

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

НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ИНСТИТУТИ

САТТАРОВ ОЛИМ УСМОНҚУЛОВИЧ

**НООРГАНИК МОДДАЛАРНИ ИШЛАБ ЧИҚАРИШДАГИ МУРАККАБ
ТЕХНОЛОГИК ЖАРАЁНЛАРИНИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛ БОШҚАРИШ
ТИЗИМЛАРИНИ СИНТЕЗ ҚИЛИШ УСУЛЛАРИ**

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

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

Тошкент – 2021

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Саттаров Олим Усмонкулович

Ноорганик моддаларни ишлаб чиқаришдаги мураккаб технологик
жараёнларини интеллектуал бошқариш тизимларини синтез қилиш
усуллари..... 3

Саттаров Олим Усмонкулович

Методы синтеза систем интеллектуального управления сложными
технологическими процессами производства неорганических веществ21

Sattarov Olim Usmankulovich

Methods for the synthesis of intelligent control systems for complex technological
processes in the production of inorganic substances39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works42

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

НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ИНСТИТУТИ

САТТАРОВ ОЛИМ УСМОНҚУЛОВИЧ

**НООРГАНИК МОДДАЛАРНИ ИШЛАБ ЧИҚАРИШДАГИ МУРАККАБ
ТЕХНОЛОГИК ЖАРАЁНЛАРИНИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛ БОШҚАРИШ
ТИЗИМЛАРИНИ СИНТЕЗ ҚИЛИШ УСУЛЛАРИ**

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

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

Тошкент– 2021

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2020.4.PhD/T1952 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Навоий давлат кончилиқ институтида бажарилган.

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

Илмий раҳбар:

Юсупбеков Нодирбек Рустамбекович
техника фанлари доктори, профессор, академик

Расмий оппонентлар:

Исмаилов Мирхалил Агзамович
техника фанлари доктори, профессор

Искандаров Зоҳид Эргашбаевич
техника фанлари бўйича фалсафа доктори

Етакчи ташкилот:

“Химавтоматика” МЧЖ

Диссертация химояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.03/30.12.2019.T.03.02 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил «19» 06 соат 12⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (+99871) 246-46-00; факс: (+99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@edu.uz).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (24 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (+99871) 246-03-41.)

Диссертация автореферати 2021 йил «04» 06 куни тарқатилди.
(2021 йил «24» 06 даги 4 - рақамли реестр баённомаси).



Ф.Т.Адилов

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

У.Ф.Мамиров

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

Х.З.Игамбердиев

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

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда ноорганик минерал ўғитлар ишлаб чиқаришда ноорганик моддаларнинг хусусиятлари, уларда кечадиган мураккаб реакциялар ва ушбу жараёнларни бошқаришдаги ноаниқликларни эътиборга олиб, мураккаб технологик жараёнларни бошқаришдаги хавфсизлик таъминларини таъминлаш, аниқликни ошириш мақсадида интеллектуал бошқариш тизимларини синтез қилишнинг самарали усулларини ишлаб чиқиш устида олиб борилаётган кенг қамровли изланишлар мавзунинг долзарблигини кўрсатмоқда. Бу борада юқори аниқликка, тезкорликка ва самарадорликка эга бўлган бошқариш тизимларини ишлаб чиқиш учун жараённинг кириш факторлари ноаниқ бўлган шароитларда интеллектуал бошқариш усулларини қўллаш муҳим аҳамият касб этмоқда.

Ҳозирги вақтда жаҳонда ноорганик моддалар ишлаб чиқариш жараёнларини бошқариш самарадорлигини ошириш орқали маҳсулот сифатини яхшилашга қаратилган илмий ишланмалар, жумладан сунъий нейрон тармоқли технологиялардан фойдаланиб бошқариш тизимларини ишлаб чиқиш бўйича кенг қўламда илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Шу билан бир қаторда ноорганик моддалар ишлаб чиқариш жараёнларидаги асосий технологик параметрларни ростлаш аниқлигини ошириш имконини берадиган автоматлаштирилган бошқариш тизимлари таркибидаги ростлагичларни нейрон тармоқли технологиялар асосида яратиш муҳим аҳамият касб этмоқда. Бу борада республика кимё саноатида экологик тоза, сифатли ноорганик минерал ўғитлар ишлаб чиқаришни кенгайтириш орқали экспорт салоҳиятини оширувчи, ресурстежамкорликни таъминловчи автоматлаштирилган бошқариш тизимларига сунъий интеллект усулларини қўллаш масалаларига алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Республикада минерал ўғитлар ишлаб чиқариш билан боғлиқ бўлган автоматлаштирилган бошқариш тизими, ва унинг таркибидаги ростлагичларни такомиллаштириш, уларни нейрон тармоқ технологиялари асосида ишлаб чиқиш бўйича қатор чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг Ҳаракатлар стратегиясида «... иқтисодиётнинг энергия ва ресурс сарфини қисқартириш, ишлаб чиқаришга энергия тежамкор технологияларни жорий этиш, иқтисодиёт тармоқларидаги меҳнат унумдорлигини ошириш»¹ каби вазифалар белгилаб берилган. Ушбу вазифаларни амалга ошириш, ҳамда мураккаб технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришларни интеллектуал бошқариш тизимларини синтезлаш усулларини такомиллаштириш асосий вазифалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2018 йил 27 апрелдаги ПФ-3682-сон «Инновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳаларни амалий

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

жорий қилиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида», 2018 йил 7 майдаги ПФ-3698-сон «Иқтисодиёт тармоқлари ва соҳаларига инновацияларни жорий этиш механизмларини такомиллаштириш бўйича қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида»ги фармонлари, 2018 йил 21 сентябрдаги ПҚ-5544-сон «2019-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини инновацион ривожлантириш стратегиясини тасдиқлаш тўғрисида»ги Қарори ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялари ривожланишининг II. “Энергетика, энергия ва ресурс тежамкорлик” ҳамда VII. “Кимёвий технологиялар ва нанотехнологиялар” устувор йўналиши доираларида бажарилган.

Муоммонинг ўрганилганлик даражаси. Жаҳонда ноорганик моддаларни ишлаб чиқариш жараёнларини бошқариш тизимларини синтез қилишдаги аниқлик даражасини ошириш масалаларини ечишга оид тадқиқотларни хорижлик олимлардан А.И. Бояринов, Р.А.Алиев, А.И.Галушкин, В.В.Кафаров, В.А.Кривоносов, А.С. Егоркин, И.В. Соболева, Г.Н. Семенов ва бошқалар олиб боришган. Ю.А.Браммер, И.Н.Пашук, Р.Калман, П.Фалб, М.Арбиб, В.В.Тютиков, Д.А.Смирнов, В.И.Комашинский ва бошқалар динамик тизимларнинг ҳолат кузатувчилари ва ростлагичларини яратиш бўйича тадқиқотлар олиб борган.

Кимёвий жараёнларни автоматлаштиришда генетик алгоритмлар, ноқатъий мантиқ усуллари, адаптив бошқариш усуллари ишлаб чиқаришга Ўзбекистонлик олимлардан Н.Р.Юсупбеков, М.М.Камилов, Т.Ф.Бекмуратов, Х.З.Игамбердиев, А.А.Гафуров, Ф.А.Туляганов, Р.Х.Аюпов, Ш.М. Гулямов, Д.П. Мухитдинов, М.А. Исмаилов, И.Х. Сиддиқов, О.О.Зарипов ва бошқалар ўзларининг ҳиссаларини қўшишган. Уларнинг тадқиқотларида минерал форфор кислотасини экстракциялаш жараёнини бошқариш усуллари ва алгоритмларини такомиллаштириш каби масалалар ўрганилган.

Юқоридаги олимларнинг илмий ишланмаларида ноорганик моддалар ишлаб чиқаришидаги мавжуд технологик жараёнларни автоматлаштирилган бошқариш тизимлари таркибида интеллектуал нейрон тармоқли тизимларни амалий қўлланилиш муаммолари етарлича очиб берилмаган бўлиб, чизикли ростлагичларни нейрон тармоқли ростлагичларга алмаштириш услубиятларининг ишланмалари акс эттирилмаган, шунингдек, тавсифлари кутилмаган тарзда ўзгарувчи динамик объектларни бошқариш алгоритмларини ишлаб чиқишга етарли даражада эътибор қаратилган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Навоий давлат кончилиқ институти илмий-тадқиқот ишлари режаларининг №БВ-Атех-2018-516 «Моделлаштириш асосида машина ва жиҳозларнинг ҳолатларини зарар етказмасдан назорат қилиш усуллари ва математик моделларини тадқиқ этиш ва ишлаб чиқиш»

(2018-2020) мавзусидаги илмий лойиҳа доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади ноорганик моддалар ишлаб чиқаришнинг мураккаб технологик жараёнларини интеллектуал бошқариш тизимларини синтезлаш усулларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

фосфор кислотаси ишлаб чиқаришнинг модели асосида ностационар объектларни бошқаришнинг тизимларини яратиш;

ностационар объектнинг нейрон тармоқли динамик моделини ишлаб чиқиш;

анъанавий чизикли ростлагичларни нейрон тармоқли ростлагичга алмаштириш имконини берадиган услубни асослаш;

алоқаларни ўртача квадратик оғиши мезони асосида нейроростлагични синтезлаш усулини ишлаб чиқиш;

тавсифлари кутилмаган тарзда ўзгарувчан ностационар объектларни нейрон тармоқ асосда бошқариш алгоритминини яратиш;

азот кислотаси ишлаб чиқариш жараёни учун такомиллаштирилган бошқариш тизимини саноатда қўллаш.

Тадқиқотнинг объекти кўп алоқали ностационар динамик объектлар сифатида олинган фосфор ва азот кислоталари ишлаб чиқаришнинг технологик жараёнлари ва уларни бошқариш тизимлари ҳисобланади.

Тадқиқотнинг предмети кўп алоқали объектларни бошқариш ва шакллантириш, қонуниятларнинг тавсифларини янада аниқлаштириш имконини берувчи нейрон тармоқли мантиқ қоидалари асосида бошқариш қонунларини ишлаб чиқиш билан боғлиқ муаммолар ҳисобланади.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертация ишида аналитик моделлаштириш, нейронли тармоқларни қуриш, сунъий нейрон тармоқни ўргатиш, нейрон тармоқли ростлагични оптимал созлаш, ноаниқлик шароитларида кўп алоқали бошқариш тизимларини синтезлаш усулларида фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

империк-статистик тажрибалар асосида фосфат кислотани экстракциялаш жараёнининг мавжуд қонуниятларини янада тўлиқроқ акс эттириш имконини берадиган ушбу жараённинг асосий кириш ва чиқиш ўзгарувчилари ўртасидаги боғлиқлик аниқланган;

компонентларнинг реакторда кимёвий жараён учун кетадиган вақтга боғлиқлик даражасига кўра ноорганик моддаларни концентрацияларининг ўзгариш қонуниятлари аниқланган ва улар асосида реагентларнинг массавий сарфини аниқлаш имкони яратилган;

дастлабки ПИД-ростлагичга монандликни белгилаб берувчи омилларни аниқлаш, оптимал ўқитиш танланмаларини шакллантириш орқали нейрон тармоқли ростлагичларни лойиҳалаш алгоритмлари ишлаб чиқилган;

фосфор кислотасини экстракциялаш жараёнини бошқаришга мўлжалланган нейронли ростлагичга эга бўлган кўп поғонали бошқариш тизими фарқ сигнали бўйича адаптациялаш алгоритми асосида ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

фосфор кислотани экстракциялаш технологик жараёнининг интеллектуал бошқариш тизимини функционал схемаси ишлаб чиқилган;

ноорганик моддалар технологик жараёнидаги компонентларнинг реакторда бўлиш вақтига кўра концентрацияларнинг ўзгаришларини аниқлаш имконини берувчи дастурий таъминот ишлаб чиқилган;

нейрон тармоқли ростлагич асосида мураккаб технологик жараёнларни бошқаришнинг интеллектуал тизими ишлаб чиқилган;

мураккаб динамик объектларни бошқариш учун нейрон тармоқли бошқариш алгоритми ишлаб чиқилган;

ноорганик моддалар асосий параметрларни ростлаш тизими учун нейрон тармоқли ростлагични модели Borland дастурлаш муҳитида ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги назарий асосланган концепциялар, математик ҳамда компьютерли моделлаштириш усуллари ва назарий, тажрибавий тадқиқотларнинг натижалари, шунингдек имитацион моделлаштириш натижаларини мувофиқлиги ҳамда амалий дастурлашнинг замонавий пакетларидан фойдаланилганлиги билан асосланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти узлуксиз бошқариладиган технологик жараёнларни идентификациялашнинг нейрон тармоқларига асосланган усуллари ва математик моделлар асосида ҳисоблаш тажрибаларини ривожлантириш ҳамда анъанавий ростлагичларни нейрон тармоқли ростлагичларга алмаштириш усуллари асослаш ва улар асосида кўп алоқали динамик объектларни интеллектуал бошқариш тизимларини такомиллаштириш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти Borland иловаси ёрдамида силликлантириш масаласини ечувчи чиқиш қатламидаги чизиқли нейронлар ва яширин қатламдаги сигмоидал нейронлар билан тўғри алоқали икки қатламли тармоқни қуриш ва ўқитиш ҳамда кимёвий реакцияларнинг боришида концентрацияларнинг вақт бўйича ўзгаришини имитацияловчи ва бошланғич моддалар таркибида турли ғалаёнларни ишлаб чиқиш имконига эга бўлган дастурий таъминотнинг ўқитувчи танланмаларини ишлаб чиқиш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Ноорганик моддаларни ишлаб чиқаришдаги мураккаб технологик жараёнларини интеллектуал бошқариш тизимларини синтезлаш усуллари ишлаб чиқишда олинган илмий натижалар асосида:

компонентларнинг агрегатда бўлиш вақтига кўра концентрациянинг ўзгариш функциясидан фойдаланиб, азот кислотасининг массавий сарфини аниқлаш усули «Navoiyazot» АЖда жорий қилинган («Ўзкимёсаноат» АЖ нинг 2020 йил 21 декабрдаги № 14-5014-сон маълумотномаси). Натижада, азот кислотасининг агрегатдаги массавий сарфини аниқлаш ишончлиги ошишига имкон берган;

кимёвий реакция давомида реагентларнинг концентрацияларини вақт бўйича ўзгаришини имитацияловчи ва шу орқали ўқитиш танланмаларини яратиш имконини берадиган дастурий таъминот «Navoiyazot» АЖда жорий қилинган («Ўзкимёсаноат» АЖ нинг 2020 йил 21 декабрдаги № 14-5014-сон маълумотномаси). Натижада, энергияни 0,5 % тежаш имкони яратилган;

тавсифлари кутилмаган тарзда ўзгарадиган динамик объектларни бошқариш учун таклиф этилган нейрон тармоқли бошқариш усули ва алгоритми «Navoiyazot» АЖда жорий қилинган («Ўзкимёсаноат» АЖ нинг 2020 йил 21 декабрдаги № 14-5014-сон маълумотномаси). Натижада, жараённинг бошқариш сифатини яхшилаш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари тўртта илмий-амалий, шундан иккитаси халқаро анжуманларда апробациядан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларини эълон қилинганлиги. Тадқиқот мавзуси бўйича Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 5 та мақола, шундан 3 таси хорижий илмий нашрларда чоп этилган.

