

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ва
ЭНЕРГЕТИКА ВА АВТОМАТИКА ИНСТИТУТИ
ҲУЗУРИДАГИ ФАН ДОКТОРИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ БЕРУВЧИ
16.07.2013.Т.02.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

СИДИКОВ ИСАМИДИН ХАКИМОВИЧ

**НОАНИҚЛИК ШАРОИТИДА ДИНАМИК ОБЪЕКТЛАРНИ
БОШҚАРИШ ЖАРАЁНЛАРИНИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЛАШТИРИШ
МОДЕЛЛАРИ ВА АЛГОРИТМЛАРИНИ ЯРАТИШ**

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

ДОКТОРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2016

Докторлик диссертацияси автореферати мундарижаси
Оглавление автореферата докторской диссертации
Content of the abstract of doctoral dissertation

Сидиков Исамидин Хакимович Ноаниқлик шароитида динамик объектларни бошқариш жараёнларини интеллектуаллаштириш моделлари ва алгоритмларини яратиш	3
Сидиков Исамидин Хакимович Конструирование моделей и алгоритмов интеллектуализации процессов управления динамическими объектами в условиях неопределенности.. ..	29
Sidikov Isamidin Hakimovich Designing models and algorithms intellectualization processes of dynamic objects under conditions of uncertainty	55
Эълон қилинган ишлар рўйхати Список опубликованных работ List of published works	80

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ва
ЭНЕРГЕТИКА ВА АВТОМАТИКА ИНСТИТУТИ
ҲУЗУРИДАГИ ФАН ДОКТОРИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ БЕРУВЧИ
16.07.2013.Т.02.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

СИДИКОВ ИСАМИДИН ХАКИМОВИЧ

**НОАНИҚЛИК ШАРОИТИДА ДИНАМИК ОБЪЕКТЛАРНИ
БОШҚАРИШ ЖАРАЁНЛАРИНИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЛАШТИРИШ
МОДЕЛЛАРИ ВА АЛГОРИТМЛАРИНИ ЯРАТИШ**

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

ДОКТОРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2016

Докторлик диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида №30.09.2014/В2014.5Т309 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз) Илмий кенгаш веб-саҳифаси (www.tdtu.uz) ва “ZIYONET” таълим ахборот тармоғида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи: **Игамбердиев Хусан Закирович**
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар: **Бекмуратов Тулкин Файзиевич**
техника фанлари доктори, профессор, академик

Адилов Фарух Тулкунович
техника фанлари доктори

Назаров Улугбек Сутанович
техника фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот: **Тошкент кимё-технология институти**

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ва Энергетика ва автоматика институти ҳузуридаги 16.07.2013.Т.02.01 рақамли илмий кенгашнинг 2016 йил “23” июль соат 10⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўч., 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@edu.uz).

Докторлик диссертацияси билан Тошкент Давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (14 рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўч., 2. Тел.: (99871) 246-03-41).

Диссертация автореферати 2016 йил “07” июль куни тарқатилди.
(2016 йил “07” июль даги 3 рақамли реестр баённомаси)

Н.Р.Юсупбеков

Фан доктори илмий даражасини берувчи
илмий кенгаш раиси
т.ф.д., профессор, академик

О.О.Зарипов

Фан доктори илмий даражасини берувчи
илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.д., доцент

Ш.М.Гулямов

Фан доктори илмий даражасини берувчи
илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси
т.ф.д., профессор

КИРИШ (докторлик диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Ҳозирги кунда дунё амалиётида автоматлаштириш соҳасида технологик жараёнларнинг интеллектуал технологиялари ютуқларига асосланган юқори самарадорликка эга бошқариш тизимларини яратиш жараёни етакчи ўринни эгаллайди. Жадал ривожланаётган замонавий ахборот жамиятида жуда катта маълумотлар оқимини таҳлил қилиш ва қайта ишлашга асосланган реал динамик тизимларни бошқариш долзарб муаммолардан бири ҳисобланади. Бу борада ривожланган чет эл мамлакатларида, яъни АҚШ, Германия, Япония, Жанубий Корея ва бошқа давлатларда маълум ютуқларга эришилган бўлиб, уларда саноат ва носаноат соҳаларида ишлаб чиқариш самарадорлигини ошириш ва маҳсулотларнинг рақобатбардошлигини таъминлаш учун технологик жараёнларни бошқариш усуллари тақомиллаштиришга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Ҳозирги вақтда уларда технологик объектларнинг хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда қўлланилаётган интеллектуал бошқариш тизимлари умумий ишлаб чиқариш корхоналарининг 40-45% ни ташкил этади¹. Бунинг натижасида маҳсулот ва энергия сарфининг тежамкорлиги 35% гача камайишига эришилган².

Ўзбекистон Республикасида технологик жараёнларни ва ишлаб чиқаришнинг юқори самарадорликка эга бўлган бошқариш тизимларини яратишга оид тадбирларни самарали ташкил қилиш юзасидан кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилди. Бу борада, жумладан, ишлаб чиқаришнинг турли соҳаларидаги алоҳида технологик объектларни юқори самарали бошқариш тизимларини яратиш, бошқариш жараёнларини интеллектуаллаш, интеллектуал бошқариш тизимларининг тадқиқ этиш усуллари тақомиллаштириш ва жараёнларни бошқаришнинг интеллектуаллаш воситаларини яратишга бағишланган қатор илмий-тадқиқот ишлари олиб борилган.

