосида шаклланган маълум бир мезон оптималлаштириш орқали созланади. Ноқатъий-мантиқий хулосалар алгоритми бўш ечимларни ва нол кесимларни йўқ қилишга имкон берадиган структуравий схемаси таклиф қилинган (2-расм).

Шундай қилиб, бошқариладиган технологик жиҳозларнинг вазифаларида таклиф қилинаётган таркибий-параметрик адаптация ноқатъий-мантиқий хулосалар алгоритмини ўқитиш жараёнида итерациялар

сонини камайтиришга, юқори самарали ноқатъий-мантикий хулосалар алгоритми тизимнинг ўқув жараёнини тезлаштиради, нейро-ноқатъий тармоқни ўрганиш натижаларида хатолик 8 дан 1 % гача камайтиришга имкон беради.



2-расм. Юқори тезликдаги ноқатъий-мантикий хулосалар алгоритмига асосланган нейро-ноқатъий тармоқнинг структуравий схемаси

Ҳисоблашнинг мураккаблигини қисқартириш ва натижада дастурий таъминотни соддалаштириш билан бир қаторда, ушбу ёндашув қўшимча афзалликларни беради, масалан, тўлиқ бошланғич маълумотлар тўлиқ бўлмаган шароитда ишлаш, кейинчалик уни сошлаш билан моделлаштирилган тизим моделини ишлаб чиқиш.

Ночизикли нейро-фаззи тармоқни ўргатиш учун майдонларни фарқлаш усулини қўллаш асосида минимал ва максимал қийматларни топиш учун юмшоқ арифметик амалларни бажариш қуйидаги формула орқали ҳисоблаш таклиф этилади

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

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

бу ерда:  $\gamma = 0,9, \delta$  – нейро-ноқатъий хулосалар тизимининг ўқитиш босқичлари.

Бундай ҳолларда, ноқатъий-фаззи тармоқларини баҳолаш учун ўртаквадратик оғиш бўлган ечимларни қидиришга тушади:

$$RMSE = \frac{1}{M} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{экс} - y_{defuz})^2} \rightarrow \min,$$

бу ерда:  $y_{экс}$  – кўп ўқитиладиган маълумотлар;  $M\gamma = 0,9$  – ўқитиш намунасидаги нуқталар сони. Чиқиш натижаларини аниқлаш учун тегишлилик функцияси (ТФ) майдон термларини аниқлашга асосланиб, майдонни фарқлаш усулидан фойдаланилади. Чиқиш термларини кесиб ўтиш операция қуйидаги формула бўйича амалга оширилади:

$$\mu(y)_i' = soft - \min(y_i'; \mu(y_i)).$$

Сўнгра умумий майдоннинг кесилган фигуралар майдонига нисбати аниқланади:

$$S_{\text{усеч}} = \sum_{i=1}^n S_i.$$

Ҳамда пропорционал муносабатлар:  $D = \frac{S_{\text{усеч}}}{S_{\text{общ}}}$ .

Ушбу арифметик операциялар асосида ноқатъий муносабатлар матрицаси ва ноқатъий қоидалар базаси ҳосил бўлади.

1-жадвал. Ноқатъий билимлар базаси

НП	агар		у ҳолда	НП	агар		у ҳолда	НП	агар		у ҳолда
НП <sub>1</sub>	x <sub>11</sub>	x <sub>21</sub>	y <sub>5</sub>	НП <sub>4</sub>	x <sub>11</sub>	x <sub>21</sub>	y <sub>4</sub>	НП <sub>4</sub>	x <sub>11</sub>	x <sub>21</sub>	y <sub>3</sub>
НП <sub>2</sub>	x <sub>11</sub>	x <sub>22</sub>	y <sub>4</sub>	НП <sub>5</sub>	x <sub>11</sub>	x <sub>22</sub>	y <sub>3</sub>	НП <sub>5</sub>	x <sub>11</sub>	x <sub>22</sub>	y <sub>2</sub>
НП <sub>3</sub>	x <sub>11</sub>	x <sub>23</sub>	y <sub>3</sub>	НП <sub>6</sub>	x <sub>11</sub>	x <sub>23</sub>	y <sub>2</sub>	НП <sub>6</sub>	x <sub>11</sub>	x <sub>23</sub>	y <sub>1</sub>

Диссертациянинг «Абсорбциялаш колоннасининг технологик параметрларини адаптив-ноқатъий бошқариш тизими синтези» номли тўртинчи бобида абсорбциялаш колонналарининг энг муҳим технологик параметрлари, масалан, ҳарорат, босим, аммонийлашган эритмани заиф истеъмол қилиниши, ишлаб чиқилган адаптив-ноқатъий моделлар ва алгоритмлар қўллаш натижалари келтирилган.

Адаптив-ноқатъий ростлагични синтез қилиш алгоритми ишлаб чиқилган, бунда ўлчаб бўлмайдиган таъсирлар ва абсорбциялаш жараёни ҳолати тўғрисида тўлиқ бўлмаган маълумотларни ҳисобга олади. Микроконтроллер бошқарув қурилмаси сифатида ишлатилганлиги сабабли жараён динамикаси дискрет узатиш функцияси кўринишида ифодаланади

$$W_{OY}(z) = \frac{\Delta Y(z)}{\Delta U(z)} = \frac{a_0 z^{-m} + \dots + a_{m-1} z^{-1} + a_m}{b_0 z^{-n} + \dots + b_{n-1} z^{-1} + b_n}.$$

Нейрон тармоқнинг дискрет узатиш функцияси қуйидагича ёзилиши мумкин

$$W_{HC}(z) = \frac{\Delta U(z)}{\Delta V(z)} = \frac{c_0 z^{-p} + \dots + c_{p-1} z^{-1} + c_p}{d_0 z^{-q} + \dots + d_{q-1} z^{-1} + d_q}.$$

Синтез қилинган тизимнинг аниқлиги интеграторларни бошқариш контури орқали таъминланади. Дискрет тасвирни Лаплас координаталари қуйидагича ифодаланади:

$$V_i(z) = \frac{T_0}{1-z^{-1}} E_i(z), (i = 1, 2, \dots, N).$$

Бошқариш тизимини синтез қилиш учун нозикли алгебраик тенгламалар сони ва нейрон тармоғининг созиладиган оғирликлар сони қуйидаги формулалар орқали аниқланади:

$$(KY) = RL = R \max \left\{ N + n + \sum_{i=1}^N q_i; N - 1 + m_{ij} + p_j \right\},$$

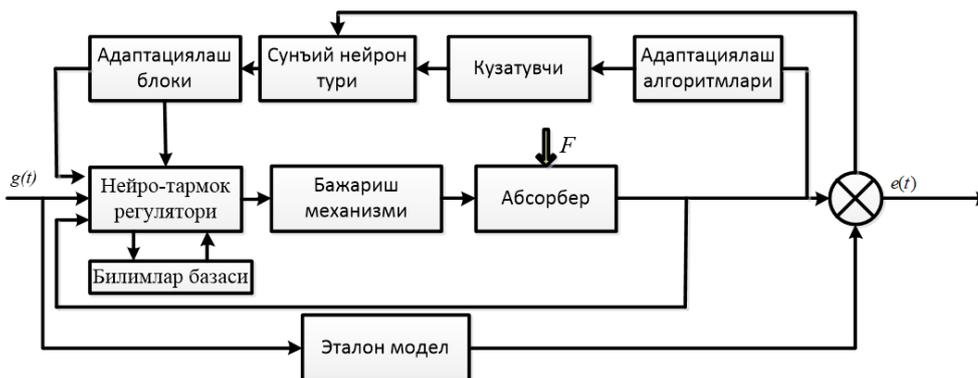
$$(KIT) = \left[ 2N + \sum_{i=1}^N (p_i + q_i) \right] \cdot \sigma.$$

Ушбу маълумотлар асосида қуйидаги тенгсизликлар тизими тузилади:

$$(2N + \sum_{i=1}^N p_i)\sigma + (\sigma - R)\sum_{i=1}^N q_i \geq R(N + n);$$

$$\left[ 2N + \sum_{i=1}^N (p_i + q_i) \right] \sigma - Rp_j \geq R(N - 1 + m_{ij}), (i, j = 1, 2, \dots, N).$$

Тенгсизликлар тизими натижалари кўпўлчовли нейрон тармоқ ростлагич структурасини аниқлашга имкон беради ва унинг параметрларини сошлаш нейрон тармоқларни ўқитиш алгоритми, майдон фарқлаш усули ёрдамида амалга оширилади. Абсорбциялаш жараёни синтезланган адаптив-ноқатъий бошқарув тизимининг структуравий схемаси 3-расмда келтирилган.