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

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

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

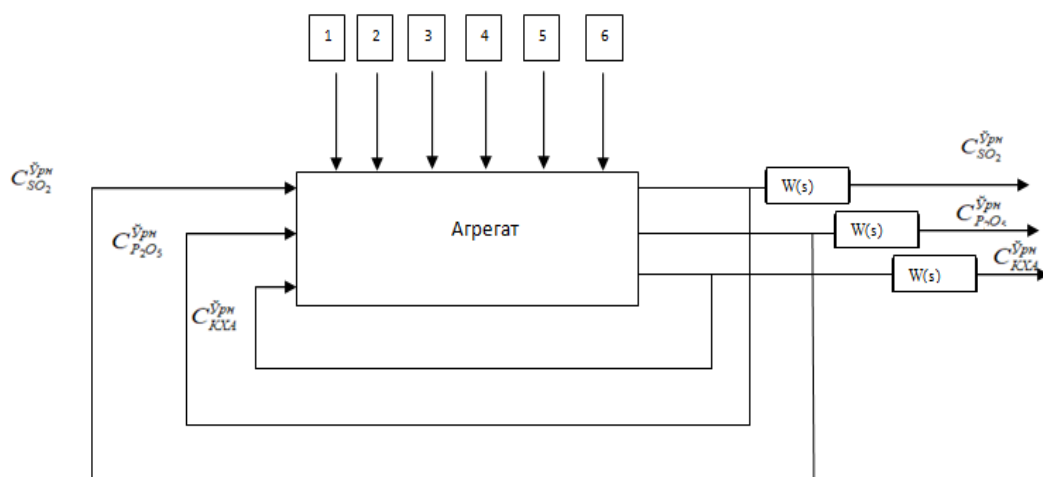
Диссертацияни **“Ноорганик моддалар ишлаб чиқариш жараёларида бошқариш муаммолари”** деб номланган биринчи бобида мураккаб кўп алоқали динамик объектларни автоматлаштирилган бошқариш тизимларини ишлаб чиқиш ва моделлаштириш муаммоларининг ҳозирги ҳолатини таҳлил қилиш натижалари баён қилинган. Нейрон тармоқли ростлагичлардан фойдаланган ҳолда бошқариш тизимларини яратиш муаммолари таҳлил қилинган. Ўрганилган маълумотлар асосида тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари аниқланган.

Тадқиқотнинг **“Мураккаб ноорганик моддалар ишлаб чиқариш жараёнининг динамик математик модели”** деб номланган иккинчи бобида гидратли режимда фосфор кислотани экстракциялаш жараёни аналитик усулларни қўллаш асосида қурилган. Ундан реал жараёни

барқарорлаштириш учун керакли сифатни таъминлаши мумкин бўлган алгоритмларни куришда фойдаланилган.

Фосфор кислотасини экстракциялаш жараёнининг математик моделини куриш учун қуйидаги дастлабки маълумотлардан фойдаланамиз: кириш ўзгарувчилари вектори – X ; бошқариш таъсирлари вектори $U_{BO} = (F_{\Phi C}, F_{H_2SO_4}, F_{\Phi Ю К}, F_{Т Ф К}, F_{Ф И Л})$ ва ғалаёнли таъсирлар $f_{Ф И Л}$ дан ташкил топган экстрактор-фильтр бўлимидир. Бошқариш объектининг ҳолати чиқиш ўзгарувчилари SO_3, P_2O_5 ва қаттиқ хом ашё (ҚХА) бўлган $Y(C_{SO_3}, C_{P_2O_5}, C_{КХА})$ ва экстрактордаги пульпа сатҳи (H) билан аниқланади.

Пульпанинг концентрацион тавсифларини шакллантирувчи ночизикли моделнинг структуравий схемаси 1-расмда кўрсатилган.

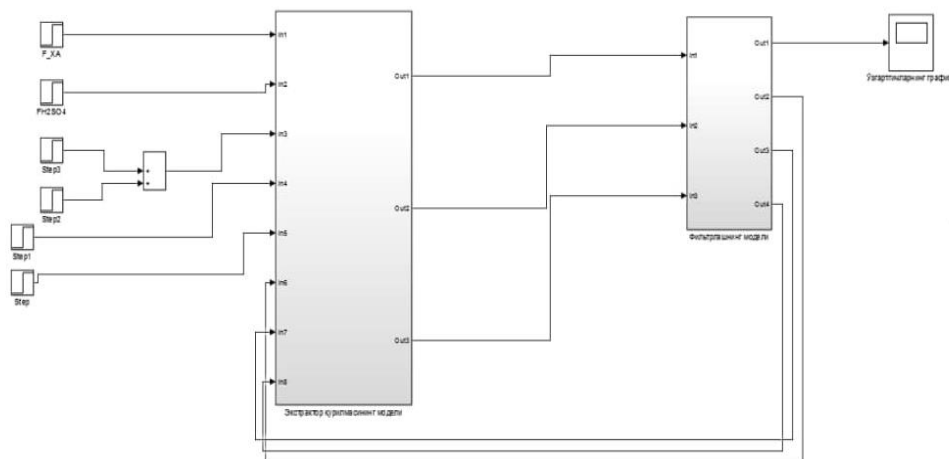


1-расм. Ночизикли моделнинг структураси: $W(s)$ –пульпани аралаштириш жараёнини тавсифловчи узатиш функцияси. Бу ерда: 1($T_{КХ}$) - қаттиқ модда ҳарорати; 2(P_K)-қурилма босими; 3($P_{нас}$)-насос босими; 4($L_{ас}$) – аралашма сатҳи; 5($F_{КХ}$)-қаттиқ хом ашё сарфи; 6 (T_c)-сув ҳарорати.

Априор ва тажриба маълумотларига ишлов бериш натижалари асосида маълум кириш ўзгарувчиларида чиқиш ўзгарувчиларини ҳисоблаш учун моделнинг керакли параметрлари аниқланади. Олинган ночизикли математик модель бошқариладиган оқимлар векторини экстрактордаги пульпанинг концентрациявий тавсифларини жорий қийматлари вектори билан боғлайди (2-расм).

Ночизикли моделнинг чизиклантирилиши номинал режим чегараларида амалга оширилади. Бошқариш объектининг чизикли модели киришлари бўлиб бошқариладиган моддий оқимлар сарфларининг уларнинг номинал режимдаги қийматларидан оғишлари – вектори $U_{BO} = (\Delta F_{\Phi C}, \Delta F_{H_2SO_4}, \Delta F_{\Phi Ю К}, \Delta F_{Т Ф К}, \Delta F_{Ф И Л})$ хизмат қилади.

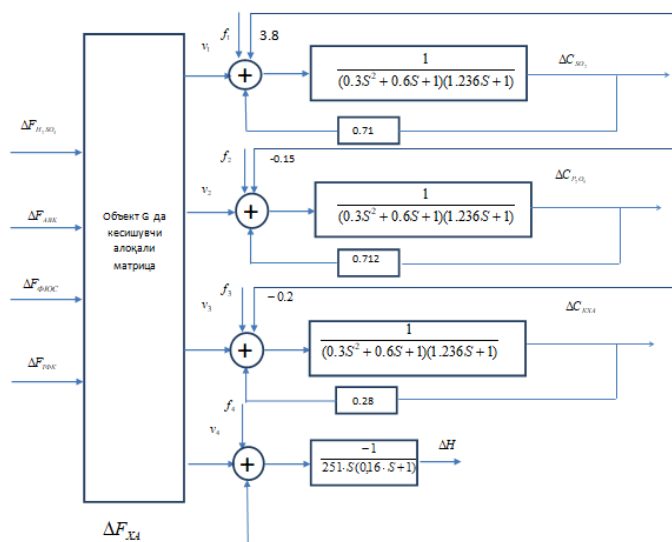
Қурилган моделни чиқиши бўлиб эса – пульпанинг жорий назорат қилинувчи концентрацион компонентлари, шунингдек турли чиқинди газлар, сульфат кислотаси ва қаттиқ моддаларнинг концентрацияси аниқланган номинал режимдаги қийматларидан четга чиқиш қийматлари хизмат қилади.



2-расм. ЭФКни ишлаб чиқариш жараёнининг Matlab амалий дастурлаш пакетининг Simulink график муҳитида олинган нозикли математик модели.

Ғалаёнли таъсирларни инобатга олмаган бошқариш объектининг математик модели (3-расм) охириги матрицали шакли $Y(s) = W(s) \cdot (G \cdot U_1(s)) = W(s) \cdot V(s)$ кўринишига эга, бу ерда $W(s)$ – узатиш функциялар (УФ) нинг матрицаси.

3-расм. Чизиклантирилган динамик моделнинг структураси:



Матрица $W(s)$ бошқариш локал каналларининг узатиш функцияси (УФ) дан иборат бўлиб қуйидаги кўринишга эга бўлади, бу ерда

$$W_1(s) = \frac{3,8}{0,3708s^3 + 1,0416s^2 + 1,836s - 1,698} \quad v_1 \rightarrow \Delta C_{SO_3} \text{ канали } У\Phi ;$$

$$W_2(s) = \frac{-0,15}{0,3708s^3 + 1,0416s^2 + 1,836s + 1,4068} \quad v_1 \rightarrow \Delta C_{P_2O_5} \text{ канали } У\Phi ;$$

$$W_3(s) = \frac{-0,2}{0,3708s^3 + 1,0416s^2 + 1,836s + 1,056} \quad -v_3 \rightarrow \Delta C_{KX4} \text{ канали } У\Phi ;$$

$$W_4(s) = \frac{-1}{40,16s^2 + 251s} \quad -v_4 \rightarrow \Delta H \text{ канали } У\Phi .$$

Ишлаб чиқилган математик моделнинг монандлиги тажриба асосида олинган маълумотларнинг моделда олинган параметрларнинг қийматлари билан таққослаш орқали баҳоланади.

1-жадвалда математик модель бўйича олинган тажриба маълумотларини ва қийматлари қайта ишлаш натижалари келтирилган.

1-жадвал

Тажриба натижалари ифодаланиши

n-кетма-кетлик	Моделлаштириш вақти, соат	Ўртача квадратик хатолик				Дисперсия қийматларини ўзгариши			
		C_{SO_3}	$C_{P_2O_5}$	C_{KXA}	H	C_{SO_3}	$C_{P_2O_5}$	C_{KXA}	H
1	6	0,252	-0,060	-0,13	0,003	0,836	0,235	0,086	0,033
2	8	-0,044	0,021	0,02	-0,001	0,172	0,069	0,220	0,004
3	12	0,255	-0,026	-0,21	0,005	0,846	0,102	0,139	0,053
.....									
11	32	0,149	0,007	-0,04	0,004	0,494	0,023	0,157	0,013
12	40	0,210	-0,080	-0,08	0,003	0,696	0,313	0,314	0,033

Ишлаб чиқилган модель ва тажрибада олинган маълумотлари кетма-кетлиги ўртасидаги фарқни таҳлил қилиш, улар ўртасидаги автокорреляциянинг йўқлигини баҳолаш имконини беради. Технологик параметрларни номинал ҳолатдаги қийматлари ва тажриба таҳлилини рухсат этилган хатолигини ўртача қиймати фарқига нисбати нолга яқин.

2-жадвалда параметрлари ўлчаш хатолигининг ҳисобланган максимал абсолют қийматлари тўғрисида маълумот келтирилган.