Жаҳонда турли технологик объектларни бошқариш жараёнини интеллектуаллаштиришда бошқариш тизимининг нейро-қатъиймас моделлари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш, билимлар базасини шакллантириш ва улар асосида бошқариш тизимини тақомиллаштириш муҳим аҳамият касб этмоқда. Бу борада мақсадли илмий-тадқиқотларни, жумладан, қуйидаги йўналишлардаги илмий изланишларни амалга ошириш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади: динамик объектларнинг хусусиятларини ҳисобга олиш имконини берувчи нейрон тўрларни ва қатъиймас мантиқ асосида жараённинг гибрид моделларини қуриш; бошқариш назариясининг замонавий усуллари ҳамда интеллектуаллаш тамойилларини биргаликда қўллаш асосида бошқаришни интеллектуаллаштириш; бошқариш жараёнларини интеллектуаллаштиришнинг техник ва дастурий воситаларини ишлаб чиқиш; мураккаб ва ўз навбатида юқори самарали мослашувчан ва робастли бошқарув алгоритмларини яратиш; моделлар ва бошқариш алгоритмлари асосида билимлар базасини яратиш;

¹ Электрон журнал «Системный анализ в науке и образовании», №2, 2015 ([www.http://sanse.ru](http://sanse.ru));

² Международный журнал «Проблемы теории и практики управления», 5/2014 ([www.https://istina.msu.ru](https://istina.msu.ru)).

динамик объектларни ноаниқлик шароитида автоматлаштирилган мониторинги ва бошқаришни интеллектуаллаштиришнинг дастурий-инструментал воситасини ишлаб чиқиш.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2013 йил 27 июндаги ПҚ-1989-сон «Ўзбекистон Республикаси Миллий ахборот-коммуникация тизимини янада ривожлантириш чора-тадбирлари ҳақида»ги Фармони ҳамда мазкур фаолиятга тегишли барча меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

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

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи³. Турли хил функционал вазифага эга бўлган технологик жараёнлар ва ишлаб чиқаришни интеллектуал бошқариш тизимларини яратиш ва ишлаб чиқишга йўналтирилган илмий изланишлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасалари, жумладан, Togai Infra Logic, Omron, Micro Devices, Johnson Space Centre, Department of electron and Intellegent System, Honeywell (АҚШ), LIFE халқаро лабораторияси, Hitachi, Mitsubishu Electric, Ibaraki University, Kawasaki Medical School (Япония), Siemens (Германия), Wecan Agrotexservis (Жанубий Корея) ҳамда олий таълим муассасалари: ZIFIT, BISC(АҚШ), Зиген Университети (Германия), Донгук университети (жанубий Корея), Корея мультимедия жамияти, Инха университетида (Ўзбекистон) кенг қамровли илмий тадқиқот ишлари олиб борилмоқда.

Ноаниқлик шароитида динамик объектларни бошқариш жараёнларини интеллектуаллаштириш моделлари ва алгоритмларини такомиллаштиришга оид жаҳонда олиб борилган тадқиқотлар натижасида қатор, жумладан, қуйидаги илмий натижалар олинган: учиш аппаратининг интеллектуал бошқариш тизими ишлаб чиқилган (Johnson Space Centre, АҚШ); сабзаёт маҳсулотларини сақлаш жараёнида харорат режимини қатъиймас бошқариш тизими ишлаб чиқилган (Wecan Agrotexservis Жанубий Корея); автомобилларда микроиклимни интеллектуал бошқариш тизимлари ишлаб чиқилган (Hitachi, Япония); лифтларни биттали ва гуруҳли қатъиймас бошқариш тизимлари ишлаб чиқилган (Mitsubishi Electric, Япония); интеллектуал датчиклар ишлаб чиқилган (Siemens, Германия); тиббий эксперт тизими ишлаб чиқилган (Kawasaki Medical School, Япония); Нанбоку йўналиши бўйича метрополитен поездларининг ҳаракатини интеллектуал бошқариш тизими ишлаб чиқилган (LIFE халқаро лабораторияси, Япония); интеллектуал бошқарилувчи роботлар ишлаб чиқилган (Ibaraki University, Япония); интеллектуал бошқаришга асосланган микроконтроллер-

³Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи <http://www.works.doklad.ru>, <http://www.refdt.ru>, <http://www.km.ru>, <http://osp.ru/os>, Захаров В. Интеллектуальные технологии в современных системах управления // Международный журнал «Проблемы теории и практики управления». - М.: №5/2005. -С.96-100 ва бошқа манбалар асосида ишлаб чиқилган.

лар ишлаб чиқилган (Department of electron and Intellegent System, АҚШ).