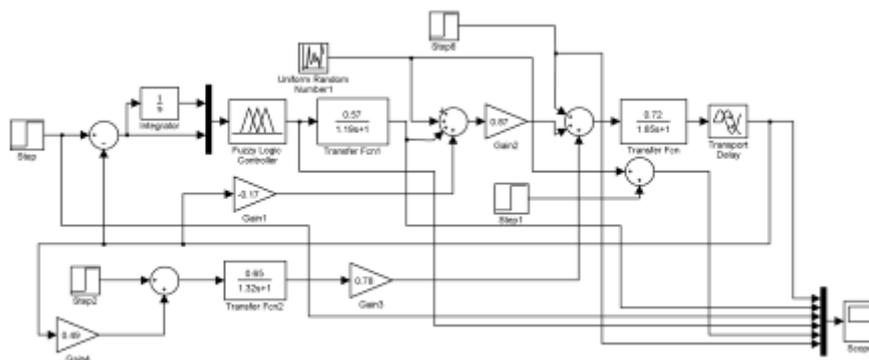
3-расм. Адаптив-ноқатъий тизими абсорбциялаш жараёнини бошқариш

Абсорбциялаш жараёнини параметрик ноаниқлик ва абсорбциялаш колоннасининг ноқизиқли динамик хусусиятлари адаптив-ноқатъий бошқариш асосида автоматлаштирилган технологик мажмуа имитацион моделлаштириш тизими модел ва алгоритмлари ишлаб чиқилган. Ушбу тизим технологик агрегатларни рационал ишлаш режимларини аниқлаш учун ҳисоблаш тажрибаларини ўтказишда дастурий мажмуа сифатида Matlab муҳитида амалга оширилади.

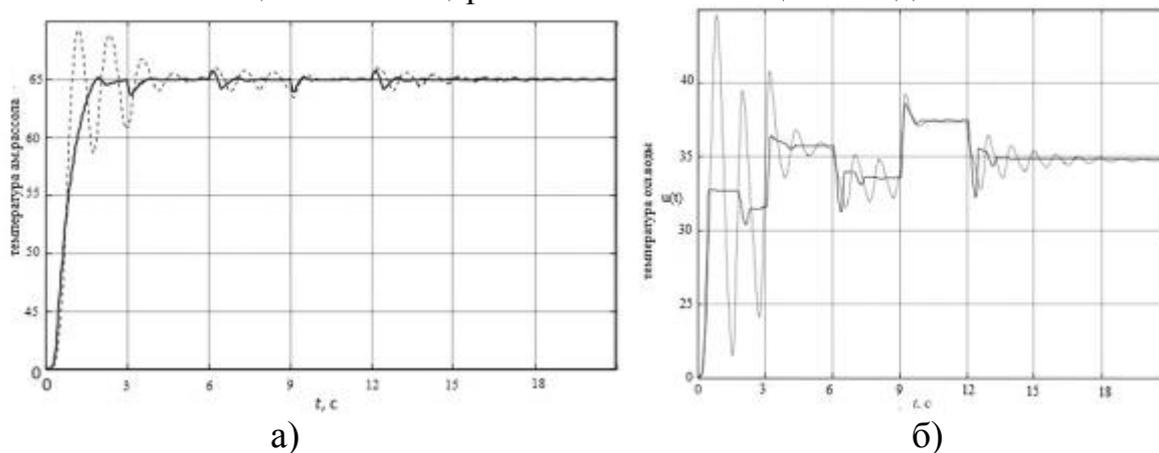
Аммонийлашган эритмани ҳароратини адаптив бошқариш ишлаб чиқилган нейро-ноқатъий модел ва алгоритмларнинг самарадорлигини баҳолаш учун Matlab муҳитида абсорбция ҳароратини ноқатъий ростлаш тизими имитацион модели қурилган (4-расм), ташқи ва параметрик безовта қилувчи таъсирлар мавжуд бўлганда бир қатор ҳисоблаш тажрибалари ўтказилади.

Simulink Matlab муҳитида ўтказилган ҳисоблаш тажрибасида совутилган сув билан таъминлашнинг кескин ўзгариши кўриб чиқилди, чунки тажриба шуни кўрсатадики,  $\gamma = 0,5$  энг яхши адаптация коэффиценти.

Бу ҳолда, адаптив тизимнинг эталон модел билан доимий адаптив коэффиценти ва интеллектуал нейрон тармоқларини ўқитиладиган бошқариш ўзгарувчиларини ўтиш жараёнида вақт ўзгариши таққослаш графиги тасвирланган (5-расм).



4-расм. Абсорбциялаш колоннаси функциялари ҳарорат режимини адаптив ноқатъий бошқариш тизими имитацион модели



5-расм. Ўтиш жараёнлари а) бошқариш сигналларининг графиги ва б) адаптив бошқариш тизими

Ушбу тизимни жорий этиш натижасида аммонийлашган эритма концентрациясини номинал қийматини 9,9 %га камаиди ва унумдорлиғни 8-9 %га ошди. Бу эса ишлаб чиқаришнинг техник-иқтисодий кўрсаткичларини сезиларли даражада ошириш имконини беради.

Амалга ошириш тўғрисидаги Акт иловада келтирилган.

Ҳисоблаш тажрибалари натижалари шуни кўрсатадики, нейрон тармоқ ростлагичи бутун автоматик ростлаш тизимига ташқи безовта қилувчи таъсирлар мавжуд бўлганда маълум даражада ушлаб туриш қобилиятини беради, бу нафақат технологик параметр (аммонийлашган эритманинг ҳарорати), лекин вақт ўтиши билан унинг параметрларида кенг кўламли ўзгаришлар билан абсорбциялаш жараёни технологик жиҳатидан бошқариш имконини беради.

## ХУЛОСА

Диссертацияда автоматик ва интеллектуал бошқариш назариясини тизимли таҳлил усуллари асосида кальцинацияланган сода олишда абсорбциялаш жараёнини бошқариш тизимини адаптив-ноқатъий синтез алгоритмлари ишлаб чиқилди. Тадқиқот якунида қуйидаги илмий натижалар олинди:

1. Аммонийлашган эритмани абсорбция жараёнини технологик ва физик-кимёвий хусусиятларини тизимли таҳлил қилиш асосида абсорбциялаш колоннасида иссиқлик ва масса узатиш жараёнининг концептуал модели ишлаб чиқилган. Бу абсорбциялаш жараёнини адаптив бошқариш тизимини қуриш учун истиқболли вариантини танлаш имконини беради.

2. Аммонийлашган эритмани абсорбциялаш жараёнининг кўпалоқали динамик математик модели, физик-кимёвий хусусиятларнинг ноаниқлигини ҳисобга олган ҳолда ишлаб чиқилган. Модел турли хил технологик шароитларда объектнинг хатти-харакатларини таҳлил қилиш ва абсорбциялаш колоннаси агрегатларининг оптимал технологик режим параметрларини аниқлаш имконини беради.

3. Объектнинг динамик ҳолатини баҳолаш ва ўлчанмайдиган тизим координаталарини тиклаш учун узлуксиз-дискрет ҳолат кузатувчиси ишлаб чиқилган. Объект ҳолати векторининг кузатилмайдиган координаталари қийматларини янада ривожланган юқори тезликда нейрон тармоқ ростлагичларини ишлаб чиқиш имконини беради.

4. Динамик декомпозиция матрица усули асосида динамик объектларни кўпалоқали бошқариш тизими декомпозиция алгоритми таклиф этилган. Ушбу алгоритм узатиш каналларининг автономлигини таъминлашга ва шу билан бирга кўпалоқали адаптив бошқарув тизимининг синтези масаласини самарли этишга имкон беради.

5. Реал вақт режимида объектнинг ишлашида коррекцияловчи импульсдан фойдаланишга асосланган ўзгарувчини тўғридан-тўғри ўлчаш имкони бўлмаган ҳолат кузатувчисининг параметрик адаптация алгоритми ишлаб чиқилган.

6. Нейро-фаззи тармоқ асосида кўп ўлчовли бўлмаган чизикли функциялар учун чизикли бўлмаган аппроксимация алгоритми, тизимнинг чизикли бўлмаган турли хил нукталарида ишлайдиган қатор чизикли моделлардан иборат интерпретация тармоқ ишлаб чиқилган. Таклиф қилинаётган алгоритм концентрациянинг оғиш даражаси регламенти 8% дан 1% гача камайтириш имконини беради.