2-жадвал

Жараён параметрлари ўлчаш хатоликларининг максимал абсолют қийматлари

Технологик параметр (ўлчаш бирлиги)	Четга чиқиш натижалари		
	$ \Delta\bar{x} _{\max}$	$\sigma_{\max}$	$ \Delta $
$C_{SO_3} (г / дм^3)$	0,4	1,5	2,0
$C_{P_2O_5} (\%)$	0,2	0,7	0,5
$C_{KXA} (\%)$	0,1	0,4	0,4
$H (м)$	0,045	0,05	0,05

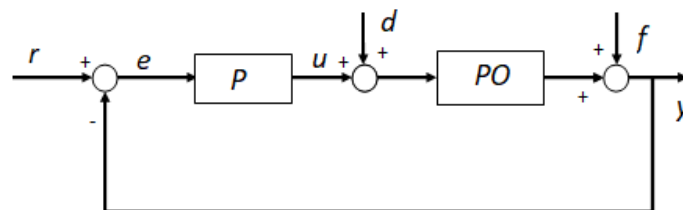
Олинган натижаларнинг максимал хатолиги $|\Delta\bar{x}|_{\max}$ ва ўртача квадратик оғиш $\sigma_{\max}$ ни қийматлари ўлчаш хатолиги $|\Delta|$ ни қийматлари билан мос келади, бу эса технологик параметрларининг мавжуд ўлчаш аниқлиги билан олинган тажриба натижаларининг четга чиқишлари назарий жиҳатдан жуда мос эканлиги тўғрисида фикр билдириш имконини беради. Бундан ташқари,

хар бир танланган кетма-кетликда иккита намунанинг қийматлари: бир хил кириш таъсирига эга бўлган объектнинг ва моделнинг чиқиш қийматлари ўзаро таққосланади. Намуналарнинг таҳлили Фишернинг параметрик мезони $F_{эмп} = \sigma_1^2 / \sigma_2^2$ бўйича амалга оширилган бўлиб, бу ерда $F_{эмп}$ – Фишер мезонининг ҳисоблаш қиймати, σ_1^2 – , σ_2^2 – энг катта ва энг кичик дисперсия.

Статистик маълумотларни таҳлил қилиб чиққанда, Фишер мезони бўйича ҳисобланган танланманинг қийматлари барча ҳолатлар учун жадвалда келтирилган натижаларидан кичик эканлиги аниқланди. Ушбу таққослашлар натижаси бизга объект ва моделнинг чиқиш катталиклари орасидаги фарқларнинг камлигини кўрсатади. Бундан келиб чиқиб моделнинг бошқарув объектига монандлигини тасдиқлаш мумкин.

Тадқиқотнинг «**Нейрон тармоқлар асосида кўп алоқали тизимларни ночизиқли бошқариш**» номли учинчи бобида кўп алоқали тизимларни нейрон тармоқлар асосида бошқариш ва моделлаштириш масалалари кўриб чиқилган. Содир бўлган вазиятнинг ечими сифатида объектга ғалаёнли таъсир этилиши ва объект ҳолати тўғрисида ўлчаб бўлмайдиган маълумотларнинг мавжудлигини назарда тутадиган ПИД-ростлаш амалга оширилиши мумкин. Шу каби муаммоларни ечиш учун объект, уни бошқариш тизими ва ташқи таъсирлар тўғрисидаги маълумотларни эслаб қолиш ва таҳлил қилиш ҳисобига ростлагичларни ўргатиш, адаптациялаш ёки созлашни амалга ошириш имконини берадиган автоматик бошқаришнинг интеллектуал тизимларини куриш моделлари ва алгоритмларидан фойдаланиш мақсадга мувофиқ.

Тескари алоқали автоматик ростлаш тизимини 4-расмда келтирилган схема сифатида тақдим этилган.



4-расм. Технологик жараён параметрларини АБТнинг структуравий схемаси. Бу ерда: P– ростлагич, PO– ростлаш объекти, r –бошқариш таъсири ёки «кўрсатма», e – тафовут сигнали (ёки хатолик), u – ростлагичнинг чиқиш катталиги, y –ростланадиган катталик.

Тизим чиқишидаги ўлчанадиган катталик объект ҳолатига мос келиши назарда тутилган, аммо кузатиш каналида аниқ доимий хусусиятларга эга бўлган аддитив хатолик $n(t)$ мавжуд. Бошқариш объектининг параметрлари вақт бўйича ўзгармасдир. 4-расмдаги АБТдаги ростлагични нейрон тармоқли ростлагич (НТР) га алмаштириб оламиз. Зарурий тавсифиларни таққослаш учун турғунлик ва маълум қоникарли бошқариш сифатини таъминлайдиган энг кенг тарқалган турга тегишли бўлган ПИД-ростлагичдан фойдаланамиз.

Дастлабки чизиқли ростлагичнинг фаолиятини объектни бошқариш функцияси $f(e_k, s)$ сифатида тақдим этамиз:

$$u_k = f(e_k, s),$$

бу ерда s —маълум бир қоида бўйича ҳар тактда ўзгарадиган ростлагичнинг ички ҳолати.

Унинг ўрнини босадиган нейрон тармоқли ростлагич $N^p(i_k)$ реал ростлагичнинг имитацияси $f(e_k, s)$ ни амалга ошириши керак.

Ўртача квадратик оғиш мезони тушунчасидан фойдаланиб, НТР ни синтезлаш масаласини қуйидаги кўринишда тақдим этишимиз мумкин:

$$\sum_k (f(e_k, s) - N^p(i_k))^2 \rightarrow \min, \quad \forall i_k \in I$$

бу ерда $i_k - t_k$ вақт моментида бошқариш тизими тўғрисидаги очиқ маълумот; e_k — бошқариш хатолиги; I — ростлагич учун t_k нинг мумкин бўлган қийматлар соҳаси.

Кириш векторини шакллантириш имконини берадиган юқорида қайд этилган вариантларни солиштириш учун бир қатор компьютерли тажрибалари ўтказилди. Тажриба бошқариш объектининг назорат қилинадиган чиқишида тасодифий ғалаёнлар мавжуд бўлган стохастик ўрнатма («уставка») шароитида ўтказилди.

Ўрнатма $R^*(z) = \frac{0.625z}{z - 0.779}$ ва хатоликнинг $N^*(z) = 0.35$ шакллантирувчи филтрлари. Объект $P^*(z) = \frac{z}{z - 0.5}$ ПИД-ростлагич билан бошқарилади

$$C^*(z) = 0.35 + 0.45 \frac{z}{z - 1} + 0.045 \frac{z^2 - 2z + 1}{z(z - 1)}.$$

Нейрон тармоқли ростлагич $N_{x,7,3,1}^p$ архитектурага эга, бу ерда x —кириш векторининг ўлчами. Ўргатиш 400 авлод давомидаги узунлиги 200 танловда, назорат қилишда эса узунлиги 200 танловда амалга оширилади, бунда танловдаги назорат қилиш хатолиги оша бошлаганида, ўргатиш ўз вақтидан олдин тўхтатилади. Ўргатиш мезони сифатида қайта тиклашнинг ўртача квадратик хатолигини минималлаштириш хизмат қилади. 3-жадвалда тадқиқот натижалари келтирилган.

Ўтказилган тадқиқотлар, турли шаклдаги детерминанланган ўрнатма бўйича НТРни олдиндан ўқитиш ҳолатлари ҳам кўриб чиқилган. Тажрибалар, кириш векторини шакллантиришнинг энг яхши варианты ғалаён ва оғиш бўйича бирлаштирилган бошқариш: r_k, e_k олтинчи қатор бўлганлигини кўрсатди.

Ушбу чизиқли ростлагични нейрон тармоқли ростлагичга алмаштириш усулини азот кислотаси ишлаб чиқариш жараёни учун қўлаймиз. Азот кислотаси ишлаб чиқариш жараёни ҳам ЭФКни ишлаб чиқариш жараёни каби мураккаб ва кўп алоқали жараён бўлиб, икки жараёнда ҳам маҳсулотни сифатли олишда умумий бўлган аралаштириш жараёни, совитиш жараёни ва филтрлаш жараёнлари мавжуд бўлиб, уларнинг назорат қилинадиган параметрлари умумий эканлиги аниқланди. Бундай параметрларда сарф,

3-жадвал

НТР кириш векторини шакллантиришнинг турли усуллари ҳамда ўрнатма ва ҳалақитларнинг турли параметрларида бошқариш контуридан ташқарида ПИД–ростлагични имитациялаш аниқлигининг таққосланиши

Тадқиқот натижалари

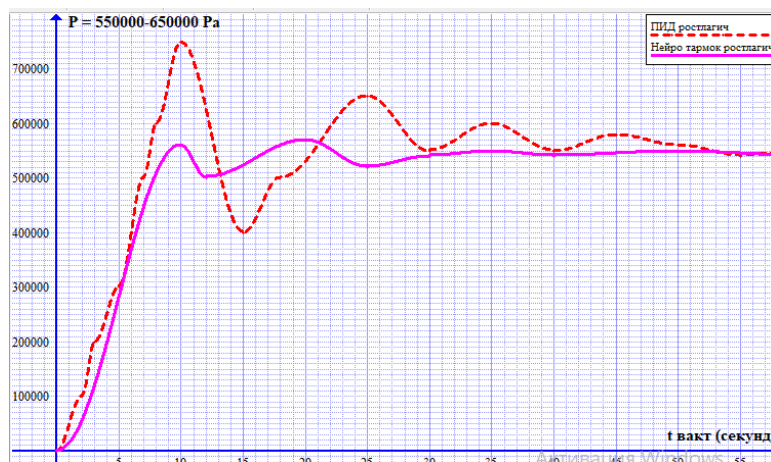
т/р	Кириш вектори i	Назорат танданмасидаги ўртача квадрат хатолик
-----	-------------------	---

$\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-x^2} dx = \dots$

Кўйидаги графикдан кўриниб турибди-ки, босим чизиқли ПИД-

$T = 91^\circ\text{C}$

6-расм. Азот кислотаси
ишлаб чиқаришда
босимни ростлаш
натижалари

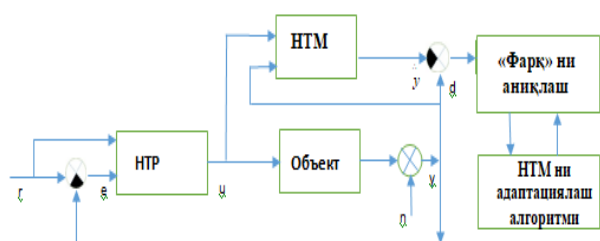


Тадқиқотнинг «Нейрон тармоқлар асосида ностационар объектларни бошқариш ва нейрон тармоқли ростлагични адаптациялаш» деб номланган тўртинчи бобида нейрон тармоқ асосида динамик объектларни бошқариш масалалари кўриб чиқилган. Қуйилган масала етарли даражада мураккаб бўлганлиги учун унинг ечилишида нейрон тармоқли ростлагични узлуксиз адаптациялашдан фойдаланилади, бу ерда нейрон тармоқ объектнинг динамик тавсифлари ўзгаришига мослаштирилади.

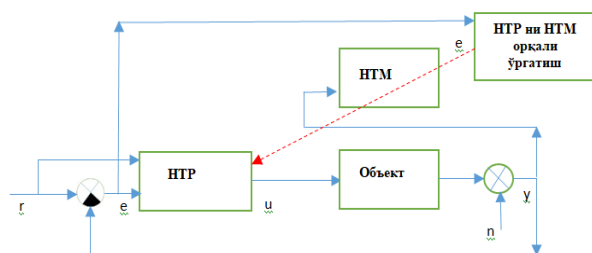
Юқорида кўриб чиқилган усулнинг камчиликларини бартараф этиш учун схемага «ўрнатма» фарқ сигналинини аниқлаб, нейрон тармоғининг идентификаторини бошқариш контуридан ташқарида ўрганиш мақсадида қўшимча маълумот тўпловчи, бошқариш объектнинг ҳолатини аниқлаш блоки киритилади (7-расм). Нейрон тармоғининг идентификаторини ўргатилиши тугагандан сўнг, блок стационар ҳолатдаги оптимал нейрон ростлагични синтезлаш схемасидагидек, фаол режимдаги НТРни адаптациялаш схемасига киритилади (8 -расм).

Таъкидлаш жоиз-ки, келтирилган схемада узлуксиз адаптациялаш усулида бўлгани каби архитектурага мос нейрон тармоғидан фойдаланилди (8-расм).

Ностационар ҳолатларда схема ишончли ишлаши учун объект тавсифларининг ўзгариш даврларини иложи борида аниқлаб тегишлича моделни мослаштириб олишимиз керак.



7-расм. Стационар тизимлардаги
ростлаш контури.



8-расм. Ўрнатилган режимда
бошқариш схемаси.

Фарқни аниқлаш муаммоси кумулятив йиғиндилар алгоритми (КЙА) бўйича амалга оширилади. Фарқ сигналинини аниқлаш ишончлилигини

таъминлаш учун T_{ad} нинг ҳисоблаш қийматлари чегараларида жуфтли ишлаб кетиш инобатга олинади. Бошқариш объектининг нейрон тармоқли моделининг мослашишини бошқариш контурини ташқарида амалга ошириш керак. Етарли даражадаги ўргатиш ҳажмларида амалга оширилган бошқариш объектининг ҳолатини сифатли башорат қилиш ва нейрон тармоқли ростлагични ўргатиш нейрон тармоғининг ўргатилишини таъминлайди.