Дунёда замонавий ахборот технологиялари ютуқларини ўз ичига олган динамик объектларнинг интеллектуал бошқариш тизимларини яратишнинг инструментал воситаларини ишлаб чиқиш бўйича қатор, жумладан, қуйидаги устувор йўналишларда тадқиқотлар олиб борилмоқда: ноаниқликни ҳисобга олган ҳолда динамик объектларни математик моделини шакллантириш; технологик жараёнларни бошқариш жараёнини нейро-қатъиймас моделларини яратиш; динамик объектларни бошқариш жараёнларини интеллектуаллашнинг алгоритмларини ишлаб чиқиш; динамик объектларни автоматлаштирилган мониторинги ва бошқаришни инструментал воситасини яратиш; ноаниқлик шароитида динамик объектларни бошқариш жараёнини интеллектуаллаш масалаларини ечиш учун дастурлар мажмуасини ишлаб чиқиш.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Динамик объектларни бошқариш жараёнларини интеллектуаллаштириш ва уларда содир бўладиган турли хил ноаниқликларни ҳисобга олиш имконини берувчи юқори самарали бошқариш тизимларни яратишнинг назарий ва амалий масалаларини ечишда қатъиймас тўпламлар тавсифи асосида интеллектуаллашган тизимларни синтезлаш алгоритмларини яратиш, нейро-ноқатъий моделлар асосида нефть-кимёвий мажмуаларнинг технологик параметрларини башоратлаш ва бошқариш алгоритмларини ишлаб чиқиш, нейрон тўрлар ва қатъиймас мантиққа асосланган турли соҳалар технологик объектларини моделлаштириш жараёнларини аппарат-дастурий таъминотини яратиш, структураси, параметрлари ва вазиятлари ноаниқ шароитлардаги технологик объектларни ва жараёнларни интеллектуал бошқариш тизимларини яратиш масалалари бир қатор олимлар: Abraham A., Aliev R.A., A.Allgöwer, Griffin M.F., Hunt K.J., Irwin G., Kraszewski P., Li Ning, Li Shao Yuan, Piegat A., Stolcman S., Sugeno M., Tanaka K., Wang H.O., Warwick K., Xi Yu Geng, Zadeh L.A., Zheng A., Алтунин А.Е., Бобко, В.Д., Борисов А.Н., Васильев С.Н., Верлань А.Ф., Востров Н.Н., Пупков К.А., Тарасов В.Б., Ульянов С., Абдуллаев Д. А., Абуталиев Ф.Б., Адилов Ф.Т., Арипов М.М., Бекмуратов Т.Ф., Гулямов Ш.М., Жуманов И.И., Игамбердиев Х.З., Кадиров А.А., Комилов М.М., Марахимов А.Р., Мухамедиева Д.Т., Рахматуллаев М.А., Усманов Р.Н., Юсупбеков Н.Р. ва бошқаларнинг ишларида кўриб чиқилган.

Мураккаб нозичлиқли динамик объектларни бошқариш масалаларини ечиш билан боғлиқ тадқиқотлар бир қатор олимлар томонидан олиб борилган, жумладан, F.L.Smidth, P.A.Алиев, У.Мак Каллак, У. Питтс, Т.Кохонен, Дж.Хопфилд ва бошқалар таҳлили шуни кўрсатадики, ҳозирги кунда ноаниқлик шароитида нейро-ноқатъий контроллерлар турли интеллектуал тизимлар яратилган ва саноатда қўлланилмоқда ва маълум даражада ижобий натижаларга эришилган.

Эксперт тизимларни қўллаш орқали интеллектуал бошқариш тизимларини яратиш масалаларига бағишланган ишлар М.Сугено, Т.Ямакова, Т.Такаги, С.Ясунобу, Л.Заде, Н.Г.Ярушкина, П.Жексон, R. Davis, Т.Саати, Е.Мамдани, Д.А.Поспелов, Т.Ф.Бекмуратов, Н.Р.Юсупбеков ва бошқа тадқиқотларда динамик объектлар параметрлари ва

характеристикаларига тегишли ноаниқлик ҳамда технологик жараёнларни моделлаштириш ва бошқаришда маълумотларнинг ноаниқлиги ва қатъиймаслигини бевосита ҳисобга олиш зарурлиги муаммолари кўрилган. Шу билан бирга, илмий нашрларда ноаниқлик шароитида фаолият кўрсатувчи динамик объектларнинг адаптив нейро-қатъий моделлари ва алгоритмларини яратиш асосида интеллектуал бошқаришнинг самарали усуллари ишлаб чиқиш, маълум ёндашувларни тизимлаштириш ва бошқариш жараёнларини интеллектуал бошқариш тизимини яратишнинг инструментал воситасини яратиш ва келгусида такомиллаштиришга бағишланган илмий изланишлар ҳозирги кунда етарли даражада кўрилмаган.

Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасининг илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университетининг илмий-тадқиқот ишлари режасининг 0.80.02 – «Узлуксиз ва дискрет технологик объектларни кўп сатҳли иерархик бошқариш тизимларини таҳлил ва синтез қилиш масалаларида бошқариш ечимини дастурий-алгоритмик қўллаб-қувватловчи интеллектуал тизимларни ишлаб чиқиш ва татбиқ этиш» (2001-2003); П20.22 - «Технологик объектларни иерархик мультимикропроцессорли бошқариш тизимларини автоматлаштирилган тадқиқ қилишнинг усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш» (2004-2006); А-14.002 – «Мураккаб динамик объектларни бошқариш жараёнларини интеллектуаллаш асосида моделлаштирувчи, башоратловчи ва адаптив бошқариш тизимларини яратишнинг инструментал воситасини ишлаб чиқиш» (2006-2008); ИТД-5-36 - «Нефть-кимёвий қурилма ва мажмуаларини технологик хавфсизлиги мониторингининг ахборот-аналитик интеллектуал тизимини яратиш» (2012-2014) ва А-5-42 – «Априор ноаниқлик шароитида технологик объектларнинг автоматлаштирилган мониторинги ва бошқаришнинг интеллектуаллаштиришни дастурий-инструментал воситаси» (2015-2017) мавзуларидаги илмий лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади ноаниқлик шароитида динамик объектларни бошқариш жараёнларини интеллектуаллаштириш моделлари ва алгоритмларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

ишлаб чиқариш ҳолатларининг ноаниқлик шароитидаги динамик объектларни бошқариш тизимларини тадқиқ қилишнинг назарияси ва амалиётининг замонавий ҳолатини тизимли таҳлил қилиш;