7. Майдондаги фарқ усулига асосланиб максимал ва минимални топиш юмшоқ арифметик операциялардан фойдаланиб, адаптив нейро-ноқатъий тизимни ўқитиш алгоритми ишлаб чиқилган. Алгоритм бўш ечимлар ва нол қисмларни йўқ қилиш орқали ўқув жараёнининг тезлигини ошириш имконини беради.

8. Объектни динамик бошқариш тизимини ўрганиш учун ишлаб чиқилган ҳисоблаш процедуралари асосида абсорбциялаш колоннасининг технологик параметрларини автоматик равишда бошқариш учун кўп боғлиқли адаптация нейро-ноқатъий тизим синтез қилинди. Ушбу тизимни жорий этиш натижасида аммонийлашган эритма концентрациясини номинал қийматини 9,9 %га камайдди ва унумдорлиғни 8-9 %га ошди. Бу эса ишлаб чиқаришнинг техник-иқтисодий кўрсаткичларини сезиларли даражада ошириш имконини беради.

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

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**ЯДГАРОВА ДИЛНОЗА БАХТИЯРОВНА**

**АДАПТИВНО-НЕЧЕТКАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ АБСОРБЦИИ ПРИ  
ПОЛУЧЕНИИ КАЛЬЦИНИРОВАННОЙ СОДЫ**

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

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

**Ташкент – 2020**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за №В2018.2.PhD/Т746.**

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

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

**Официальные оппоненты:** **Юсупбеков Азизбек Нодирбекович**  
доктор технических наук, профессор

**Сапаев Маматкарим**  
кандидат технических наук, доцент

**Ведущая организация:** **Ташкентский химико-технологический институт**

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

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

Автореферат диссертации разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 года.  
(реестр протокола рассылки №\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 года)

**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 (PhD) по техническим наукам

**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 в последнее время вопросу энерго- и ресурсоэффективности химического производства уделяется все большее внимание. Одной из наиболее актуальных задач в сфере автоматизации технологических процессов ведущее место занимает создание высокоэффективных систем управления с применением достижений интеллектуальных технологий, позволяющих улучшить качество процесса 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 интенсивно ведутся научные исследования, направленные на совершенствование систем управления технологическими процессами, в частности получения кальцинированной соды в химической промышленности с применением методов интеллектуальных технологий. В связи с этим особое значение уделяется разработке систем адаптивного управления процессом абсорбции на основе нейро-нечетких технологий.

В настоящее время в Республике уделяется большое внимание направлениям автоматизации и управлению, в том числе созданию систем усовершенствованного управления, обеспечивающих энерго- и ресурсосбережение при автоматизации и управлении 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, ... сокращению энергоемкости и ресурсоемкости экономики, широкое внедрение в производство энергосберегающих технологий, повышение производительности труда в отраслях экономики, ... внедрению информационно-коммуникационных технологий в экономику, социальную сферу, системы управления»<sup>2</sup>. В этом аспекте разработка моделей и адаптивно-нечеткой системы управления процессом абсорбции при получении кальцинированной соды с учетом неопределенности параметров объекта управления на базе современных технологических средств, способствующих повышению качественных показателей процессов управления, является весьма актуальной и востребованной.

---

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

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-2884 от 12 апреля 2017 года «О мерах по совершенствованию структуры управления АО «Узкимёсаноат», №ПП-4265 от 3 апреля 2019 года «О мерах по дальнейшему реформированию и повышению инвестиционной привлекательности химической промышленности» 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 с приоритетным направлением развития науки и технологий республики IV. «Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий».

**Степень изученности проблемы.** Анализ научно-технических публикаций, связанных с разработкой методов и алгоритмов 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 создания систем адаптивного управления динамическими объектами с учетом различных факторов сложности внесли многие зарубежные ученые такие, как Aliev R.A., Zadeh L.A., Allgöwer A., Li Shao Yuan, Griffin M.F., Hunt K.J., Sugeno M., Kraszewski P., Li Ning, Piegat A., Tanaka K., Irwin G Wang H.O., Warwick K., Xi Yu Geng, Abraham A., Zheng A., Афанасенко А.Г., Алексеенко А.Г., Балакирев В.С., Мешалкин В.П., Гардиев Л.С., Василев Ф.И. и др.

Исследование вопросов создания интеллектуальных систем управления с применением нейро-нечеткой технологии посвящены работы ряд отечественных ученых Арипов М.М., Бекмуратов Т.Ф., Гулямов Ш.М., Джуманов И.И., Игамбердиев Х.З., Исмаилов М.А., Юсупбеков Н.Р., Камилов М.М., Марахимов А.Р., Сиддииков И.Х, Фозилов Ш.Х. и др. в которых обоснованы необходимость учета различных видов неопределенностей, а также неточности и нечеткости информации в задачах управления технологическими процессами.

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 совершенствования существующей и создания адаптивно-нечеткой системы управления процессом абсорбции в условиях неопределенности.

**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: 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 адаптивно-нечеткой системы регулирования процессом абсорбции при получении кальцинированной соды с применением методов интеллектуального управления.

**Задачи исследования:**

системный анализ процесса абсорбции при получении кальцинированной соды как объект исследования;

разработка математической модели процессом абсорбции с учетом физико-динамических свойств процесса;

разработка высокоэффективного в вычислительном отношении алгоритма нечетко-логического вывода;

синтез многомерного нелинейного нейро-сетевого регулятора;

синтез адаптивно-нечеткой системы регулирования процессом абсорбции при получении кальцинированной соды.

**Объектом исследования** является система управления процессом абсорбции при приготовлении аммонизированного рассола.

**Предметом исследования** являются модели и алгоритмы исследования адаптивной нечеткой системы регулирования технологическим процессом абсорбции при получении кальцинированной соды.

**Методы исследований.** В диссертационной работе использованы теория автоматического управления, теория интеллектуального управления, теория адаптивного управления, теория нейронных сетей и нечеткой логики, методы математического и имитационного моделирования, методы системного анализа, теория идентификации систем.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработана динамическая модель процесса абсорбции аммонизированного рассола на основе нейро-нечеткой технологии;

на базе метода разности площадей разработан быстродействующий алгоритм нечетко-логического вывода, обладающий адаптивным свойством;

разработан алгоритм обучения адаптивной нейро-нечеткой системы на основе мягких арифметических операций, использующий метод разности площадей;

синтезирована адаптивная многосвязная нейро-нечеткая система автоматического регулирования технологическими параметрами абсорбционной колонной в условиях априорной неопределенности.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

предложен качественно новый подход создания высокоэффективной интеллектуализированной системы управления технологических процессов химических производств, обеспечивающих минимизацию энерго- и ресурсозатраты при высоком качестве целевого продукта;

разработана функциональная схема системы управления процессом абсорбции, позволяющая расширить область применения интеллектуализированного управления сложными химическо-технологическими процессами с адаптивно-нечеткими регуляторами с возможностью адаптироваться к производственным ситуациям;

разработан программный комплекс системы имитационного моделирования процесса управления технологическими параметрами абсорбционной колонны, позволяющий анализировать и прогнозировать поведение объекта и принимать управленческие решения при различных производственных ситуациях.

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность результатов исследования обосновывается применением теоретически обоснованных концепций интеллектуального управления динамическими объектами на основе теории нечетких множеств, нейронных сетей; использованием апробированных методов современной теории управления, полученными результатами теоретических и прикладных исследований и их согласованностью.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость результатов исследования состоит в разработке общего подхода к построению гибридных моделей, построенные на базе нейро-нечеткой технологии рассматриваемого класса технологических объектов, для целей управления; в разработке непрерывно-дискретных наблюдателей состояния с адаптацией матрицы коррекции процесса наблюдения; конструктивных алгоритмов синтеза адаптивной нейро-нечеткой системы регулирования технологическими объектами, функционирующими в условиях информационной неопределенности, позволяющая эффективно решать задачи адаптивного управления динамическими объектами.

Практическая значимость исследования заключается в разработке математического и алгоритмического обеспечения, реализованного в виде программного комплекса, предназначенные для применения в составе существующих АСУТП, позволяющего прогнозировать поведение системы и принимать оптимальные управленческие решения. Разработанные алгоритмы могут быть применимы при построении системы адаптивного управления технологическими процессами с непрерывным производством.