Фарқ қийматининг катталиги нормал тақсимланишга эга тасодифий жараён дисперсияси бўйича ҳисобланади. Бунинг учун нуқталарнинг тақсимланишини акс эттирадиган тенгламанинг қўшилувчиларини кумулятив йиғиндилар алгоритми бўйича қуйидаги формула асосида аниқлаймиз:

$$z_i = -\frac{1}{2} \ln \frac{\sigma_1^2}{\sigma_0^2} - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sigma_1^2} - \frac{1}{\sigma_0^2} \right) d_i^2,$$

бу ерда кумулятив йиғиндиларнинг ананавий алгоритмидаги нуқталарни акс эттирадиган элементар текшириш жараёни учун тенглама қуйидаги нисбат билан ифодаланади:

$$S_i = \begin{cases} 0, & i = 0, \\ \max(0; S_{i-1} + z_i), & i > 0. \end{cases}$$

Фарқ мезони бўлиб, S_i нуқтани якуний чегара H га етиш мезон бўлади $S_i > H$.

Ушбу шарт бажарилганида, фарқ аниқланган ҳисобланади ва синов жараёни тугатилади, акс ҳолда кейингисини бошлашнинг ҳожати йўқ. Чекловлар кенгайиши билан тасодифий жараён параметрларининг ҳақиқий ўзгариши ва фарқ пайдо бўлиши ўртасидаги кечикиш ошиб боради, унинг кичик қийматлари эса жараён тасодифийлиги сабабли сохта ишга туширишларнинг сонини ошишига олиб келади. T_{ad} ва T_{fa} ўртасидаги қийматлардан H саралаш усули билан кумулятив йиғиндилар алгоритмининг созланишини амалга оширилади.

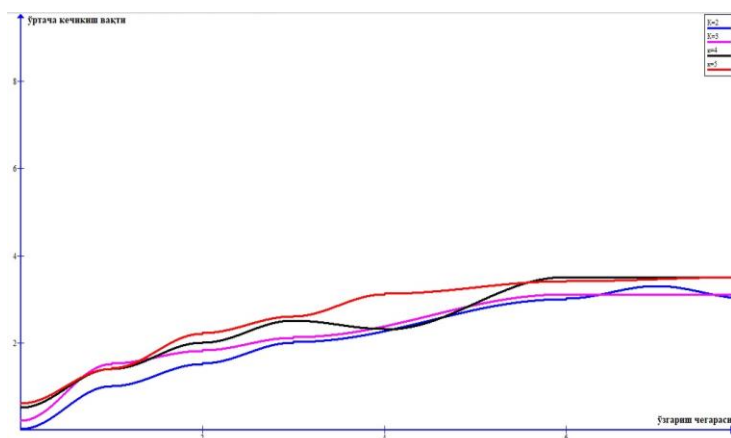
Ўтказилган тажрибалар натижасида ўлчанган ва ушбу усул бўйича ҳисобланган алгоритмлар тавсифлари ўртасидаги фарқ аниқланган бўлиб. Мазкур фарқ, бизнинг фикримиз бўйича, ўрганилаётган бошқариш тизимидаги идентификациялашнинг ноаниқлигини тасодифийлиги ва технологик жараёни эса тўғриланмаганлиги сабабли юзага келди. Ўтказилган тажрибалар T_{ad} ва T_{fa} тавсифларининг чекловнинг катталиги H га боғлиқлигини аниқлаш ва алгоритмнинг коррекциясидан фойдаланиш имконини беради (9- расм).

Фарқни аниқлашда НТОни созланиши учун ўргатиш танланмасининг шаклантирилиши ўргатиш танланмасининг ўлчами N ва уни шаклантириш усулига боғлиқ. НТРни ўргатиш сифати НТОни созланишига боғлиқ, НТОни ўргатиш сифати эса ўз навбатида ўргатувчи танланманинг узунлигига боғлиқ. Ўргатувчи танловнинг узунлиги ошганида бошқариш самарадорлиги пасаяди, айрим ҳолатларда бу турғунликни йўқотилишига олиб келиши мумкин.

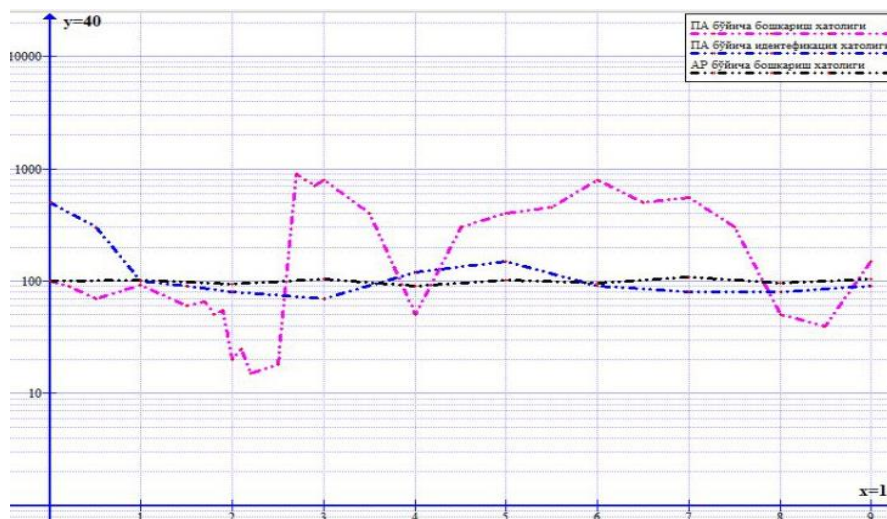
Буни инобатга олган ҳолда танланмани аниқловчи сифатида КЙА охирги жараёнининг бошланғич ҳисоб нуқтаси t_0 дан фарқ мавжудлиги туғрисида сигнал пайдо бўлиши ва t_0 ҳолатига пайдо бўлган M каби қийматлар ҳолати t_1 гача кесимни ҳосил қилган $\{u_k\}_N$ ва $\{y_k\}_N$ танланмалардан фойдаланилган, бу ерда жараён тавсифлари ўзгаришининг бошланишига нисбатан кечиқиш билан КЙА фарқ сигнадини ҳосил қилади. $t_1 - t_0$ вақт интервали тасодикий катталиқ бўлганлиги учун, ўргатувчи танланма ҳам ўргатувчи тўпламнинг минимал ўлчами сифатида қабул қилиниши мумкин бўлган $N = 2M$ ўлчамга эга тасодикий узунликда бўлади. Ундан фарқ сигнадини аниқланиши билан нейрон тармоғининг идентификаторини созлаш учун фойдаланиш мумкин.

Интервал $t_1 - t_0$ нинг жуда кичик ўлчамида НТОни сифатли ўргатиш учун ушбу ўлчамдаги танланма етарли бўлмаслиги мумкин. Бу ҳолатда икки ўлчамли тақсимланиш (u, y) параметрларини олдиндан олинган маълумотлар бўйича баҳолаш ва талаб этилган зичлик билан танланган соҳанинг тўлғунича кузатиладиган параметрларнинг қийматлари u_k, y_k ни тўплаш лозим.

Нейрон тармоқли бошқариш хусусиятларини ўрганиш ва сифатининг рақамли баҳоларини олиш мақсадида доимий адаптациялаш ва фарқни аниқлаш бўйича адаптациялаш ҳолатлари учун компьютерли моделда бир қатор ҳисоблаш тажрибаларини олиб бордик. Сифатни баҳолаш учун икки мезонни танладик: интеграл хатоликлар туғрисида маълумот берадиган бошқаришнинг ўртача квадратик оғиши ва БО технологик регламент йўл қўядиган чегаралардан чиқишига олиб келадиган хатоликларнинг максимал йўл қўйиладиган қийматларини кўрсатадиган бошқариш хатолигининг тарқалиш катталиклари. Стационар бошқариш объекти устидаги тажрибаларда қайта реконфигурацияни талаб этмайдиган бошқариш тизимлари билан нейрон тармоқларининг таъсирини ўргандик. Узлуксиз адаптациялашга эга бошқаришнинг нейрон тармоғидан фойдаланганимизда (10-расм) ҳисобот ҳолати $2 \times 10^5 \dots 5 \times 10^5$ ва амплитудаси 0,05 дан 6 гача бўлган ростлашнинг сезиларли оғишлари кузатилди.

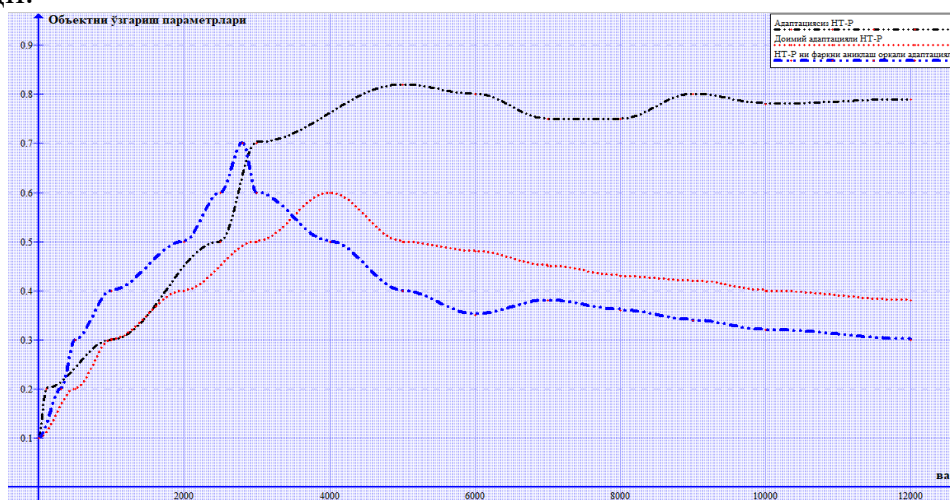


9-расм. Турли номинал тақсимланишлар K учун чеклаш H дан ўртача кечиқиш вақтининг боғлиқлиги.



10-рasm. Узлуксиз адаптация ва фарқни аниқлаш бўйича адаптациялашнинг стационар шароитларда бошқариш ва идентификациялашнинг ўртаквадратик хатолиги.

Графикдан кўриш мумкин-ки, доимий адаптациялаш режимида идентификациялашнинг ўртача квадратик хатолигининг оғишлари d бошқариш хатолигининг қарши фазасида ҳосил бўлди, модификацияланган ёндашув доирасида нейрон тармоқли ростлагич ўртача квадратик хатоликнинг ўртача қиймати атрофидаги 0,182 арзимас оғишларни таъминлайди.



11-рasm. Адаптациялашнинг турли вариантларида бошқаришнинг ўртача квадратик хатолиги.

11-рasmда расмда учта турли вариантларда нейрон тармоқли ростлагич адаптацияси мавжуд бўлмаганида, фарқларнинг диагностикасидан сўнг қийматларнинг узлуксиз адаптацияси ва тизимлардан ташқари НТО ўргатишни бошқаришнинг ўртаквадратик хатоликлари кўрсатилган. Объект тавсифлари ва нейрон тармоқли ростлагични адаптациялашни бошланиши вақт ўзгаришлари фарқи бўйича адаптациялаш билан биргаликда вертикал чизиқлар билан белгиланган.

Расм таҳлили узлуксиз адаптациялашга эга нейронли ростлагич объектда пайдо бўлган ўзгаришларга етарли даражада тез жавоб беришини ва ростлаш хатолигининг 0,55 дан ошиб кетишига йўл қўймаслигини кўрсатади,

лекин маълум бир вақтдан сўнг бошқариш хатолиги ўса бошлайди. Фарқни аниқлашга асосланган адаптациялаш усулидан фойдаланиш учун нейрон тармоғининг ростлагичини қайта ростлаш учун маълумотларни тўплашни талаб этилади. Ностационар шароитларда бошқариш хатолигининг тақсимланиш параметрлари 4-жадвалда келтирилган.

4-жадвал.

Ностационар шароитларда бошқариш хатолиги тақсимланишининг параметрлари.

	Минимум	Максимум	Ўртача	Дисперсия
Узлуксиз адаптациялаш	-12.14	3.52	-5.19	10.47
Фарқни аниқлаш бўйича адаптациялаш	-1.77	1.98	-0.0099	0.44

ХУЛОСА

Ноорганик моддаларни ишлаб чиқариш жараёнини ўхшашлигини ва ишланманинг ўзгаришини мавзусидаги тадқиқот иши натижалари бўйича қуйидагиларни хулоса қилиш мумкин:

1. Фосфор кислотасини экстракциялаш жараёнининг чизиқлантирилган динамик модели ишлаб чиқилган. Ушбу модель технологик жараёни автоматик тарзда бошқариш алгоритмини тузиш имкониятини беради.

2. Компонентларнинг реакторда бўлиш вақтига кўра концентрацияларнинг ўзгариш функциялари асосида хомашёнинг массавий сарфини аниқлаш имконияти яратилган.

3. Ананавий ростлагични нейротармоқли ростлагичларга алмаштириш усули ишлаб чиқилган. Усул кўп алоқали динамик объектларни интеллектуал бошқариш тизимларини архитектурасини танлаш ва таъсир этувчи омилларини аниқлашни ҳисобга олган ҳолда дастлабки ростлагични симуляция қилиш сифатини аниқлаш усулини ишлаб чиқиш имконини беради.

4. Бошқариш объектининг нейрон тармоқли инверсияси ёрдамида нейрон тармоқли оптимал ростлагични синтезлаш услубияти ишлаб чиқилган. Ушбу усул объектни идентификациялашни талаб қилмайди.

5. Бошқариш объектини нейрон тармоқли идентификациялашга таалуқли тавсиялар ишлаб чиқилган. Бу тармоқларни номенклатураси ва киришлар сонини, структурасини, намунали сигнал турини аниқлаш имконини беради.