ноаниқлик шароитида мураккаб динамик объектларни бошқариш жараёнини интеллектуаллашнинг тамойилларини ва услубиятини ишлаб чиқиш;

ноаниқлик шароитида динамик объектларни бошқариш жараёнини интеллектуаллашган моделлаштириш масаласини структуралаш ва алгоритмлаш;

мураккаб динамик объектларнинг адаптив нейро-қатъиймас бошқариш тизимини таҳлил қилиш ва синтезлаш алгоритмларини ишлаб чиқиш;

динамик объектларнинг тадқиқ қилиш алгоритмларини ва моделлаштиришни алгоритмик асосини ишлаб чиқиш;

ишлаб чиқилган динамик объектларни бошқариш тизимларини тадқиқ қилишнинг моделлари ва алгоритмлари асосида технологик жараёнларни автоматлаштирилган бошқариш масалаларини ечишда қўллаш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида ишлаб чиқариш вазиятлари аниқмас ва фаолияти ноаниқлик шароитидаги динамик объектларнинг бошқариш тизими қаралган.

Тадқиқотнинг предмети - нейро-қатъиймас моделлар асосида ноаниқ шароитларда динамик объектларнинг бошқариш жараёнларини интеллектуаллаш усуллари ва тамойиллари.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида тизимли таҳлил, қатъиймас тўпламлар назарияси, математик моделлаштириш, автоматик бошқариш назарияси, интеллектуал бошқариш назарияси, сунъий интеллект назарияси ва оптималлаштириш усуллари қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

ечиладиган масалаларнинг асосий синфлари аниқланган ва ноаниқлик шароитида фаолият кўрсатаётган динамик объектларнинг бошқариш жараёнларини интеллектуаллашнинг тамойиллари ишлаб чиқилган;

замонавий бошқариш назарияси ва интеллектуал технология усуллариининг интеграцияси асосида ишлаб чиқариш вазиятлари ноаниқлик шароитида фаолият кўрсатувчи динамик объектларни бошқариш жараёнини интеллектуаллашган тизимини яратишнинг янгича сифат кўринишидаги ёндашуви ишлаб чиқилган;

динамик объектларнинг бошқариш тизимларини мослашувчан хоссага эга бўлган ва бошқарилувчи жараёнларнинг динамик хусусиятларини ҳисобга олувчи мавжуд турли моделлардан фарқ қилувчи интеллектуаллашган гибрид моделлар мажмуаси ишлаб чиқилган;

динамик объектларнинг моделлаштириш алгоритмларини тадқиқ қилишнинг бошқариш қарорини қабул қилиш ва энг яхши моделини танлаш масалаларининг ечимини таъминловчи моделлаштириш самарали алгоритмлари яратилган;

структураси, параметрлари ва вазиятлари ноаниқлик шароитидаги ўзида анъанавий автоматик бошқариш назарияси усуллари ва интеллектуал бошқариш тамойилини жамлаган динамик объектларни бошқариш масаласини интеллектуаллашган ечувчиси яратилган;

динамик объектларни адаптив нейро-қатъиймас ва башоратлаш моделлари асосида объектнинг ўлчанмайдиган координаталарини аниқлаш, бошқариш тизимининг параметрларини коррекциялаш ва синтезлаш алгоритмлари ишлаб чиқилган;

ноаниқлик шароитида саноат объектларини бошқариш масалаларини самарали ечишда идентификациялаш ва генетик алгоритмлар комбинацияси шаклидаги интерактив адаптациялаш усулига асосланган динамик объектларнинг бошқариш тизимини мослашувчан нейро-қатъиймас синтезлаш алгоритмлари яратилган.

Тадқиқотнинг амалий натижаси қуйидагилардан иборат:

қўйилган мақсадга асосан қийин шакллантирилувчи жараёнларни гибрид моделларини шакллантириш жараёнини автоматлаштиришга

мўлжалланган, билимлар базасини тўлдириш, бошқариш тизимини синтезлашга хизмат қилувчи динамик объектларни бошқариш жараёнини интеллектуаллаштиришнинг дастурий мажмуа кўринишидаги инструментал воситалар яратилган;

электроэнергетик объектлар ва нефть-кимё мажмуаларининг технологик агрегатларини оптимал ишлаш режимларини танлаш ҳисобига энергия сарфини камайтириш ва унинг натижасида ишлаб чиқариш самарадорлигини ошириш ҳамда турли авария вазиятларини олдини олиш имконини берувчи объектларнинг технологик параметрларини автоматлаштирилган мониторинги ва бошқариш тизими ишлаб чиқилган;

автоматик бошқариш тизимларини синтезлашнинг стандарт ёндашуви етарли самарага эга бўлмаган ҳол учун, яъни параметрли ва ахборот ноаниқлигига эга мураккаб нозичли объектларни бошқаришда самарали бўлган мослашувчан нейро-қатъиймас бошқариш тизими ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги қатъиймас тўплам ва мантиққа асосланган динамик объектларни интеллектуал бошқариш назарий асосларининг бажарилиши, интеллектуал бошқариш масалаларини ечиш усуллари асосида динамик объектларни адаптив бошқаришнинг назарий асосланган концепцияларининг қўлланилиши, интеллектуал бошқаришнинг апробация қилинган усуллари ва алгоритмларини ишлатилиши, интеллектуал бошқаришнинг таклиф этилган усуллари ва алгоритмларини талаб қилинган яқинлашиш даражаси, назарий амалий тадқиқотларнинг олинган натижалари ва уларнинг ўзаро мослиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқотда олинган натижаларнинг илмий аҳамияти узлуксиз-дискрет характердаги технологик объектларни бошқариш жараёнини интеллектуаллаш масаласини самарали ечиш имконини берувчи ноаниқлик шароити ва ишлаб чиқариш вазиятининг аниқ эмаслик шароитида фаолият кўрсатувчи динамик объектларнинг бошқариш тизимларини автоматлаштирилган тадқиқ қилишнинг усуллари, моделлари ва алгоритмларини яратиш услубиятини ишлаб чиқишдан иборатдир. Ишда таклиф этилган гибрид характерли нейро-қатъиймас моделлар маълумотлар базасини ифодалаш, моделлаштириш, синтезлаш ва шакллантиришнинг ягона математик асосини беради.