**Внедрение результатов исследования.** На основе полученных результатов синтеза адаптивно-нечеткой системы управления процессом абсорбции при получении кальцинированной соды внедрены:

нейро-нечеткие модели и алгоритмы исследования адаптивной системы автоматического управления процессом абсорбции внедрены на ООО «Кунградском содовом заводе» (Справка АО «УЗКИМЁСАНОАТ» № 24-3199 от 4 августа 2020 года). В результате повышается качество аммонизации рассола, являющаяся основой кальцинированной соды;

алгоритмы синтеза нейро-сетевого регулятора системы управления с адаптацией к неопределенным возмущениям и свойства объекта внедрены на ООО «Кунградском содовом заводе» (Справка АО «УЗКИМЁСАНОАТ» № 24-3199 от 4 августа 2020 года). В результате обеспечена стабилизация режимов работы технологических агрегатов абсорбционной колонны;

алгоритмы восстановления неконтролируемых параметров процесса абсорбции по измеряемым выходным и управляющим параметрам, на основе нейро-нечетких моделей внедрены на ООО «Кунградском содовом заводе» (Справка АО «УЗКИМЁСАНОАТ» № 24-3199 от 4 августа 2020 года). В результате повышается эффективность определения параметров объекта и внешних возмущений.

**Апробация результатов исследования.** Результаты данного исследования были обсуждены на 5 международных и 2 республиканских научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликованы 17 научных работ. Из них 1 монография, 7 журнальных статей, в том числе 2 в иностранных, 7 в республиканских журналах, получены 2 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 112 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цели и задачи, выявлены объект и предмет исследования, определены 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 диссертации **«Системный анализ современного состояния проблемы управления процессом абсорбции при получении аммонизированного рассола»** проведен системный анализ современного состояния и тенденции развития разработок системы управления процессом абсорбции при получении аммонизированного рассола, результаты которого свидетельствуют об интенсивном развитии уже имеющихся видов систем управления и появление новых.

В настоящее время разработка алгоритмов управления процессом абсорбции осложнена целым набором существенных особенностей: наличие свойства нелинейности и неопределенности параметров объекта, многомерностью, наличием взаимосвязанных каналов передач, неопределенностью математической модели, доступностью для прямого изменения состояния, неконтролируемостью внешних возмущений и нестационарностью процесса, протекающего в абсорбере и д.р.

Решение задачи создания высокоэффективных систем управления сталкивается с некоторой трудностью, обусловленной сложностью используемых методов и синтеза подобных систем.

Многомерность объекта управления и взаимосвязанность каналов передач, и их воздействия, определяемые материальными и тепловыми потоками, усложняет задачу управления и ужесточает требования к соблюдению технологического режима.

Используемые в настоящее время локальные системы управления не всегда позволяют получить желаемый эффект вследствие того, что не учитывается их взаимное влияние и не согласованы реализуемые ими цели. Поэтому в последние годы основной тенденцией развития системы управления стала интеграция локальных системы управления, в которых функционирование отдельных подсистем согласуется и определяется, исходя из глобальной цели объекта управления, такие системы управления, обеспечивающие более быстрый рост эффективности за счет выбора наиболее оптимальных вариантов согласованного функционирования компонентов, повышение достоверности и степени использования информации, решение новых по функциям комплексов задач по оптимизации, и т.д. В связи с этим произведен системный анализ современного состояния и тенденции развития разработок системы управления производством, создана концептуальная модель процесса абсорбции, характеризующая пространственное распределение факторов взаимосвязи массо- и теплообменных процессов, являющееся основой определения структуры разрабатываемой системы управления.

В этих условиях, т.е. при дефиците и неопределенности информации, вопросы создания адаптивно-нечеткого управления и развития методов синтеза системы управления на основе гибридного применения методологии искусственного интеллекта и теории управления приобретает существенно важное значение.

Выше сказанное, обуславливает создание нейро-нечетких моделей и алгоритмов адаптивно-нечеткой системы управления с наблюдателем состояния и синтеза вычислительных схем и их практической реализации.

В соответствии с этим были сформулированы цели и задачи исследования в диссертационных исследованиях. Отмечено, что решение задачи создания системы адаптивного управления процессом абсорбции с применением нейро-нечеткими технологий является весьма перспективным направлением для исследований.

Вторая глава диссертации «Разработка математической модели и формализация уравнений состояний процесса абсорбции» посвящена разработке математической модели процесса абсорбции. В результате изучения физико-химических особенностей процесса абсорбции, протекающего в абсорбционной колонне при получении аммонизированного рассола, была разработана математическая модель процесса абсорбции на основе уравнений материального и теплового баланса с использованием аналитических методов, которая представлена в общем виде системой дифференциальных уравнений в частных производных в следующем виде:

$$\begin{aligned}\partial C_{a_2} / \partial t &= -v_{a_2}(\theta_{a_2}, P_{a_2})(\partial C_{a_2} / \partial z) - R_{a_2}[C_{a_2} - C_{a_2}^p(C_p)]; \\ \partial C_p / \partial t &= -v_p(\partial C_p / \partial z) + R_p[C_{a_2} - C_{a_2}^p(C_p)],\end{aligned}$$

где  $C_{a_2}$  и  $C_{ap}$  - концентрация аммиака в газе и жидкости;  $C_{a_2}^p(C_{ap})$  - равновесное содержание аммиака в газе в зависимости от содержания аммиака в жидкости;  $v_g, v_p$  - скорости газа и жидкости вдоль оси  $h$ ;  $\theta_g$  - рабочая температура газа,  $C$ ;  $P_g$  - рабочее давление газа, МПа;  $R_g, R_p$  - физико-технологические коэффициенты, зависящие от физических свойств газовой и жидкой фаз.

Следует отметить, что процесс, протекающий в абсорбционной колонне, имеет распределенный характер и не все параметры измеряемы. В работе для восстановления значения неизмеряемых координат состояния объекта предложен алгоритм, суть которого заключается в следующем: первоначально определяются необходимое число шагов дискретизации процесса на основе параметров объекта  $W(T)$  внешних воздействий  $f(T)$  и вектора управления  $u(T)$  по формуле:

$$W(T)y[kT] = W_H(T)y_H[kT] + W_H(T)y_H[kT],$$

где  $W_H(T)$  - подматрица с измеряемыми координатами,  $W_H(T)$  - подматрица с неизменяемыми координатами, получаемая исключением всех столбцов из общей матрицы  $W(T)$ , соответствующие номерам неизмеряемых координат.

Из этих двух матриц составляется обобщенная матрица

$$L_H = (W_H(T) - E_H), \quad (1)$$

где  $E_H$  - единичная матрица. Получим новую систему уравнений

$$\theta = L_H y_H,$$

где  $\theta$  и  $L_H$  - соответственно вектор и матрица, полученные исключением строк с нулевыми элементами. Решение системы уравнений (1) позволяет найти искомые значения неизмеряемых переменных.

Для оценки текущего значение вектора координат состояния объекта  $X(t)$  по непрерывным измерениям управляющих воздействий  $U(t)$  и данным контроля выхода  $Y(t)$ , полученным в дискретные моменты времени, построен непрерывно-дискретный наблюдатель состояния, определяемым по формуле

$$\begin{cases} \hat{X}'(t) = A_H \cdot \hat{X}(t) + B_H \cdot U(t) + K \cdot \Delta Y(t); \\ \hat{Y}(t) = C_H \cdot \hat{X}(t), \end{cases}$$

где  $A_n, B_n, K, C_n$  - матрицы состояния наблюдателя, управления, коррекции и выхода наблюдателя.

В наблюдателе коррекция состояния с использованием рассогласования  $\Delta Y(t)$ , определяемая в каждый момент времени между значениями выхода объекта и наблюдателя.

Так как значения управляемых величин объекта осуществляется с периодом дискретности  $T_n$ , то вектор  $\Delta Y(t)$  известен в момент измерения.