6. Олдиндан башорат қилиб бўлмайдиган тавсифларга эга динамик объектларни бошқариш учун нейрон тармоқ асосида бошқариш усули ва алгоритми таклиф этилган, бу эса бошқариш сифатини ошириш имкониятини беради.

7. Ишлаб чиқилган нейрон тармоқли тизим асосида ностационар объектлар учун яратилган бошқариш усули “Навоиазот” АЖда амалиётга жорий қилинган. Натижада, 0.5 % энергия тежамкорликка эришилган.

8. Ишлаб чиқилган нейрон тармоқли бошқариш усули алгоритмини бошқа шунга ўхшаш тавсифли объектларга қўллаш мумкунлиги асосланган.

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

НАВОИСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ

САТТАРОВ ОЛИМ УСМОНКУЛОВИЧ

**МЕТОДЫ СИНТЕЗА СИСТЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО
УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ
ПРОЦЕССАМИ ПРОИЗВОДСТВА НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ**

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

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

Ташкент – 2021

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за №B2020.4.PhD/T1952.

Диссертация выполнена в Навоиском государственном горном институте.

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

Научный руководитель:

Юсупбеков Нодирбек Рустамбекович
доктор технических наук, профессор, академик

Официальные оппоненты:

Исмоилов Мирхалил Агзамович
доктор технических наук, профессор

Искандаров Зоҳид Эргашбоевич
доктор философии (PhD) по техническим наукам

Ведущая организация:

ООО «Химавтоматика»

Защита диссертации состоится «13» 06 2021 года в 12⁰⁰ 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@edu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрировано №211) (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (+99871) 246-03-41.)

Аннотация диссертации разослана «04» 06 2021 года.
(реестр протокола рассылки № 4 от «27» 02 2021 года)



Ф.Т.Адилов

Заместитель председателя Научного совета
по присуждению учёных степеней,
доктор технических наук, профессор

У.Ф.Мамиров

Ученый секретарь Научного совета
по присуждению учёных степеней,
доктор философии (PhD) по техническим наукам

Х.З.Игамбердиев

Председатель Научного семинара
при Научном совете по присуждению учёных степеней,
доктор технических наук, профессор, академик

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире широта проводимых исследований в области разработки эффективных методов синтеза интеллектуальных систем управления с целью повышения точности и обеспечения принципов безопасности при управлении сложными технологическими процессами с учетом свойств неорганических веществ, проходящих в них сложных реакций при производстве неорганических минеральных удобрений, а также неопределенностей при управлении этими процессами подтверждают актуальность темы исследования. В этой связи важное значение приобретает применение методов интеллектуального управления в условиях неопределенности входных факторов процесса при разработке высокоточных, быстродействующих и высокоэффективных систем управления.

В настоящее время в мире ведутся широкие научные разработки, направленные на улучшение качества продукции за счет повышения эффективности управления процессами производства неорганических веществ, в частности, научно-исследовательские работы по разработке систем управления процессами с использованием технологии искусственных нейронных сетей. Вместе с этим особое значение приобретает создание в составе автоматизированных систем управления регуляторов на основе нейросетевой технологии, позволяющие повысить точность регулирования основных технологических параметров процесса производства неорганических веществ. В этой связи в химической промышленности республики повышению экспортного потенциала за счет расширения производства экологически чистых, качественных неорганических минеральных удобрений, обеспечивающих ресурсосбережение, связано с применением методов искусственного интеллекта в системах автоматизированного управления отводится отдельное внимание.

В республике принимается ряд мер по усовершенствованию связанной с производством минеральных удобрений системы автоматизированного управления, регуляторов в составе системы управления, а также их разработке на основе нейросетевой технологии. В Стратегии по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы, четко обозначены задачи «...сокращения энергоемкости и ресурсоемкости экономики, широкого внедрения в производство энергосберегающих технологий, повышения производительности труда в отраслях экономики»¹. Выполнение указанных задач, а также совершенствование методов синтеза систем интеллектуального управления сложных технологических процессов и производств являются одними из основных задач.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Указами Президента Республики

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

Узбекистан №ПП-3682 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов» от 27 апреля 2018 года, №ПП-3698 «О дополнительных мерах по совершенствованию механизмов внедрения инноваций в отрасли и сферы экономики» от 5 мая 2018 года, № УП-5544 «Об утверждении стратегии инновационного развития Республики Узбекистан на 2019–2021 годы» от 21 сентября 2018 года, а также в других нормативно- правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Настоящее исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение» и VII. «Химические технологии и нанотехнологии».

Степень изученности проблемы. В мире исследования, посвященные повышению точности синтеза систем управления процессами производства неорганических веществ, проводили зарубежные ученые А.И. Бояринов, Р.А.Алиев, А.И.Галушкин, В.В.Кафаров, В.А.Кривоносов, А.С. Егоркин, И.В. Соболева, Г.Н. Семенов и другие. Ю.А.Браммер, И.Н.Пашук, Р.Калман, П.Фалб, М.Арбиб, В.В.Тютиков, Д.А.Смирнов, В.И.Комашинский и другие вели исследования по созданию регуляторов и наблюдателей состояния динамических систем.

В разработку генетических алгоритмов, методов нечеткой логики и методов адаптивного управления при автоматизации химических процессов свой вклад внесли ученые Узбекистана Н.Р.Юсупбеков, М.М.Камилов, Т.Ф.Бекмуратов, Х.З.Игамбердиев, А.А.Гафуров, Ф.А.Туляганов, Р.Х.Аюпов, Ш.М. Гулямов, Д.П. Мухитдинов, М.А. Исмаилов, И.Х. Сиддиков, О.О.Зарипов и др. В их исследованиях изучены задачи усовершенствования алгоритмов и методов управления процессом экстракции минеральной фосфорной кислоты.

В разработках, приведенных выше ученых в недостаточной степени раскрыты проблемы практического применения интеллектуальных нейросетевых систем в составе автоматизированных систем управления существующих технологических процессов производства неорганических веществ, кроме того недостаточно отражены разработки методик замены линейных регуляторов на нейросетевые, а также алгоритмов управления динамическими объектами с непредсказуемым изменением характеристик.

Связь диссертации с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских проектов Навоийского государственного горного института №БВ-Атех-2018-516 «Исследования и разработка математических моделей и методов неразрушающего контроля состояния машин и оборудования на основе моделирования» (2018-2020).

Цель исследования состоит в разработке методов синтеза систем интеллектуального управления сложными технологическими процессами производства неорганических веществ.

Задачи исследования:

создание системы управления нестационарными объектами на основе модели производства фосфорной кислоты;

разработка нейросетевой динамической модели нестационарного объекта;

обоснование метода, позволяющего замену традиционных линейных регуляторов на нейросетевые;

разработка метода синтеза нейрорегулятора на основе критерия среднеквадратичного отклонения невязки;

создание алгоритма управления нестационарными объектами с непредсказуемым поведением его характеристик на нейросетевой основе;

применение в промышленности совершенствованную системы управления для производственного процесса азотной кислоты.

Объектами исследования являются технологические процессы производства фосфорной и азотной кислот как многосвязные нестационарные динамические объекты и системы управления ими.

Предметом исследования являются проблемы, связанные с формализацией и управлением многосвязными объектами, разработка законов управления на основе положений нейросетевой логики, позволяющих значительно уточнять описание закономерностей.

Методы исследования. В диссертационной работе использованы методы: аналитического моделирования, построения нейронных сетей, обучения искусственных нейронных сетей, оптимальной настройки нейросетевых регуляторов, синтеза многосвязных систем управления в условиях неопределенностей.

Научная новизна работы состоит в следующем:

на основании эмпирико-статистических экспериментов установлены зависимости между основными входными и выходными переменными процесса экстракции фосфорной кислоты, позволяющие полнее вскрыть существующие закономерности;

установлена закономерность изменения концентраций компонентов от их времени пребывания в реакторе и на этой основе создана возможность определения массового расхода реагентов;

на основании условий, определяющих адекватность исходному ПИД-регулятору и формирования оптимальных выборок обучения, разработаны алгоритмы проектирования нейросетевых регуляторов;

разработана нейросетевая многоуровневая система управления с алгоритмом адаптации нейрорегулятора по сигналу рассогласования, предназначенная для управления процессом экстракции фосфорной кислоты

Практические результаты исследования состоят в следующем:

разработана функциональная схема интеллектуальной системы управления технологическим процессом экстракции фосфорной кислоты;

разработано программное обеспечение, позволяющее по времени пребывания в реакторе определять изменение концентрации компонентов технологического процесса неорганических веществ;

разработана интеллектуальная система управления сложными технологическими процессами на основе нейросетевого регулятора;

разработан алгоритм нейросетевого управления для управления сложными динамическими объектами;

в среде программирования Borland разработана модель нейросетевого регулятора для системы регулирования основных параметров неорганических веществ.

Достоверность результатов исследования. Надежность результатов исследования основана на использовании теоретически достоверных концепций, методов математического и компьютерного моделирования и подтверждается согласованностью результатов теоретических и экспериментальных исследований, а также итогами имитационного моделирования, с применением современных пакетов прикладных программ.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования заключается в развитии методов идентификации непрерывных управляемых технологических процессов, основанных на их нейросетевом поведении и последующем вычислительном эксперименте на математической модели и в обосновании и разработке метода замены традиционных регуляторов на нейросетевые и совершенствование на их основе интеллектуальной системы управления многосвязными динамическими объектами.

Практическая значимость результатов исследования заключается в построении и обучении с помощью приложения Borland двухслойной сети с прямой связью с линейными нейронами в выходном слое и сигмоидальными нейронами в скрытом слое, решающей задачу аппроксимации и разработке обучающих выборок программного обеспечения, имитирующего изменение концентраций во времени в ходе химических реакций и позволяющего разрабатывать различные возмущения в исходных веществах.

Внедрение результатов исследования. На основании полученных результатов разработки методов синтеза систем интеллектуального управления сложными технологическими процессами производства неорганических веществ:

обоснована возможность использования функции изменения концентраций от времени пребывания компонентов в агрегатах нахождения массового расхода азотной кислоты и внедрена на АО «Navoiyazot» (справка АО «O'zkiyosanoat» № 14-5014 от 21 декабря 2020 года). В результате появляется возможность повышения надежности в определении массового расхода азотной кислоты;

разработанное программное обеспечение, имитирующее изменение концентраций реагентов во времени в ходе химической реакции, способствующее созданию обучающих выборок внедрено на АО «Navoiyazot» (справка АО «O'zkiyosanoat» № 14-5014 от 21 декабря 2020

года). В результате появляется возможность получения 0,5 % экономии энергосбережения;

предложенный метод и алгоритм управления на нейросетевой основе для управления динамическими объектами с непредсказуемыми изменениями его характеристик внедрен на АО «Navoiyazot» (справка АО «O'zkiimyosanoat» № 14-5014 от 21 декабря 2020 года). В результате появляется возможность улучшения качества управления процессом.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования апробированы на четырех научно-практических конференциях, в том числе – на двух международных.

Опубликованность результатов исследования. По теме исследования опубликовано 5 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций, из них 3 – зарубежных журналах.

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

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации и подчеркивается необходимость проведенных исследований, определена основная цель и поставлены задачи исследования, показано соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий в республике, изложена научная новизна и практические результаты исследований, продемонстрирована научная и практическая значимость полученных результатов, отражено внедрение в практику результатов исследования, приведены сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Проблемы управления процессами производства неорганических веществ»** изложены результаты анализа современного состояния проблем моделирования и разработки систем автоматизированного управления сложными многосвязными динамическими объектами. Проанализированы проблемы создания систем управления с использованием нейросетевых регуляторов. На основе изученных материалов определены цель и задачи исследования.

Во второй главе диссертации, названной **«Многосвязная динамическая модель производства неорганических веществ»**, на основе аналитических приемов построена модель гидратного режима экстрагирования фосфорной кислоты. Она использована для построения алгоритмов, которые могли-бы обеспечить требуемое качество стабилизации реального процесса.

Все регулируемые расходы веществ составили вектор входных данных, а стабилизируемыми показателями процесса - составили вектор выходных переменных. Модель построена с использованием следующих данных.

Вектор входных переменных - X (управления $U_{OY} = (F_{\Phi C}, F_{H_2SO_4}, F_{ПРОМ}, F_{ПРОД}, F_{ФИЛ}$ и дестабилизирующие факторы $f_{ФИЛ}$). Характеристика объекта управления определяется вектором значений концентраций SO_3, P_2O_5 твёрдая вещества (TB) в входном потоке $Y(C_{SO_3}, C_{P_2O_5}, C_{TB})$ и значением уровня (H) в аппарате.

Модель позволяет предсказывать изменения концентраций компонентов пульпы, ее структурная схема на рисунке 1.