Олинган натижаларнинг амалий аҳамияти бошқариш тизимини лойиҳалаш масалаларида турли ишлаб чиқариш вазиятларини башоратлаш ва таҳлил қилиш ҳамда оптимал бошқариш ечимини ташлаш имконини берувчи дастурий мажмуа кўринишида тасвирланган динамик объектларни автоматлаштирилган мониторинги ва бошқаришнинг инструментал воситасини яратишдан иборат. Ноаниқлик шароитида динамик объектларнинг бошқариш жараёнини интеллектуаллаштиришнинг яратилган моделлари ва алгоритмлари узлуксиз ҳамда дискрет характерли ишлаб чиқаришнинг технологик жараёнларини интеллектуал бошқариш системасини яратишда кенг кўламда қўлланилиши мумкин.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Адаптив нейрокатъиймас бошқариш системалари ва гибрид моделлари асосида яратилган инструментал дастурий воситалар асосида «Ўзбекэнерго» Давлат Акциядорлик Компанияси тизимида кирувчи корхоналарда, жумладан, JSCJV «Deutsche Kabel AG Tashkent», «Delta Net» МЧЖ, «Янги технологиялар» илмий-тадқиқот марказида жорий қилинган (Ўзбекистон Республикаси «Ўзбекэнерго» ДАК нинг 2016 йил 12 майдаги ДИ-01-21/1953-сон маълумотномаси). Илмий-тадқиқот натижалари динамик объектларни автоматлашган мониторинги ва интеллектуаллашган бошқариш жараёнида ахборотлар оқимини қайта ишлаш ва таҳлил қилиш жараёнини 1,26 мартага қисқартириш, технологик объектларнинг энергия таъминотида энергия сарфини 1,15% га камайтириш ва ишлаб чиқариш самарадорлигини оширишни таъминлашга хизмат қилади.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари 47 та илмий-техник, шу жумладан 32 халқаро анжуманларда муҳокама қилинган: «21 аср глобал муаммолари ва техник фанлар» (Тошкент, 2001); «Инновация-2003» (Тошкент, 2003); «Тўқимачилик саноатининг замонавий қурилмалари ва технологиялари» (Москва, 2003); «Техника ва технологиядаги математик усуллар» (С.Петербург, 2003); «Таълимда, техникада ва илмда инфокоммуникациялар ва ҳисоблаш технологиялари» (Тошкент, 2004); «Тўқимачилик ва енгил саноатга ахборот коммуникацион технологияларни жорий қилиш» (Тошкент, 2005, 2007); World Conference of Intelligent Systems for Industrial Automation (Tashkent, 2002-2014), «Машинасозликда техника ва технологиялар замонавий материаллари» (Андижон, 2012, 2014); «Тоғ-кон металлургия соҳасида ва унинг ривожланиш йўлидаги замонавий техника ва технологиялар» (Навоий, 2013); «Сунъий интеллектда интеграллашган моделлар ва “юмшоқ” ҳисоблашлар» (Коломна, 2013); «Seventh International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control - ICSCCW-2013», (Izmir, Turkey, 2013); «Proceedings Eleventh International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing -ICAFS-2014» (Paris, France, 2014); «The 11th International Conference on Multimedia Information Technology and Application –MITA-2015» (Тошкент, 2015); «XXI аср илмий тараққиёти. Янги юз йилликнинг тараққиёти ва муваффақияти» (Новосибирск, 2015); ва 12 та республика анжуманларида апробациядан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 88 та илмий иш чоп этилган, шулардан, 1 та монография, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 40 та мақола, жумладан, 6 таси хорижий ва қолганлари республика журналларида нашр қилинган ҳамда 15 та ЭҲМ учун яратилган дастурий воситаларни қайд қилиш гувоҳномаси олинган.

Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши. Диссертация таркиби кириш, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 198 бетни ташкил этган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

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

Диссертациянинг «**Динамик объектларни бошқариш жараёнини интеллектуаллаш муаммоларини замонавий ҳолатини тизимли таҳлили**» деб номланган биринчи бобида турли хил ноаниқликлар шароитида ишловчи динамик объектларни интеллектуал бошқариш тизимларини назарий ва амалий қуришнинг замонавий ҳолати ёритилган. Динамик объектларни бошқариш жараёнида пайдо бўладиган ноаниқликларнинг келиб чиқиш сабаблари ойдинлаштирилган.

Ҳозирги вақтда саноат ишлаб чиқаришини автоматлаштириш билан боғлиқ бўлган амалий соҳадаги фанларнинг фаол ривожланиши кузатилмоқда. Шу сабабли юқори даражали автономликка мослашувчанлик хоссасига, ишонччиликка ва ноаниқлик шароитларда юқори сифатга эга бўлган турли хил техник тизимларни яратиш зарурияти пайдо бўлди.