При этом подавая на вход наблюдателя корректирующие импульсы с длительностью  $\tau = \lambda T_n$ , где  $\tau$  - коэффициент усиления ИЭ, имеющее значительно меньше, чем период повторения  $T_n$  производится коррекция параметров наблюдателя:

$$\Delta Y(t) = \begin{cases} Y(t) - \hat{Y}(t) & \text{при } j \cdot T_n \leq t \leq j \cdot T_n + \tau, (j = 0, 1, 2, \dots); \\ 0 & \text{при } j \cdot T_n + \tau < t < (j + 1) \cdot T_n, (j = 0, 1, 2, \dots). \end{cases}$$

Коэффициент усиления  $\lambda$  импульсного элемента выбирается таким образом, чтобы обеспечивать устойчивость наблюдателя и необходимую скорость сходимости процесса адаптации. Такой подход позволяет рассматривать исследуемые системы как АИС, где ИЭ формирует короткие импульсные сигналы с длительностью  $\tau \ll T_n$

На основе сопоставления управляющих воздействий  $u(t)$  подаваемых на объект управления и математической модели объекта  $y(t)$  осуществляется оценка координат наблюдателя только в рассматриваемых интервалах времени  $T_n$ . При расхождении сигналов между оценкой координат и выходом математической модели, т.е.  $|y(t) - \hat{y}(t)|$  происходит срабатывание каналов коррекции, предназначенного для подачи корректирующих сигналов. Тем самым обеспечивается приближения координат состояния наблюдателя к математической модели объекта.

Устойчивость предложенной системы с наблюдателем обеспечивается выбором коэффициентов матрицы корректирующего канала. Так как рассматриваемая система дискретная, поэтому коэффициенты матрицы коррекции должны обеспечить размещение корней характеристического уравнения замкнутой системы внутри круга с единичным радиусом.

Адаптация наблюдателя к реальному объекту обеспечивается составлением двух наборов коэффициентов матрицы коррекции. К ориентировано работать в двух режимах:  $K_{пп}$  для переходного режима,  $K_{ур}$  для установившегося режима. При этом  $K_{пп}$  позволяет обеспечить быстрый переход к истинному значению координат объекта, а  $K_{ур}$  обеспечить нечувствительность к погрешностям измерений данных.

Переключение из  $K_{пп}$  к  $K_{ур}$  осуществляется по окончанию переходного режима. Для определения момента переключения матрицы коррекции  $K$  осуществляется сравнением значения рассогласования  $\Delta Y(t)$  определяемого в реальном режиме работы системы в дискретные моменты времени с заданным значением ошибки измерений  $\Delta$ .

В третьей главе диссертации «Разработка алгоритмов адаптивного управления процессом абсорбции на базе нейро-нечеткой технологии» приведены результаты разработки алгоритмов декомпозиции многосвязной системы управления, адаптации структуры и параметров нейро-фаззи сети, синтеза нечетко-логического вывода, синтеза адаптивно-нечеткого регулирования динамическим объектом с нелинейным свойством и обучения нейро-нечеткой системы на основе разности площадей.

Исследуемая система имеет многомерную многосвязную структуру, связность регулируемых переменных обуславливает некоторые трудности синтеза многомерных систем управления (МСАУ). Эти трудности связаны, прежде всего, с устранением взаимовлияния или с обеспечением необходимой связности каналов передач.

Задачи синтеза многосвязной структурно сложной динамической системы автоматического управления, связанные с определением структуры регулятора, с минимальной сложностью, а также передающие требуемые динамические свойства и устойчивость системы управления, возникают некоторые трудности, обусловленные наличием взаимовлиянием каналов передач. В работе для компенсации взаимовлияния каналов передач предложено использовать динамический декомпозиционный метод, основанный на использовании матричного исчисления.

Пусть динамический многомерный объект с одинаковым числом управлений и управляемых переменных представлен уравнениями в переменных состояниях

$$\dot{x} = Ax + Bu, y = Cx,$$

где  $x$  –  $n$  вектор состояния;  $u$  и  $y$  –  $q$ -векторы управлений и управляемых переменных;  $A, B, C$  – числовые матрицы соответствующих размерностей.

Передаточная матрица объекта имеет следующий вид:

$$W(p) = A^{-1}(p)C(p),$$

где  $A(p) = \det(pE - A)$  – характеристический полином объекта;  $C(p)$  –  $q \times q$  полиномиальная матрица. В этом случае используется декомпозирующая матрица вида

$$\Pi_{yu}(p) = A(p)adjW_{yu}(p),$$

здесь  $adj(*)$  – присоединенная матрица, обладающая свойством  $HadjH = E \det H$ .

В этом случае декомпозирующие свойства матрицы  $\Pi_{yu}(p)$  сохраняются за счет множителя  $adjW_{yu}(p)$ . Это следует из произведения матриц  $W_{yu}(p)$  и  $\tilde{\Pi}_{yu}(p)$ , которое имеет вид:

$$W_{yu}(p)\tilde{\Pi}_{yu}(p) = A_{\Omega}(p)E_q \det W_{yu}(p),$$

здесь матрица  $E_q$  –  $q \times q$  единичная матрица. При использовании декомпозирующей матрицы уравнение «вход-выход» многомерного устройства управления (МУУ) имеет следующий вид:

$$u(p) = A_{\Omega}(p)adjW_{yu}(p)R^{-1}(p)[Q(p)g - L(p)y(p)],$$

где  $R(p) = \text{diag}[R_1(p), R_2(p), \dots, R_q(p)]$ ,  $L(p) = \text{diag}[L_1(p), L_2(p), \dots, L_q(p)]$ ,  $Q(p)$  - произвольная  $q \times q$  матрица.

Уравнение «вход-выход» замкнутой системы управления объектом с передаточной матрицей и МУУ имеет вид:

$$y(p) = A_{\Omega}(p)W_{yu}(p)\text{adj}W_{yu}(p)R^{-1}(p)[Q(p)g(p) - L(p)y(p)],$$

или с учетом свойства присоединенной матрицы

$$y(p) = A_{\Omega}(p)\det W_{yu}(p)R^{-1}(p)[Q(p)g(p) - L(p)y(p)].$$

Тем самым обеспечивается автономность каналов передачи, для которых можно использовать традиционные стандартные методы синтеза многомерных устройств управления.

Предложен алгоритм построения на базе метода динамической декомпозиции, рассмотренный в данной работе, который позволяет аналитически синтезировать эффективную, физически реализуемую многомерную систему управления с заданными показателями качества в переходном режиме.

Для придания свойства адаптации модели к реальному нелинейному объекту предложено применение нейронной сети, имеющей свойства аппроксимации любых нелинейных функций с произвольной точностью.

В этом случае объект представляется в форме пространстве состояний

$$X(k+1) = AX(k) + Bf[u(k), u(k-1), \dots, u(k-m+1)];$$

$$y(k) = CX(k),$$

где  $f[\cdot]$  - гладкая нелинейная функция  $\frac{\partial f}{\partial u(k+1)} = 0; \frac{\partial f}{\partial u(k)} \neq 0$ .

На основе нейрофаззи сети разработан нелинейный аппроксиматор, обеспечивающий плавный переход от одной локальной модели к другой и исключающее повторное обучение.

Тогда на вход нейро-сети подаются опорные сигналы  $[y(k) \dots y(k-n_y+1), r(k-n_r+1)]$ . Выход сети представляет собой линейную комбинацию весов фаззифицированного входа. Разработка нейрофаззисовой сети включает в себя указание порядка одномерных функций, диапазона входных и выходных переменных и числа внутренних узлов нейронного веса нейрофаззи-сетей, определяющихся на основе наблюдателя.

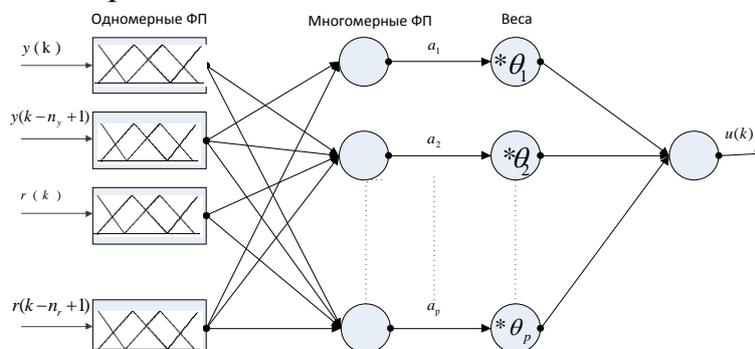


Рис.1. Нелинейная нейросетевая сеть (аппроксиматор)

Обучение нейрофаззи-сети включает в себя настройку важности нечеткого правила или весов сети. Веса в сети в процессе обучения могут быть скорректированы следующим образом:

$$\theta_i(k+1) = \theta_i(k) - g \frac{\partial J}{\partial \theta_i} = \theta_i(k) - g e \frac{\partial e}{\partial \theta_i}, \text{ for } i = 1, 2, \dots, p,$$

где  $\frac{\partial e}{\partial \theta_i} = \frac{\partial y}{\partial \theta_i} = \frac{\partial y}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial \theta_i} = \frac{\partial y}{\partial u} a_i(x)$ .