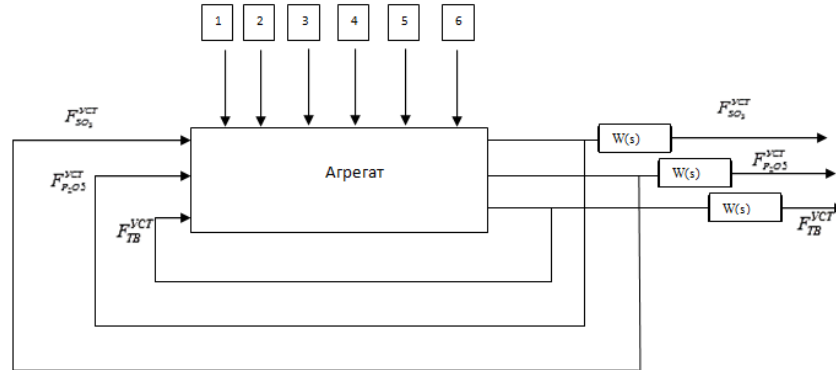


Рисунок 1. Структурная схема нелинейной модели. $W(s)$ — передаточные функции, описывающие процесс перемешивания пульпы. Где: 1(T_{TB}) — температура твердых веществ; 2(P_a)- давления агрегата; 3($P_{нас}$)- давления насоса; 4($L_{уп}$) — уровень пульпы; 5(F_{TB}) — расход твердых веществ; 6 (T_B)- температура воды.

На основе исходной информации и переработки экспериментальных данных определяется необходимые величины модели, используемые для расчета выходных данных. Разработанная модель, структура которой представлена на рис.2, позволяет связать значения управляемых потоков с текущими значениями концентраций компонентов пульпы в аппарате.

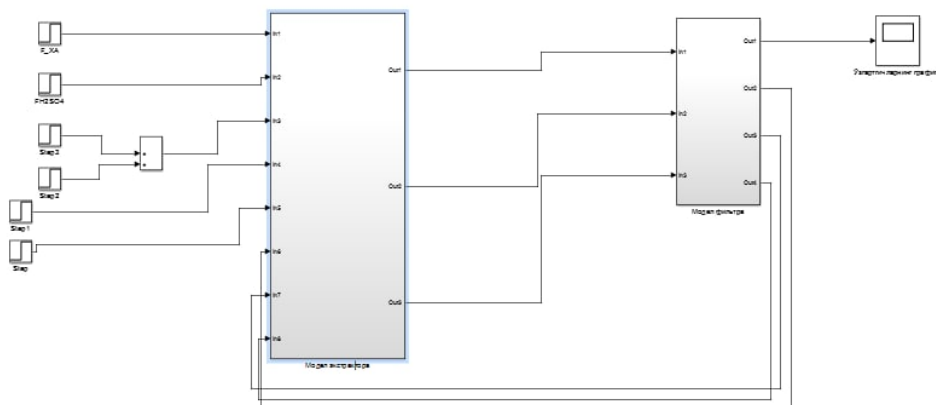


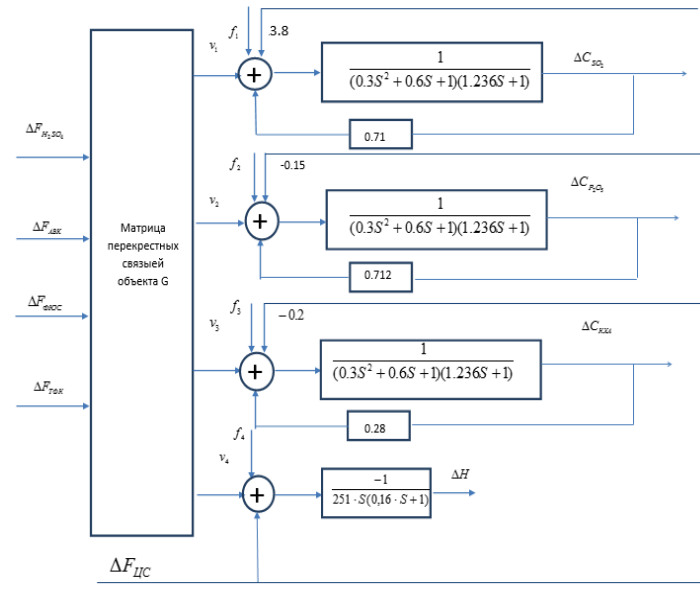
Рисунок 2. Структурная схема нелинейной модели.

Линеаризация нелинейной модели проведена в области номинального режима. Вектор $U_{OY} = (\Delta F_{\Phi C}, \Delta F_{H_2SO_4}, \Delta F_{ФИЛ}, \Delta F_{ПРОМ}, \Delta F_{ПРОД})$ представляет отклонения реальных значений скоростей потоков от их номинальных значений. Этот вектор использован в качестве входов линейной модели.

Выходами построенной модели служить такие значения как отклонения концентрации компонентов пульпы т.е. концентрации различных газов, сульфатной кислоты и твёрдых веществ от их значений, определённых номинальным режимом.

Структура линеаризованной динамической модели представлена на рисунке 3. В конечной матричной форме детерминированная модель ОУ представляется в виде: $Y(s) = W(s) \cdot (G \cdot U_1(s)) = W(s) \cdot V(s)$, где $W(s)$ – матрица передаточных функций (ПФ).

Рисунок 3. Структура линеаризованной динамической модели.



Передаточная функция (ПФ) управляющего локального канала состоит из матрицы $W(s)$, определяемой из соотношения:

$$\text{где } W_1(s) = \frac{3,8}{0,3708s^3 + 1,0416s^2 + 1,836s - 1,698} \text{ ПФ канала } v_1 \rightarrow \Delta C_{so_3};$$

$$W_2(s) = \frac{-0.15}{0,3708s^3 + 1,0416s^2 + 1,836s + 1,4068} \text{ ПФ канала } v_1 \rightarrow \Delta C_{p_2O_5};$$

$$W_3(s) = \frac{-0.2}{0,3708s^3 + 1,0416s^2 + 1,836s + 1,056} \text{ ПФ канала } -v_3 \rightarrow \Delta C_{kka};$$

$$W_4(s) = \frac{-1}{40,16s^2 + 251s} \text{ ПФ канала } v_4 \rightarrow \Delta H$$

Адекватность разработанной модели оценивалась сравнением экспериментально полученных и полученных на модели значений параметров процесса.

Анализ результатов сравнения данных, полученных экспериментальным путем и рассчитанных на модели, показывает, что в последовательностях нет автокорреляции, а усредненные величины рассогласований между допустимыми погрешностями лабораторных анализов и номинальных значений технологических параметров почти равны нулю.

Сравнение результатов, полученных экспериментальным путем и рассчитанных на модели, сведены в таблицу 1.

Таблица 1.

Результаты обработки экспериментальных данных

Порядковый номер	Время моделирования, час.	Средноквадратическая погрешность				Отклонение значение дисперсии			
		C_{SO_3}	$C_{P_2O_5}$	C_{KXA}	H	C_{SO_3}	$C_{P_2O_5}$	C_{KXA}	H
1	6	0,252	-0,060	-0,13	0,003	0,836	0,235	0,086	0,033
2	8	-0,044	0,021	0,02	-0,001	0,172	0,069	0,220	0,004
3	12	0,255	-0,026	-0,21	0,005	0,846	0,102	0,139	0,053
.....									
11	32	0,149	0,007	-0,04	0,004	0,494	0,023	0,157	0,013
12	40	0,210	-0,080	-0,08	0,003	0,696	0,313	0,314	0,033

В таблицу 2 сведены расчетные максимальные абсолютные значения погрешностей измерений параметров процесса.

Таблица 2.

Максимальные абсолютные значения погрешностей измерения параметров процесса.

Технологический параметр (единица измерения)	Результате отклонение		
	$ \Delta \bar{x} _{\max}$	$\sigma_{\max}$	$ \Delta $
$C_{SO_3} (г / м^3)$	0,4	1,5	2,0
$C_{P_2O_5} (\%)$	0,2	0,7	0,5
$C_{KXA} (\%)$	0,1	0,4	0,4
$H (М)$	0,045	0,05	0,05

Поскольку максимальные значения $|\Delta \bar{x}|_{\max}$ и $\sigma_{\max}$ соизмеримы с величиной погрешностей измерений $|\Delta|$, можно сделать вывод о допустимости рассчитанных величин отклонения от экспериментальных при данной точности измерения величин технологических параметров. Помимо этого, при одних и тех же воздействиях входных параметров проведено сравнение выходных значений объекта и модели на всех выбранных последовательностях. Выборки проанализированы по критерию Фишера по значениям дисперсий $F_{э,м} = \sigma_1^2 / \sigma_2^2$, где σ_1^2 , σ_2^2 – наибольшее и наименьшее значение дисперсии.

Проанализировав статистические данные определено, что рассчитанные по приведенным выборкам значения критерия Фишера меньше табличных значений для всех случаев. Эти сравнения позволяют сделать утверждение о несущественности различий между выходными значениями объекта и модели. На этом основании можно утверждать, что модель адекватно объекту управлению.

В третьей главе озаглавленной «Нелинейное управление многосвязными системами на основе нейронных сетей» рассматриваются задачи управления и моделирования многосвязных систем на основе нейронных сетей. Возможным выходом из сложившейся ситуации может быть ПИД регулирование, которое учитывает возможное влияние на объект управления возмущения и возможную информацию о состоянии объекта, которую нельзя измерить. Для решения подобных проблем необходимо использовать модели и алгоритмы построения интеллектуальных автоматизированных систем управления, способных обучать регулятор методом запоминания и анализа информации об объекте, его системы управления и внешних воздействий, адаптироваться или самонастраиваться.

Систему автоматического регулирования с обратной связью можно представить в виде схемы, изображенной на рисунке 4.

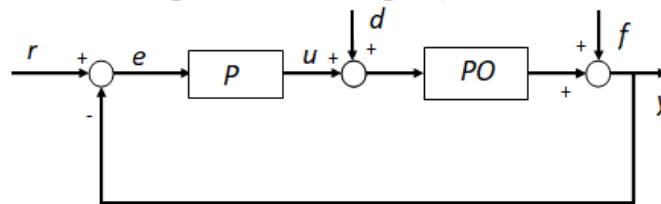


Рисунок 4. Структурная схема САР параметрами технологического процесса где: Р - регулятор, РО - регулируемый объект, r - управляющее воздействие или «уставка», e – сигнал рассогласования между выходной величиной управляющим уставкой, u - выходная величина регулятора, y - выходная величина.

Предполагается, что измеренная на выходе системы величина соответствует состоянию объекта, но в канале наблюдения существует аддитивная помеха $n(t)$ с неизменными свойствами. Параметры объекта управления не меняются во времени. Заменяем регулятор в приведенной на рисунке 4. САР на нейросетевой (НСР). Для сравнения характеристик используем ПИД регулятор как относящийся к наиболее распространенному типу, обеспечивающий устойчивость и определенное удовлетворительное качество управления.

Действие линейного регулятора объекта управления можно представить в виде функции $f(e_k, s)$:

$$u_k = f(e_k, s),$$

здесь S - внутреннее состояние регулятора, которое в каждом такте времени меняет свое значение по определенному правилу.

Нейросетевой регулятор $N^p(i_k)$, которым мы заменяем линейный, должен также имитировать реальный регулятор $f(e_k, s)$.

Используя понятие среднеквадратичного отклонения критерия, задачу синтеза НСР можно представить в виде:

$$\sum_k (f(e_k, s) - N^p(i_k))^2 \rightarrow \min_{\forall i_k \in I},$$

где i_k - доступная информация о системе управления к моменту времени t_k ;

e_k - ошибка управления, I - это область возможных значений t_k для регулятора.

Чтобы сравнить результаты формирования входного вектора НСР, полученных по различным вариантам, была проведена серия компьютерных экспериментов. Эксперименты были проведены в условиях стохастической «уставки» с учетом воздействия случайных помех на измеряемые выходные значения объекта управления при значении формирующего фильтра «уставки»

$$R^*(z) = \frac{0.625z}{z-0.779} \text{ и помехи } N^*(z) = 0.35. \text{ Управление объектом } P^*(z) = \frac{z}{z-0.5}$$

осуществлялось ПИД регулятором $C^*(z) = 0.35 + 0.45 \frac{z}{z-1} + 0.045 \frac{z^2 - 2z + 1}{z(z-1)}$.

Обучение сети нейрорегулятора с архитектурой $N_{x,7,3,1}^p$ (х размерность входного вектора) проводилось в течение 400 эпох на выборке длиной 200 при длине контрольной выборки 500. В качестве критерия обучения было использовано минимальное значения среднеквадратической ошибки воспроизведения. Результирующие численные значения, полученные в результате эксперимента, отражены в столбце А таблицы 3.

Анализируя результаты вычисления среднеквадратичной ошибки, можно видеть, что с увеличением памяти предыдущих входов незначительно уменьшается ошибка имитации, а результаты, полученные при условиях, представленных на шестой и второй строках таблицы 3 имеют очень близкие значения, что говорит о информационной эквивалентности этих вариантов для нейросетевого регулятора.

Применим разработанную методику замены линейного регулятора на нейросетевой для производства азотной кислоты. Производство азотной кислоты, как и производство ЭФК, является сложным и многосвязным процессом, и в обоих процессах имеются как общие процессы перемешивания, охлаждения и фильтрации, обеспечивающие качество продукции, так и контролируемые параметры: расход, давление, температура и уровень. На рисунке 5 представлен график сравнения результатов регулирования температуры в процессе производства ЭФК, полученные на основе линейного ПИД- регулятора и нейрорегулятора.

Таблица 3.

Точность имитации ПИД регулятора при различных значениях «уставки», помех и разных методах формирования входного вектора.