Бундай тизимларнинг бошқариш объекти мураккаб, кўп ўлчамли, чизиксиз бошқариш тизимлари бўлиб, улар зарурий фойдаланиш тавсифи ва кенг функционал имкониятларга башоратлаш имкониятига, ҳамда ташқи таъсир ва тизимнинг жорий ҳолатга мослашувчан хусуситига эгадир.

Тизимлардаги омилларнинг ноаниқлиги ва ўзгарувчанлиги динамик тизимлар ҳолатини башоратловчи, ўз навбатида бошқариш масаласини ечишни мураккаблашишига олиб келади. Айниқса, реал шароитда фаолият кўрсатаётган технологик объектларда содир бўладиган ишлаб чиқариш вазиятларнинг ноаниқлиги, жараён моделининг хатолиги объектдан олаётган ахборотлар оқимини катталиги ва хатоликлари ҳамда уларни қайта ишлашнинг мураккаблиги, бундай динамик тизимларни бошқариш алгоритмининг яратишни қийинлаштиради ва бу масалани ечишда замонавий ахборот технологиялари ютуқлардан фойдаланиш заруриятини туғдиради.

Бундай бошқариш тизимларини яратишда ностандарт усуллардан фойдаланиш талаб этилади. Бу эса ўз навбатида технологик объектида интеллектуал бошқариш усуллари ва инструментал воситаларини яратиш заруриятини туғдиради.

Тизимларни анъанавий тадқиқ этиш усуллари бўлмиш адаптив ва робаст синфига кирувчи бошқариш тизимлари таъсирларни баҳолаш усули ва бошқариш тизимининг структурасини аниқ берилиши шартлари билан қийинчиликларга дуч келади.

Бошқариш ҳолатларини баҳолаш ҳамда динамик тизимларнинг

жараёнлари ва ходисаларини моделлаштиришнинг услубий жиҳатларини таҳлил қилиш шуни кўрсатадики, уларни информацион аниқланмаганлик шароитларида физик-кимёвий қонуниятлар ва ноаниқ сабаб-оқибат боғлиқликларини эътиборга олган ҳолда тизимли тадқиқ этиш масалаларига керакли даражада эътибор қаратилмаган.

Юқорида келтирилганларга кўра динамик объектлар ва ноаниқ сабаб-оқибат алоқаларининг хусусиятлари ҳамда информацион ноаниқлик шароитларида қарор қабул қилишни эътиборга олган ҳолда тизимли таҳлил, математик моделлаштириш, ахборотларга ишлов бериш ва тадқиқотнинг мураккаб динамик объектларни бошқариш усуллари кўллаш, ечими ишлаб чиқариш самарадорлигини ошириш имконини берадиган муҳим масалалардан бири бўлиб қолаверади.

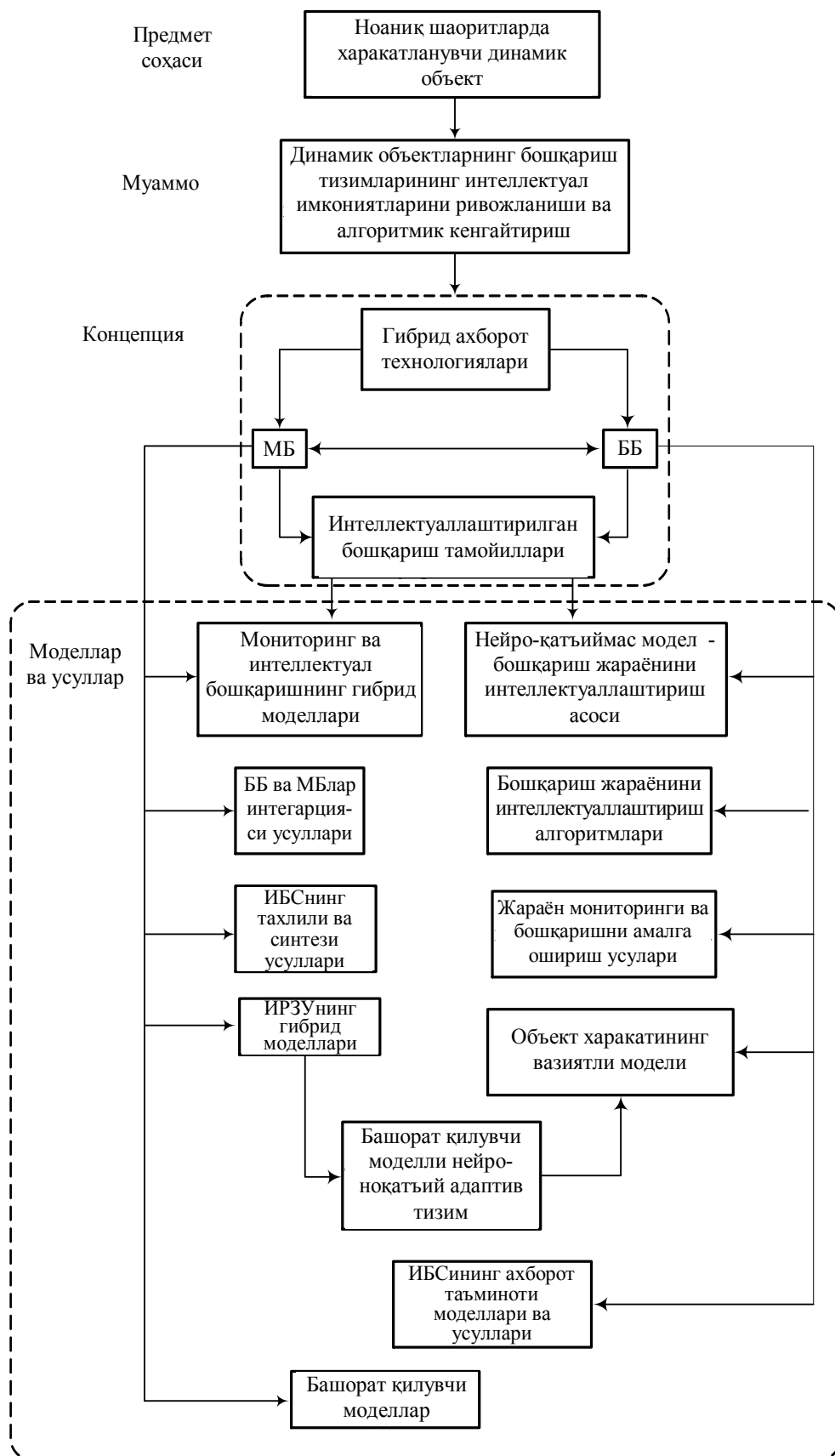
Ноаниқ факторлар мавжудлигида бошқариш назариясининг анъанавий усуллари учун динамик объектларни бошқариш алгоритмлари ва моделларини яратиш шунчалик мураккаб ва нотривиалли, уни ечиш учун замонавий информацион технологияларининг ривожланиш ютуқларини ҳисобга олган ҳолда янги ва мавжуд усулларнинг модификациясини ишлаб чиқиш талаб этилиши тизимли таҳлил асосида ўрганилди.