Известно, что число заключений нечетко-логического вывода в процессе обучения нейронных сетей растет в геометрической прогрессии в зависимости от входных переменных и от числа термов.

Предложен нелинейный аппроксиматор, построенный на базе нелинейной нейро-фаззи сети, обеспечивающий повышение производительности сети за счет исключения пустых решений и нулевых участков, тем самым обеспечивающей высокое быстродействие системы управления (рис.4).

Следует заметить, что с увеличением количества контролируемых параметров, быстродействие системы управления с нейро-нечетким регулятором за счет перебора всевозможных, в том числе пустых решений у термов входных переменных, а также учета нулевых участков при выработке управляющих сигналов, снижается. Для обеспечения высокого быстродействия системы управления в работе предлагается применение универсальных аппроксиматоров, представленных в виде многомерных нелинейных функций - адаптивных моделей нечеткого логического вывода и адаптивных нейронно-нечетких сетей. Параметры адаптивных моделей обоих типов настраиваются путем их оптимизации в смысле некоторого критерия, формируемого по данным из обучающей выборки. Структурная схема предложенного алгоритма нечетко-логического вывода позволяет устранять появления пустых решений и нулевых участков (рис. 2).

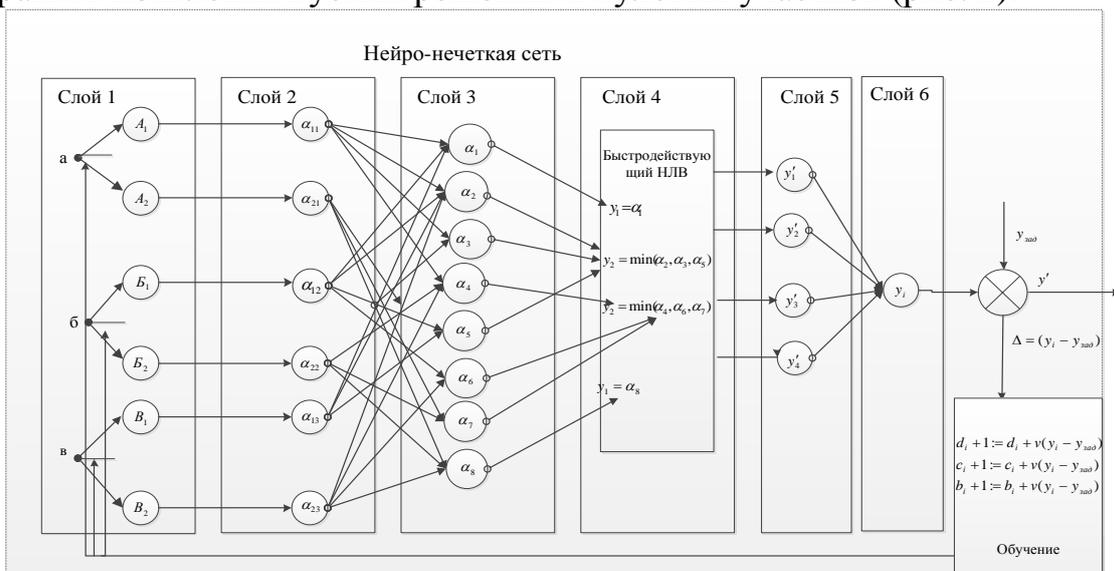


Рис. 2. Структурная схема нейро-нечеткой сети на основе быстродействующего алгоритма нечетко логического вывода

Таким образом, предлагаемая структурно-параметрическая адаптация в задачах управления технологическим оборудованием позволяет уменьшить количество итераций в процессе обучения алгоритма нечетко-логического вывода, ускорить процесс обучения системы за счет быстродействующего алгоритма нечетко-логического вывода, уменьшить погрешность результатов обучения нейро-нечеткой сети с 8 до 1%.

Наряду с уменьшением вычислительной сложности и, как следствие, упрощением программной реализации, данный подход обеспечивает ряд дополнительных преимуществ, таких как работоспособность в условиях неполноты исходной информации, возможность разработки макета моделируемой системы с последующей ее настройкой.

Для обучения нелинейной нейро-фаззи сети предложено использовать мягкие арифметические операции нахождения минимума и максимума, основанные на применении метода разности площадей, которые вычисляются по формуле

$$\text{soft} - \min_{\delta}(x_1, x_2) = \frac{x_1 + x_2 + \delta^2 + \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + \delta^2}}{2};$$

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

где  $\gamma = 0,9$ ,  $\delta$  – шаг обучения нейро-нечеткой системы вывода.

При этом оценки нейро- фаззи сети сводится к поиску такого решения, при котором среднеквадратическое отклонение:

$$RMSE = \frac{1}{M} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{\text{экс}} - y_{\text{defuz}})^2} \rightarrow \min,$$

где  $y_{\text{экс}}$  – множество обучаемых данных;  $M\gamma = 0,9$  – количество точек в обучаемой выборке. Для дефаззификации выходного результата использован метод разности площадей, основанный на определении площади термов функции принадлежности (ФП). Операция усечения термов выходной ФП осуществляется по формуле:

$$\mu(y)_i' = \text{soft} - \min(y_i'; \mu(y_i)).$$

Затем определяется отношение общей площади к площади усеченной фигуры:

$$S_{\text{усеч}} = \sum_{i=1}^n S_i.$$

И пропорциональное отношение:  $D = \frac{S_{\text{усеч}}}{S_{\text{общ}}}$ .

На основе этих арифметических операций формируется матрица нечетких отношений и нечеткая база правил.

Табл. 1. Нечеткая база знаний

НП	Если		То	НП	Если		То	НП	Если		То
НП <sub>1</sub>	x <sub>11</sub>	x <sub>21</sub>	y <sub>5</sub>	НП <sub>4</sub>	x <sub>11</sub>	x <sub>21</sub>	y <sub>4</sub>	НП <sub>4</sub>	x <sub>11</sub>	x <sub>21</sub>	y <sub>3</sub>
НП <sub>2</sub>	x <sub>11</sub>	x <sub>22</sub>	y <sub>4</sub>	НП <sub>5</sub>	x <sub>11</sub>	x <sub>22</sub>	y <sub>3</sub>	НП <sub>5</sub>	x <sub>11</sub>	x <sub>22</sub>	y <sub>2</sub>
НП <sub>3</sub>	x <sub>11</sub>	x <sub>23</sub>	y <sub>3</sub>	НП <sub>6</sub>	x <sub>11</sub>	x <sub>23</sub>	y <sub>2</sub>	НП <sub>6</sub>	x <sub>11</sub>	x <sub>23</sub>	y <sub>1</sub>

В четвертой главе «Синтез адаптивно-нечеткой системы управления технологическими параметрами абсорбционной колонны» приведены результаты применения разработанных адаптивно-нечетких моделей и алгоритмов для решения задачи синтеза с наиболее существенными технологическими параметрами абсорбционной колонны, таких как температура, давление, расход слабого аммонизированного рассола.

Разработан алгоритм синтеза адаптивно-нечеткого регулятора, учитывающий действия неизмеряемых возмущений и неполноты информации о состоянии процесса абсорбции. Так как в качестве управляющего устройства используется микроконтроллер, то динамика процесса (ОУ) описывается дискретной передаточной функцией вида

$$W_{OY}(z) = \frac{\Delta Y(z)}{\Delta U(z)} = \frac{a_0 z^{-m} + \dots + a_{m-1} z^{-1} + a_m}{b_0 z^{-n} + \dots + b_{n-1} z^{-1} + b_n}.$$

Тогда дискретная передаточная функция нейронной сети имеет вид

$$W_{HC}(z) = \frac{\Delta U(z)}{\Delta V(z)} = \frac{c_0 z^{-p} + \dots + c_{p-1} z^{-1} + c_p}{d_0 z^{-q} + \dots + d_{q-1} z^{-1} + d_q}.$$

Точность синтезированной системы, обеспечивающая включения в контур управления интеграторов. Тогда дискретное изображение по Лапласу координат представляется следующим образом

$$V_i(z) = \frac{T_0}{1 - z^{-1}} E_i(z), (i = 1, 2, \dots, N).$$

Для синтеза системы управления определяется количество нелинейных алгебраических уравнений, число настраиваемых весов нейро-сети определяется по формуле

$$(KY) = RL = R \max \left\{ N + n + \sum_{i=1}^N q_i; N - 1 + m_{ij} + p_j \right\},$$

$$(KII) = \left[ 2N + \sum_{i=1}^N (p_i + q_i) \right] \cdot \sigma.$$

На основе этих данных составляется система неравенств вида:

$$(2N + \sum_{i=1}^N p_i) \sigma + (\sigma - R) \sum_{i=1}^N q_i \geq R(N + n);$$

$$\left[ 2N + \sum_{i=1}^N (p_i + q_i) \right] \sigma - R p_j \geq R(N - 1 + m_{ij}), (i, j = 1, 2, \dots, N).$$

Решение системы неравенств позволяет определить структуру многосвязного нейро-сетевого регулятора, а настройка его параметров осуществляется с помощью алгоритма обучения нейронной сети методом разности площадей. Структурная схема синтезированной адаптивно-нечеткой системы регулирования процессом абсорбции представлена на рис.3.