Обозначение Эксперимента	А	Б	В	Г
«Уставка»	$R^*(z)$		$\sin(t)$	0
Помеха	$N^*(z) = 0.35$	$N^*(z) = 0.68$	$N^*(z) = 0.35$	$N^*(z) = 0.35$

Результаты эксперимента

№ Пп	Входной вектор i_k	Среднеквадратическая ошибка на контрольной выборке			
1	e_k	0,4128	0,3906	0,3290	0,0027
2	e_k, e_{k-1}	0,3993	0,3710	0,3291	0,0022
3	$e_k \dots e_{k-2}$	0,3709	0,3459	0,2270	0,0016
4	$e_k \dots e_{k-3}$	0,3482	0,3284	0,2240	0,0013
5	$e_k \dots e_{k-4}$	0,3385	0,3163	0,2188	0,0013
6	$e_k, \Delta e_k$	0,3980	0,3738	0,2293	0,0023
7	r_k, e_k	0,0488	0,049	0,0049	0,0040

График сравнения результатов регулирования давления в процессе производства азотной кислоты, полученной на основе разработанной интеллектуальной системы с применением нейрорегулятора, и линейного регулятора представлен на рисунке 6.

Из приведенного графика сравнения результатов регулирования давления линейным ПИД регулятором и НР видно, что линейный регулятор тратит 6 секунд в то время как НР – 13 секунд, однако преимущество нейрорегулятора заключается в том, что он обеспечивает плавное регулирование и отсутствие отклонений в системе управления.

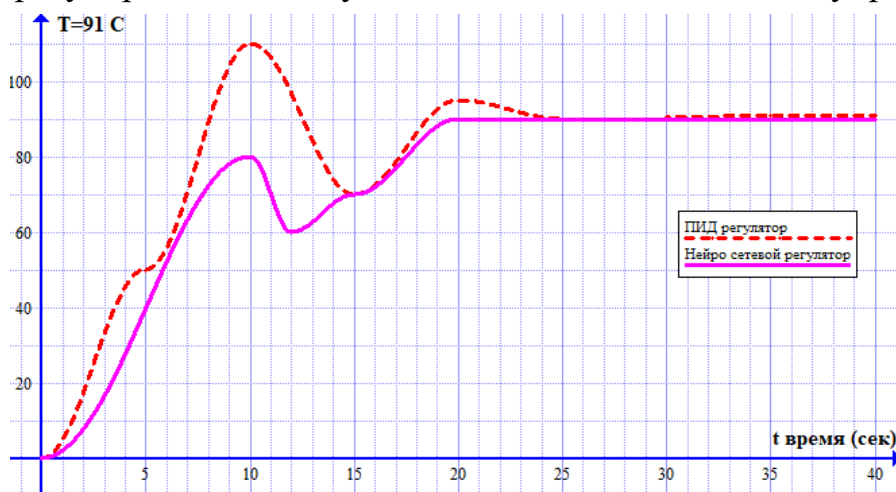
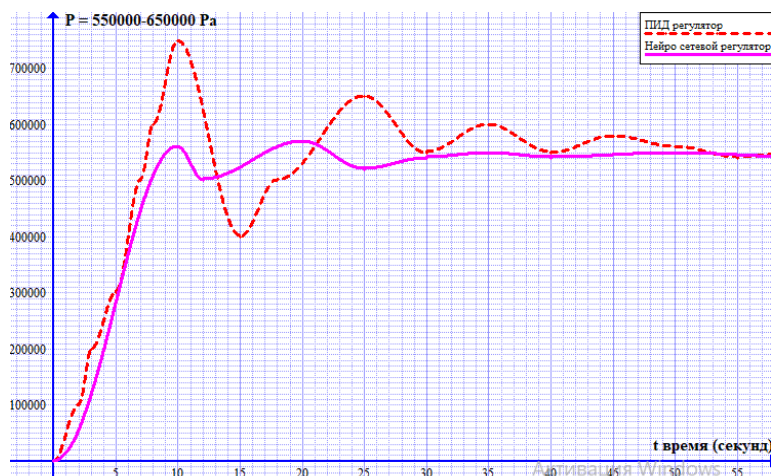


Рис. 5.
Регулирование температуры с помощью ПИД и нейрорегуляторов.

Рис.6. Регулирование давления в производстве азотной кислоты.



В четвертой главе «Управление нестационарными объектами на основе нейронных сетей и адаптация нейросетевого регулятора» - проведено сравнение разработанных методов непрерывной адаптации нейросетевого регулятора с подстройкой нейронной сети к изменениям динамических характеристик объекта и адаптации по сигналу рассогласования.

Для устранения недостатков, рассмотренного выше метода, в схему введен блок обнаружения изменений состояний управляемого объекта (рис.7.), который, обнаружив сигнал рассогласования с «уставкой», собирает дополнительную информацию с целью обучения нейронной сети идентификатора вне пределов контура управления. По завершении обучения нейронной сети идентификатора блок включается в схему адаптации нейросетевого регулятора, находящегося в активном режиме (рис.8), подобно схеме синтеза оптимального нейрорегулятора в стационарном случае.

Необходимо подчеркнуть, что в представленной схеме используются нейронные сети, соответствующие архитектуре в методе с непрерывной адаптацией (рис. 8).

Чтобы схема надежно функционировала в нестационарных ситуациях необходимо по возможности точнее определять периоды изменения характеристик объекта и соответствующим образом подстраивать его модель.

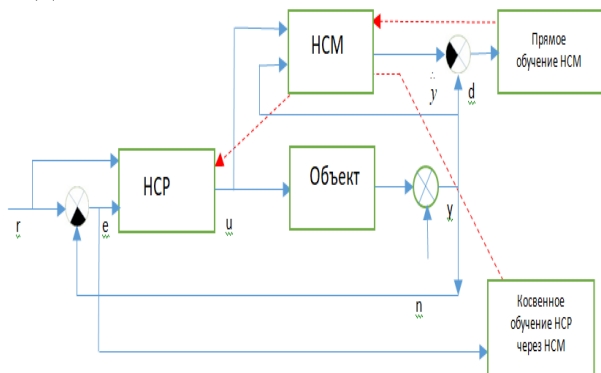


Рис. 7. Контур регулирования в стационарном состоянии.

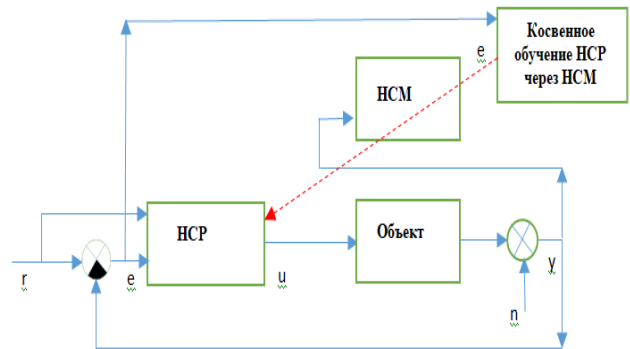


Рис. 8. Схема управления в установившемся режиме.

Проблема выявления рассогласования решается по алгоритму кумулятивных сумм (АКС). Для обеспечения надежности обнаружения сигнала рассогласования учитывается парное срабатывание в пределах расчетного значения T_{ad} . Подстройку нейросетевой модели объекта управления необходимо осуществлять вне контура управления. Качественное предсказание поведения объекта управления и обучение нейросетевого регулятора, произведенное на достаточно большом объеме обучающих данных, обеспечивает обучение нейронной сети.

Величина рассогласования может быть рассчитана по дисперсии случайного процесса с нормальным распределением. Для этого слагаемые уравнения, отображающего распределение точек, вычисляемых по алгоритму кумулятивных сумм должны быть вычислены по формуле:

$$z_i = -\frac{1}{2} \ln \frac{\sigma_1^2}{\sigma_0^2} - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sigma_1^2} - \frac{1}{\sigma_0^2} \right) d_i^2.$$

При этом, уравнение для выполнения элементарной проверочной процедуры, отображающее точки в классическом алгоритме кумулятивных сумм, выражается соотношением:

$$S_i = \begin{cases} 0, & i = 0, \\ \max(0; S_{i-1} + z_i), & i > 0. \end{cases}$$

Критерием рассогласования является достижение точкой S_i решающей границы H .

$$S_i > H.$$

При выполнении данного условия рассогласование считается обнаруженным, проверочная процедура заканчивается, если нет необходимости начинать следующую. Увеличение порога приводит к увеличению задержки между действительным отклонением параметров процесса и моментом появления отклонения. Малые значения рассогласований могут приводить к ложным срабатываниям из-за случайности процесса.

По определенному компромиссному значению между T_{ad} и T_{fa} методом подбора H происходит настройка алгоритма кумулятивных сумм.

В результате проведенных нами экспериментов выявилось некоторое несоответствие измеренных и рассчитанных по предложенной методике характеристик алгоритма. Это отклонение, по нашему мнению, заключается в том, что неточность идентификации в исследуемой системе управления является случайной, а технологический процесс - коррелированным. Проведенные исследования позволили определить зависимости характеристик T_{ad} и T_{fa} от величины порога H и использовать их для коррекции алгоритма (рис. 9).

Формирование обучающей выборки для настройки нейросетевой объект при обнаружении рассогласования зависит от размера обучающей выборки N и способа ее формирования. Качество обучения нейросетевого регулятора зависит от того, как настроен нейросетевой объект, а качество настройки нейросетевого объекта в свою очередь зависит от длины обучающей выборки. При увеличении длины обучающей выборки снижается эффективность управления, а в отдельных случаях это может привести и к потере устойчивости.

С учетом этого в работе в качестве определяющей выборки использованы составляющие $\{u_k\}_N$ и $\{y_k\}_N$, представляющие отрезок от начальной точки отсчета t_0 последней контрольной процедуры АКС до момента t_1 получения сигнала о наличии рассогласования плюс M аналогичных значений, появившихся до момента t_0 , так как АКС выдает сигнал рассогласования с запаздыванием относительно времени начала изменения характеристик процесса. Так как временной интервал $t_1 - t_0$ есть величина случайная, то и обучающая выборка тоже будет случайной длины

размером $N = 2M$, который можно принять за минимальный размер обучающего множества. Его можно использовать для настройки нейронной сети идентификатора, как только будет обнаружен сигнал рассогласования.

При очень малой длине интервала $t_1 - t_0$ размера этой выборки для качественного обучения нейросетевого объект может оказаться недостаточным. В этом случае возникает необходимость оценки параметра двумерного распределения (u, y) по предварительно полученным данным и собирать значения наблюдаемых параметров u_k, y_k до наполнения выбранной области с требуемой плотностью.

С целью изучения свойств и получения численных оценок качества нейросетевого управления для случая с постоянной адаптацией и с адаптацией по обнаружению рассогласования на компьютерной модели был проведен ряд вычислительных экспериментов. Чтобы оценить качество были выбраны два критерия: среднеквадратическое отклонение управления, показывающее информацию об интегральных ошибках и величины разброса ошибки управления, показывающие возможные максимальные значения ошибок, чреватых выходом ОУ за пределы, допустимые технологическим регламентом. В экспериментах со стационарным объектом регулирования исследовалось действие НС с системами управления в средствах, не требующих реконфигурации. При применении нейронной сети управления с непрерывной адаптацией (рис.10) случались существенные колебания регулирования с моментом $2 \times 10^5 \dots 5 \times 10^5$ подотчетов и амплитудой от 0.05 до 6.

Анализируя проведенные исследования можно утверждать, что колебания среднеквадратической неточности идентификации d в системе непрерывной адаптации возникали в противофазе неточности регулирования, а нейрорегулятор обеспечивал незначительные колебания около среднеквадратической погрешности регулирования 0.182.

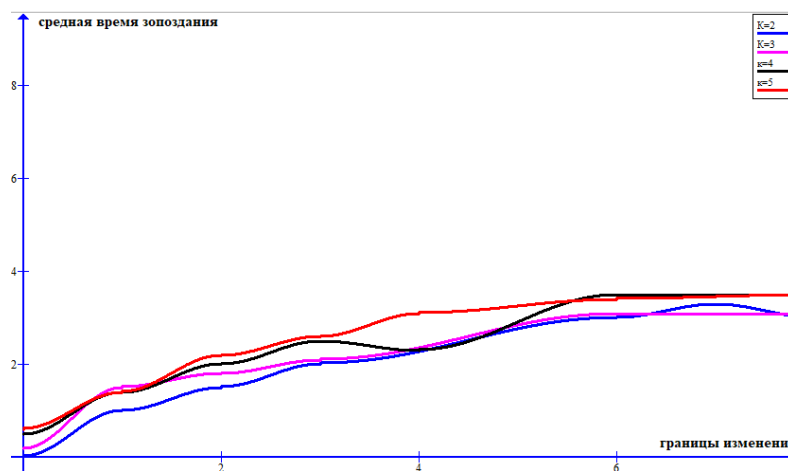


Рис. 9. Зависимость среднего времени запаздывания от порога N для различных номинальных разрядок K .