Фан ва техниканинг турли соҳаларида қўлланиладиган интеллектуал автоматик бошқариш тизимларини қуришнинг кўплаб модел ва алгоритмлари мавжуд. Улардан энг кўп тарқалганлари нейрон тармоқлари, ноаниқ тизимлар, эксперт бошқариш тизимлари, генетик алгоритмлар, маълумотларни кўриш, ечимлар дараҳти ва “уяли” интеллектларидир.

Тизимнинг иш режимларига таъсир этувчи омилларнинг ноаниқлиги шароитларида ишлайдиган динамик бошқариш тизимларини расмий ифодалаш, моделлаштириш ва тадқиқ қилиш усуллари таҳлили динамик объектларни бошқариш жараёнларини интеллектуаллаштириш учун базавий асос ҳисобланувчи автоматик бошқариш назарияси усуллари ҳамда ноаниқ мантиқ (тўпламлар) назариясини ўз ичига оловчи гибрид усулларни қўллаш энг адекват ва ҳал қилинадиган масалалар эканлигини кўрсатди.

Биринчи бобда диссертация тадқиқоти услубий босқичлари ва йўналишларининг структураси асосий ўрин эгаллаган (1-расм).

Унда интеллектуаллаштирилган бошқариш усуллари ўз ичига оловчи маълумотлар ва билимлар базалари интеграцияси асосидаги гибрид информацион технологиялардан фойдаланишни назарда тутувчи мураккаб динамик объектларни бошқариш жараёнини тадқиқ қилиш ва интеллектуаллаштириш концепциялари акс эттирилган.



**1-расм. Диссертация тадқиқотининг методологик
аспекти ва йўналишлари**

Услугияда ноаниқлик шароитларида ишлайдиган динамик объектларни бошқариш масалаларини автоматлаштирилган ечувчининг гибрид интеллектуал моделлари, адаптив нейро-қатъиймас моделлар, динамик объектларни бошқариш масалаларида нейро-қатъиймас адаптив моделларни амалга ошириш усуллари, шунингдек ахборотларга ишлов беришнинг интеллектуал усуллари ишлаб чиқаришга алоҳида эътибор берилган.

Диссертациянинг «**Динамик объектларни автоматлашган бошқаришнинг интеллектуаллаш концепцияси ва методологияси**» деб номланган иккинчи бобида бошқариш бўйича қарорлар қабул қилиш ва бошқариш тизимларини ишлаб чиқишда ечиладиган энг муҳим ва кўп меҳнат талаб қиладиган масалалардан бири ҳисобланувчи динамик жараёнларнинг моделлари ишлаб чиқилган.

Жараёнларни бошқариш тизимларини ишлаб чиқишда асосий эътибор ахборотни қайта ишлаш ва бошқариш таъсирини ишлаб чиқишнинг юқори самарали усуллари яратиш ҳисобланади. Бу муаммони ечиш мураккаб шароитларда ишловчи тизимларнинг ноаниқлик ва ташқи муҳит хусусиятларининг ўзгариши, аномал ҳолатларнинг пайдо бўлиши, бошқа курилмаларни бошқариш командаларини шакллантириш ва амалга оширувчи ахборот манбаларини, алоқа каналларини, техник воситаларини ишдан чиқиши, шунингдек ғалаён ва ҳалақитларнинг специфик таъсирларини кўрсатувчи математик моделини ишлаб чиқиш билан бевосита боғлиқ.

Бундай ёндашувнинг қўлланиши моделларда турли кўринишдаги ноаниқликлар мавжуд бўлганда, яъни бошқарув ечимини танлаш мужмал аниқланган, баъзан фақатгини сифат кўрсаткичлари берилган модел ва процедураларда мураккаб объектларни самарали бошқаришни амалга ошириш имконини беради.