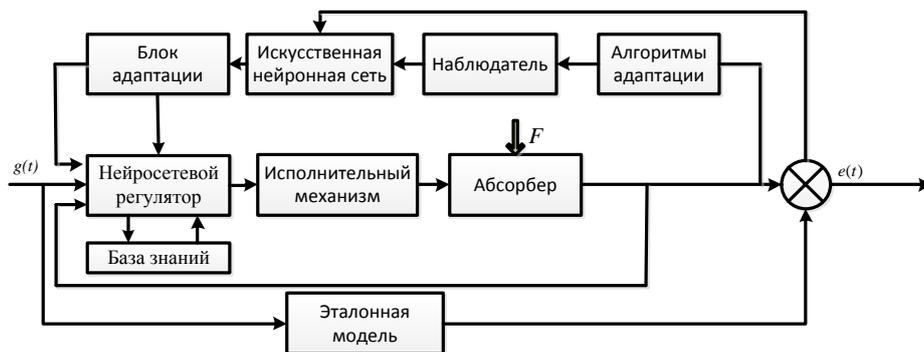


Рис. 3. Адаптивно-нечеткая система управления процессом абсорбции

На основе разработанных моделей и алгоритмов адаптивно-нечеткого управления процессом абсорбции в условиях параметрических неопределенностей и нелинейных динамических свойств абсорбционной колонны создана система имитационного моделирования автоматизированного технологического комплекса. Эта система программно реализована в среде Matlab в виде программного комплекса, который предназначен для проведения вычислительных экспериментов с целью определения рациональных режимов работы технологических агрегатов.

Для оценки эффективности разработанных нейро-нечетких моделей и алгоритмов адаптивного управления температурой аммонизированного рассола построена имитационная модель нечеткой системы регулирования температуры абсорбера в среде Matlab(рис.4) и проведен ряд вычислительных экспериментов при наличии внешних и параметрических возмущающих воздействий.

При вычислительном эксперименте в среде SimulinkMatlab рассматривалось скачкообразное изменение расхода охлаждающей воды, изменяя коэффициент адаптации. На основе имитационного эксперимента определен наилучший коэффициент обучения адаптации, равный  $\gamma = 0,5$ .

Произведен сравнительный анализ результатов имитационного эксперимента со стандартной традиционной адаптивной системой с эталонной моделью с постоянным коэффициентом адаптации и разработанной адаптивно-нечеткой системы регулирования с обучаемой нейро-фаззи сети. На рис. 6 показан графики переходных процессов полученные в результате имитационного эксперимента.

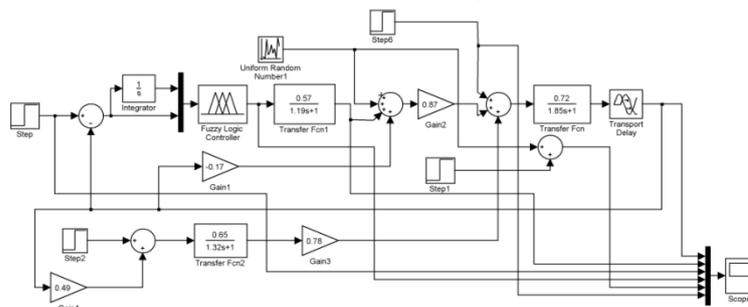


Рис. 4. Имитационная модель адаптивно нечеткой системы управления температурным режимом абсорбционной колонной функции.

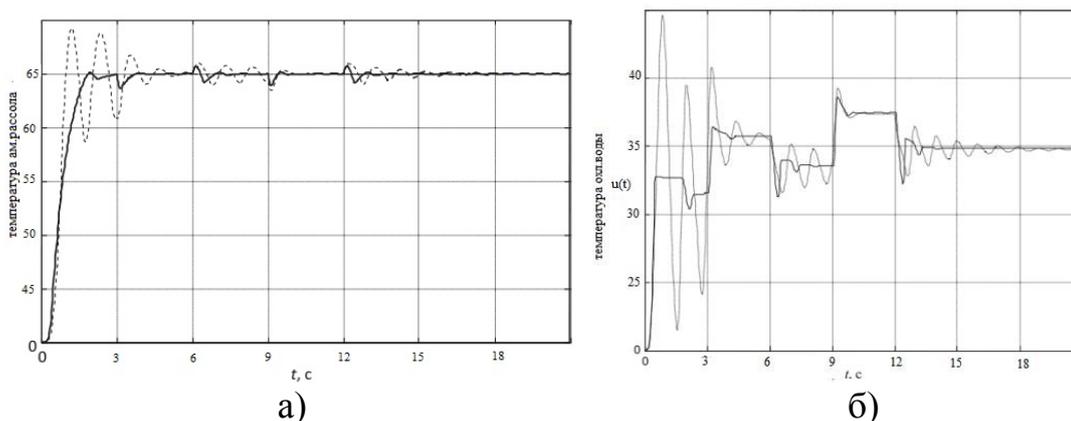


Рис.5 Переходные процессы а) и графики сигнала управления б) адаптивной системы управления

В результате реализации данной системы отклонение концентрации аммонизированного рассола от ее номинального значения снизилось на 9,9%, производительность повысилась на 8-9%, что позволит существенно повысить технико-экономические показатели производства. Акты о внедрении приведены в Приложении.

Результаты вычислительных экспериментов показывают, что нейросетевой регулятор придает всей системе автоматического регулирования способность поддерживать на заданном уровне, при наличии внешних возмущающих воздействий, не только технологический параметр (температура аммонизированного рассола), но и дает возможность качественно управлять технологическим процессом абсорбции при широком диапазоне изменения его параметров во времени.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основе методов системного анализа теории автоматического и интеллектуального управления разработаны алгоритмы синтеза адаптивно-нечеткой системы управления процессом абсорбции при получении кальцинированной соды. В итоге получены следующие научные результаты:

1. На основе системного анализа технологических и физико-химических свойств процесса абсорбции аммонизированного рассола разработана концептуальная модель тепломассообменного процесса абсорбции в абсорбционной колонне. Это позволяет выбирать перспективный вариант построения адаптивной системы управления процессом абсорбции.

2. Разработана многосвязная динамическая математическая модель процесса абсорбции аммонизированного рассола, с учетом неопределенности физико-химических свойств процесса. Модель позволяет проанализировать поведение объекта при различных технологических режимах и определить оптимальные технологические режимные параметры агрегатов абсорбционной колонны.

3. Разработан непрерывно-дискретный наблюдатель состояния для оценки динамического состояния объекта и восстановления неизмеряемых координат системы. Значения оценок ненаблюдаемых координат вектора состояния объекта позволяет разработать более совершенные быстродействующие нейро-сетевые регуляторы.

4. Предложен алгоритм декомпозиции многосвязной системой управления динамическим объектом, на основе метода динамической декомпозирующей матрицы. Данный алгоритм позволяет обеспечить автономность каналов передач и тем самым эффективно решить задачу синтеза многосвязной адаптивной системы управления.

5. Разработан алгоритм параметрической адаптации наблюдателя состояния с недоступным прямым измерениям переменных, основанный на использовании корректирующего импульса при функционировании объекта в реальном времени.

6. На основе нейро-фаззи сети разработан алгоритм нелинейной аппроксимации многомерных нелинейных функций, интерпретирующийся как сеть, состоящая из серии линейных моделей для различных рабочих точек нелинейной системы. Предложенный алгоритм позволяет уменьшить отклонения концентрации от регламентированного с 8 до 1% .

7. Разработан алгоритм обучения адаптивной нейро-нечеткой системы, использующий мягкие арифметические операции нахождения максимума и минимума, основанный на методе разности площадей. Алгоритм позволяет увеличить быстродействие процесса обучения за счет исключения пустых решений и нулевых участков.