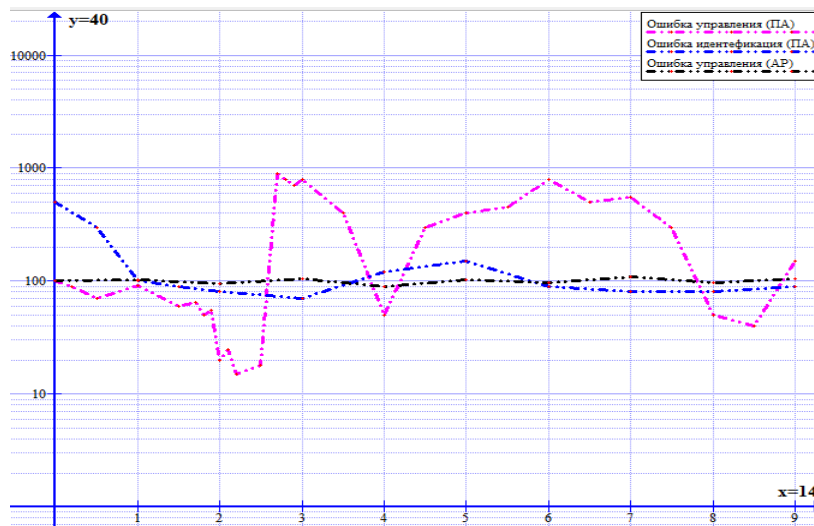
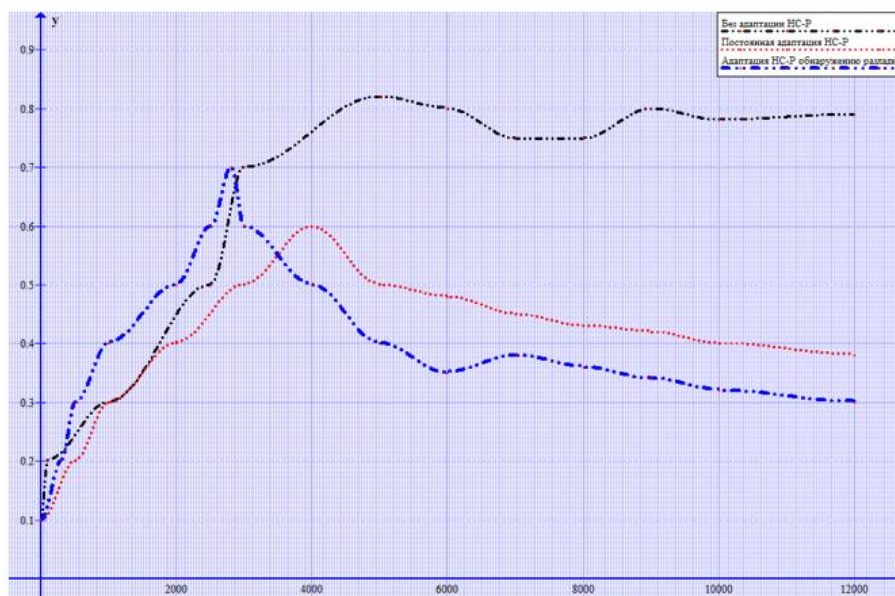


Рис. 10. колебания среднеквадратической неточности идентификации d в системе непрерывной адаптации.

На рис.11 показаны среднеквадратические погрешности при трех разных обстоятельствах:

Отсутствие адаптации регулятора нейронной сети, непрерывная адаптация значений после диагностики рассогласования, и обучения нейросетевого объекта вне системы. Временные преобразования характеристик объекта и начала адаптации регулятора нейронной сети в комбинации с адаптацией по рассогласованию отмечены вертикальными линиями.



Время, отсчеты

Рис.11. Среднеквадратическая погрешность управления при различных вариантах адаптации.

Из анализа рисунка следует, что реакция нейрорегулятора с непрерывной адаптацией на изменения в объекте достаточно быстрая, а погрешность регулирования при этом не превышает 0.55. Для применения

метода адаптации, основанном на определении рассогласования, требуется сбор информации для перенастройки регулятора нейронной сети.

Параметры распределения погрешности управления процессом в ходе адаптации в динамических условиях сведены в таблицу 4.

Таблица 4.

Параметры распределения погрешности управления процессом в ходе адаптации в динамических условиях

	Минимум	Максимум	Среднее	Дисперсия
Непрерывная адаптация	-12.14	3.52	-5.19	10.47
Адаптация по рассогласованию	-1.77	1.98	-0.0099	0.44

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Разработана линеаризованная динамическая модель процесса экстракции фосфорной кислоты. Модель позволяет создать алгоритм автоматического управления технологическим процессом.

2. Обоснована возможность нахождения параметра массового расхода сырья для использования функции изменения концентраций от времени пребывания компонентов в реакторе;

3. Разработана методика замены традиционных линейных регуляторов на нейросетевые. Метод дает возможность создания интеллектуальных систем управления многосвязными динамическими объектами с учетом выбора архитектуры нейросети и выявления факторов, определяющих качество имитации исходного регулятора.

4. На основе нейросетевой инверсии объекта управления создан метод синтеза оптимального нейрорегулятора, не требующий аналитической идентификации объекта.

5. Разработаны рекомендации для нейросетевой идентификации объекта управления. Рекомендации позволяют определение номенклатуры и количества входов, структуры сети и формы пробного сигнала.

6. Для управления динамическими с непредсказуемыми изменениями его характеристик предложен метод и алгоритм управления на нейросетевой основе, что дает возможность повышения качества управления.

7. Разработанный метод управления нестационарными объектами на нейросетевой основе реализован на АО «Навоизот». В результате получили 0,5 % экономии энергосбережения.

8. Разработанные метод и алгоритм управления на нейросетевой основе могут быть реализованы и на других объектах с подобными характеристиками.

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

NAVOI STATE MINING INSTITUTE

SATTAROV OLIM USMONQULOVICH

**METHODS FOR THE SYNTHESIS OF INTELLECTUAL CONTROL
SYSTEMS OF COMPLEX TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR THE
PRODUCTION OF INORGANIC SUBSTANCES**

05.01.08 – Automation and control of technological processes and manufactures

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

Tashkent – 2021

The theme of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan in number B2020.4.PhD/T1952.

The dissertation has been prepared at Navoi state mining institute.

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

Scientific adviser:

Yusupbekov Nodirbek Rustambekovich
doctor of technical sciences, professor, academician

Official pponents:

Ismailov Mirkhalil Agzamovich
doctor of technical sciences, professor

Iskandarov Zokhid Ergashboevich
doctor of Philosophy (PhD) in technical sciences

Leading organization:

LLC "Chemical automation"

Defense of dissertation will take place in «19» 06 2021 at 12⁰⁰ o'clock at a meeting of the scientific council DSc.03/30.12.2019.T.03.02 at the Tashkent state technical university (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (+99871) 246-46-00; fax: (+99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

The doctoral dissertation could be reviewed at the Information-resource center of Tashkent State Technical University (registration number 211). (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (+99871) 246-03-41.)

Abstract of dissertation sent out on «04» 06 2021 year.
(mailing report № 4, on «27» 02 2021 year).



F.T.Adilov
Deputy chairman of the Scientific council
for the award of academic degrees,
doctor of technical sciences, professor

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

H.Z.Igamberdiyev
Chairman of the Scientific Seminar
at the Scientific Council for the award of academic degrees,
doctor of technical sciences, professor, academician

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research work consists in the development of methods and algorithms for the synthesis of intelligent control systems for complex technological processes of the production of inorganic substances.

The object of the research work are multiply connected non-stationary dynamic objects and their control systems.

Scientific novelty of the research work is as follows:

based on empirical-statistical experiments, relationships were established between the main input and output variables of the phosphoric acid extraction process, which make it possible to more fully reveal the existing regularities;

the regularity of changes in the concentrations of components from their residence time in the reactor was established and on this basis, the possibility of determining the mass flow rate of reagents was created;

algorithms for designing neural network controllers have been developed based on the conditions that determine the adequacy of the original PID controller and the formation of optimal training samples;

a neural network multilevel control system with an adaptation algorithm of a neuro-controller based on a mismatch signal has been developed, designed to control the process of extraction of phosphoric acid.

Implementation of the research results. Based on the scientific results obtained for the development of methods for the synthesis of intelligent control systems for complex technological processes for the production of inorganic substances:

the possibility of using the function of changing the concentrations from the residence time of the components in the units for finding the mass flow rate of nitric acid was substantiated and implemented at JSC "NavoiyAzot" (reference of JSC "O'zkimyosanoat" No. 14-5014 of December 21, 2020). As a result, reliability is achieved in determining the mass flow rate of nitric acid.

the developed software that simulates the change in the concentration of reagents in time during a chemical reaction, contributing to the creation of training samples was introduced at JSC "Navoiyazot" (reference of JSC "O'zkimyosanoat" No. 14-5014 of December 21, 2020). As a result, we got 0.5% energy saving;

the proposed method and algorithm of control on a neural network basis for controlling dynamic objects with unpredictable changes in its characteristics has been implemented at JSC "Navoiyazot" (reference of JSC "O'zkimyosanoat" No. 14-5014 of December 21, 2020). As a result, the quality of process control has been improved;

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

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (Часть I; Part I)

1. Мухитдинов Д.П., Кадыров Ё.Б., Саттаров О.У., Бойбутаев С.Б. Пропорционально-интегрально-дифференцирующие регуляторы в автоматизированных системах управления технологическим процессом // Научно - технический и производственный журнал «Горный вестник Узбекистана» Навои, 2014.-№4 (59), -С.103-106. (05.00.00, № 7)
2. Yusupbekov N.R., Mukhitdinov D.P., Sattarov O.U., Boybutayev S.B. Construction of a Neural Network Using an Approach to a Genetic Algorithm // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, India, Vol. 6, Issue 6, June 2019.-PP 9837-9841. (05.00.00, № 8)
3. Мухитдинов Д.П., Кадиров Ё.Б., Саттаров О.У. Разработка многосвязной динамической модели процесса экстракции фосфорной кислоты в дигидратном режиме // Узбекский научно-технический и производственный журнал, Композицион материалы. ISSN 2091-5527, Узбекистан, Ташкент, № 2, 2019.-С. 132-135. (05.00.00, №13)
4. Yusupbekov N.R., Mukhitdinov D.P., Kadirov Yo.B., Sattarov O.U., Samadov A.R. Control of non-standard dynamic objects with the method of adaptation according to the misalignment based on neural networks. // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. Volume 8, Issue: 9, 2020. -PP. 5273-5278.(3, Scopus)
5. Yusupbekov N.R., Mukhitdinov D.P., Sattarov O.U.: Neural network model for adaptive control of nonlinear dynamic object. In: Aliev R.A., Yusupbekov N.R., Kacprzyk J., Pedrycz W., Sadikoglu F.M. (eds) 11th World Conference “System for Industrial Automation”, WCIS-2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1323. 229-236 (2021). Springer, Cham. (3, Scopus)

II бўлим (Часть II; Part II)

6. Саттаров О.У. Автоматизированный контроль параметров производства и управление технологическим процессом производства АФУ / Республиканская научно-техническая конференция “Горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и перспективы инновационного развития” – Навои, 15-16 ноября 2016. –С. 471.
7. Саттаров О.У. Азот- Фосфорли ўғит ишлаб чиқариш технологик жараёнини параметрларини автоматик назорат қилиш / IX Международная научно-техническая конференция “Достижения, проблемы и современные тенденции развития горно-металлургического комплекса ” Навои, 14-16 июня, 2017.- С. 501.

8. Мухитдинов Д.П., Саттаров О.У. Анализ проблем управления технологическим процессом производства экстракционной фосфорной кислоты / Международной научно-технической конференции «Перспективы инновационного развития горно-металлургического комплекса». Навои, 22-23 ноября, 2018.-С. 391-392.
9. Саттаров О.У. Исследование процесса получения азотно-фосфорных удобрений на основе плава аммиачной селитры и фосфоритов // Научно – практический журнал «Современные материалы, техника и технологии», Курск, 2016, №5 (8).-С. 164-170.
10. Саттаров О.У., Каландаров И.И., Кучкаров О.М., Туйбоева Д.У. Исследование технологического процесса получения экстракционной фосфорной кислоты / Сборник статей международной-научно-практической конференции, «Традиционная и инновационная наука: история, современное состояние, перспективы». –Уфа, 11 января 2019.- С. 83-86.
11. Юсупбеков Н.Р., Мухитдинов Д.П., Саттаров О.У., Бойбутаев С.Б. Разработка моделей и алгоритмов построения интеллектуальных систем автоматического управления для обучения, адаптации или настройки регуляторов / International conference on integrated innovative development of Zarafshan region: achievements, challenges and prospects. 27-28 November, 2019 Navoi, Uzbekistan -PP. 602-607
12. Саттаров О.У., Косимбоева М.М. Экстракцион фосфор кислота олиш жарёнини автоматлаштириш / Материалы докладов I- Республиканской научно-практической интернет - конференции с международным участием. «Инновации в науке и образовании». Андижан, 20 июля 2020 – С. 97.
13. Мухитдинов Д.П., Саттаров О.У., Уринов Ш.Р., Бойбутаев С.Б. Программа для определения изменения концентрации // Программа для ЭВМ. Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 06924 от 18.09.2019 г.
14. Мухитдинов Д.П., Саттаров О.У., Кадиров Ё.Б., Бойбутаев С.Б. Программа для определения параметров построения и изучения нейронной сети для управления процессом// Программа для ЭВМ. Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 06925 от 18.09.2019 г
15. Юсупбеков Н.Р., Мухитдинов Д.П., Саттаров О.У. Определение параметров построения и обучения нейронной сети для управления процесса экстракции. Программа для ЭВМ. Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 09681 от 07.12.2020 г.

Автореферат “Техника фанлари ва инновация” Илмий журнали тахририятида тахрирдан ўтказилди ҳамда ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларини мослиги текширилди.

Бичими: 84x60 $\frac{1}{16}$. «Times New Roman» гарнитураси.
Рақамли босма усулда босилди.
Шартли босма табағи: 3. Адади 100. Буюртма № 45/21.

Гувоҳнома № 10-3719
«Тошкент кимё технология институти» босмахонасида чоп этилган.
Босмахона манзили: 100011, Тошкент ш., Навоий кўчаси, 32-уй.