8. На основе разработанных вычислительных процедур исследования системы управления динамическим объектом синтезирована адаптивная многосвязная нейро-нечеткая система автоматического регулирования технологическими параметрами абсорбционной колонной. В результате реализации данной системы отклонение концентрации аммонизированного рассола от ее номинального значения снизилось на 9,9%, производительность повысилась на 8-9%, что позволит существенно повысить технико-экономические показатели производства.

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

---

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

**YADGAROVA DILNOZA BAXTIYAROVNA**

**ADAPTIVE-FUZZY SYSTEM FOR REGULATING THE  
TECHNOLOGICAL ABSORPTION PROCESS IN PRODUCING  
SALCINATED SODA**

**05.01.08 - Automation and control of technological processes and manufactures**

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

**Tashkent – 2020**

**The theme of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2018.2.PhD/T746.**

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](http://www.tdtu.uz)) and Information and Educational Portal «Ziyonet» ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Scientific adviser:** **Siddikov Isamiddin Xakimovich**  
doctor of technical sciences, professor

**Official opponents:** **Yusupbekov Azizbek Nodirbekovich**  
doctor of technical sciences, professor

**Sapaev Mamatkarim**  
candidate of technical sciences, associate professor

**Leading organization:** **Tashkent chemical-technological institute**

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

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

Abstract of dissertation sent out on «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 year.  
(mailing report № \_\_\_\_, on «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 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,  
PhD in technical sciences

**H.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 an adaptive-fuzzy system for regulating the absorption process when obtaining soda ash using intelligent control methods.

**The object of the research work** are the models and algorithms for the study of an adaptive fuzzy system for regulating the technological process of absorption when obtaining soda ash.

**Scientific novelty of the research work is as follows:**

dynamic model of the absorption process of ammonized brine based on neuro-fuzzy technology has been developed;

based on the area difference method a high-speed fuzzy inference algorithm has been developed, which has an adaptive property;

algorithm for learning an adaptive neuro-fuzzy system based on soft arithmetic operations has been developed using the area difference method;

adaptive multi-connected neuro-fuzzy system for automatic regulation of technological parameters of an absorption column under conditions of a priori uncertainty has been synthesized.

**Implementation of the research results.** Based on the obtained results of the synthesis of an adaptive-fuzzy system for controlling the absorption process when obtaining soda ash, the following are introduced:

neuro-fuzzy models and research algorithms for an adaptive system for automatic control of the absorption process have been introduced at “Kungrad Soda Plant” LLC (Reference JSC “Uzkimyosanoat” № 24-3199 of 4 avgust 2020). As a result, the quality of brine ammonization, which is the basis of soda ash, is improved;

synthesis algorithms for the neuro-network controller of the control system with adaptation to an uncertain disturbance and the properties of the object were introduced at “Kungrad Soda Plant” LLC (Reference JSC “Uzkimyosanoat” № 24-3199 4 avgust 2020). As a result, the stabilization of the operating modes of the technological units of the absorption column was ensured;

algorithms for recovering uncontrolled parameters of the absorption process by measured output and control parameters, based on neuro-fuzzy models, have been implemented at “Kungrad Soda Plant” LLC (Reference JSC “Uzkimyosanoat” № 24-3199 4 avgust 2020). As a result, the accuracy of determining the parameters of the object and external disturbances is increased.

**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 111 pages of type written text.

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

**I бўлим (Часть I; Part I)**

1. Сиддиков И.Х., Утелиев Н.У., Ядгарова Д.Б., Якубова Н.С., Мамбетов А.Б. Интеллектуализация процессов управления динамическим объектом на базе нейро-нечеткой технологии (монография). – Ташкент: Изд-во Алокачи, 2019. -108 с.

2. Uteuliev N.U.,Yadgarova D.B., Yakubova N.S., Usmanov K.I. System of adaptive control of technological parameters of production of soda // Chemical Technology.Control and Management. Tashkent, 2018. Vol.1, No.4. -P. 181-185. (05.00.00, №12)

3. Сиддиков И.Х., Ядгарова Д.Б., Бахриева Х.А. Синтез моделирующих алгоритмов управления многоуровневых динамических объектов // Вестник ТУИТ. Ташкент, 2018. №1(45). -С.89-94. (05.00.00, №31)

4. Сиддиков И.Х., Ядгарова Д.Б., Бахриева Х.А. Нейро-нечеткая адаптивная система управления динамическим объектом // Проблемы энерго и ресурсосбережения. Ташкент, 2018. №1-2. -С. 281-284. (05.00.00, №21)

5. Siddikov I.H., Yadgarova D.B. Development of High-Speed Algorithm of Neuro-Logical Conclusion // Technical science and innovation. –Ташкент, 2019. – №2. -PP. 154-161. (05.00.00, №16)

6. Yadgarova D.B. Algorithm for Determining Unmeasured Coordinates During the Absorption of Ammoniated Brine // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, India, 2019. Vol. 6, Issue 10. – PP.11071-11075. (05.00.00, №8)

7. Siddikov I.X., Umurzakova D.M., Yadgarova D.B. Structural-Parametric Synthesis of an Adaptive Fuzzy-Logical System // Universal Journal of Electrical and Engineering, 2020, Vol.7, No2.-pp.94-102. DOI: 10.13189/ujeee.2020.070204.

8. Сиддиков И.Х., Искандаров З.Э., Ядгарова Д.Б. Динамический декомпозиционный метод синтеза системы автоматического управления многомерным объектом // Chemical Technology. Control and Management. Tashkent, 2020, №1(91), -pp.40-45. (05.00.00, №12)

**II бўлим (Часть II; PartII)**

9. Ядгарова Д.Б. Синтез быстродействующего алгоритма нечетко-логического регулятора / Международный научно-практический журнал «Глобальная наука и инновации 2019: Центральная Азия».2019. № 2-3.- С.63-65.

10. Сиддиков И.Х., Ядгарова Д.Б., Мамасодикова Н.Ю. Нечетко-логическая система регулирования процессом получения аммонизированного рассола / IV Международная научная конференция «Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниковых микро- и наноструктурах», 25мая 2018 года. -Фергана.. - С. 80-87.

11. Сиддиков И.Х., Ядгарова Д.Б., Усманов К.И., Измайлова Р.Н. Адаптивно-нечеткая система управления процессом абсорбции при получении кальцинированной соды / Международная научно-практическая конференция «Проблемы повышения эффективности работы современного производства и энерго-ресурсосбережения». – Андижан, 2018. - С. 498-503.

12. Сиддиков И.Х., Усманов К.И., Якубова Н.С., Ядгарова Д.Б. Разработка нечетко-логического регулирования процесса аммонизации рассола / I Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы внедрения инновационной техники и технологий на предприятиях по производству строительных материалов, химической промышленности и в смежных отраслях», 24-25 мая 2019 года. – Фергана, 2019. - С. 327-330.

13. Сиддиков И.Х., Ядгарова Д.Б., Умурзакова Д.М., Бахриева Х.А. Микроконтроллерное управление технологическими параметрами динамических объектов непрерывного характера в реальном времени / Агентство по интеллектуальной собственности РУз Свидетельство №DGU 06876 от 26.06.2019.

14. Искандаров З.Э., Ядгарова Д.Б. Формализованное описание процесса абсорбции при получении кальцинированной соды / Республика илмий-амалий анжуман материаллари туплами «Кимё, озик-овқа ва кимёвий технологияларни такомиллаштиришда инновацион ғоялар». – Наманган, 2019 - С. 172-175.

15. Искандаров З.Э., Ядгарова Д.Б. Имитационное моделирование адаптивной системы управления процессом абсорбции / Республика илмий-амалий анжуман материаллари туплами «Озик-овқат ва мақсулотлари хавсизлиги, ресурс, энергия тежамкор, инновацион технологиялар самарадорлиги». – Наманган, 2019 - С. 186-188.

16. Умурзакова Д.М., Ядгарова Д.Б. Моделирование автоматической системы регулирования с пид-регулятором / Международная научно-практическая онлайн конференция “Перспективы применения инновационных идей и современных информационных технологий в управлении, образовании и науке”. – Самарканд, 2020 – С.133-137.

17. Сиддиков И.Х., Файзиев Ш.И., Искандаров З.Э., Ядгарова Д.Б., Умурзакова Д.М. Автоматизация процесса управления параметрами технологических агрегатов непрерывных производств / Агентство по интеллектуальной собственности РУз Свидетельство №DGU 07958 от 11.02.2020.

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