Умумий ҳолда бошқариш тизимининг динамикасини ҳолат тенгламалари ёрдамида ифодалаш мумкин:

$$x_{k+1} = F(x_k, u_k), k = \overline{0, N},$$

$$x_k \in X, u_k \in U,$$

бу ерда X – ҳолат фазоси, U – мумкин бўлган бошқариш тўплами, F – ҳолатнинг ўткинчи функцияси, умумий ҳолда чизиксиз кўринишда бўлади:

$$F : X \times U \rightarrow X.$$

Тўлиқ аниқланмаган жараёнларни қатъиймас тўплам аппарати ёрдамида моделлаштириш мумкин. Коэффициентлар ва бир қанча катталиклар таалуқлилиқ функцияси кўринишида берилиши мумкин. У ҳолда бошқариш тизими динамикаси $X \times U \times X$ қатъиймас декарт кўпайтмаси осттўпланини ифодаловчи қатъиймас муносабатлар билан ифодаланади.

$$F : X \times U \times X \rightarrow [0,1],$$

Турли кўринишдаги ноаниқликларга эга динамик тизим учун ўткинчи функция қуйидагича ёзилиши мумкин

$$F : X \times U \rightarrow XP,$$

бунда XP - X да эҳтимолликнинг тақсимланиш тўплами. Моделда ноаниқликни ҳисобга олиш учун унга тасодифий катталиқ ёки коэффициент киритиш мумкин. Аммо бу моделларда эҳтимоллар тақсимотини қуриш учун маълум маълумотларга эга бўлиш зарур.

Қаралаётган масала синфини расмийлаштириш тизим ва жараёнлар композициясини ўзида ифодаловчи гибрид моделларнинг математик тили ёрдамида табиий равишда амалга оширилиши мумкин.

Бундай модел қуйидаги тенгламалар ёрдамида ифодаланиши мумкин:

$$\begin{aligned}x(k+1) &= \Phi_k[m(k), \gamma(k), m(k+1), \gamma(k+1), u(k)] \cdot x(k) + \\&+ \Gamma_k[m(k), \gamma(k), m(k+1), \gamma(k+1), u(k)] \cdot w(k); \\z(k+1) &= H_{k+1}[m(k+1), \gamma(k+1)] + G_{k+1}[m(k+1), \gamma(k+1)] \cdot v(k),\end{aligned}$$

бунда $x(k)$ – умумий бошқариш объекти ва ташқа муҳит моделининг кенгайтирилган ҳолат вектори; $u(k)$ – бошқариш таъсирлари вектори; $z(k+1)$ – назорат қилиш мумкин бўлган катталиқлар вектори; $w(k)$ ва $v(k)$ – кетма-кетлиги корреляцияланмаган ўзаро векторлар; $\Phi_k[\cdot]$, $\Gamma_k[\cdot]$, $H_{k+1}[\cdot]$ и $G_{k+1}[\cdot]$ – ўлчамларга мос матрицали функциялар.

Асосий моделлаштирилувчи тизим тадқиқ этилаётган тизим динамикасининг иерархик ифодаси ҳисобланади, бунда тизимни абстрактлаштиришнинг турли сатҳлари нуқтаи назаридан динамик хусусиятлари ифодаланади.

Масаланинг ечимига қабул қилинаётган иерархик моделини иккита йўналишга бўлиш таклиф этилади:

- вертикал бўйича иерархия, бунда моделни тизимнинг структуравий-функцияси бўйича сатҳларга бўлиш амалга оширилади;
- горизонтал бўйича иерархия, бунда моделни тадқиқ этиш усулига боғлиқ ҳолда сатҳларга бўлиш амалга оширилади.

Вертикал бўйича иерархиялашда моделлар учта сатҳга бўлинган:

- содда моделлардан иборат базавий моделлар сатҳи;
- хусусий масалаларни ечишга йўналтирилган функционал тугалланган қурилмаларнинг структуравий-функционал хоссаларни кўрсатувчи локал моделлар сатҳи;
- тизимларнинг ташкилий хоссаларини кўрсатувчи ва юқори даражада деталлаштирилган моделларни ифодаловчи глобал моделлар сатҳи.

Горизонтал бўйича иерархия моделни тадқиқ этиш усулига боғлиқ ҳолда моделлар тўртта сатҳга бўлинади:

- Аналитик моделлаштириш асосида жараёнларни ҳисоблаш натижаларини олиш имконини берувчи моделлар;
- мантикий-дифференциал тенгламалар билан тасвирланувчи ва дискрет хусусиятли жараённи акс эттирувчи моделлар;
- Нейрон тармоқлар алгоритми асосида жараёнларнинг математик схемаларини структуравий бириктириш (боғлаш)ни акс эттирувчи моделлар;
- сунъий интеллект усуллари асосида тизим ҳолатини башорат қилиш ва оптималлаштириш имконини берувчи моделлар.

Динамик объектларнинг расмий конструктив моделлари қуйидагича

кўринишда ифодаланиши мумкин:

$$M = \langle I, P, \Phi, X, Y, \Omega \rangle,$$

бу ерда I – модел идентификатори; $P = P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – X тўпланда аниқланган бир ўринли предикат (субъектни ифодаловчи тушунча). Бу предикатнинг маъноси расмий аниқланишда ушбу моделни қўллашнинг имконияти; $\Phi : X \rightarrow Y$ ($XUY=Z$) – моделлаштирилаётган алгоритмнинг бир қанча хоссалари мажмуини ифодаловчи тасвир; $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – ҳисоблаш моделининг кириш ўзгарувчилари; $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ – ҳисоблаш моделининг чиқиш ўзгарувчилари; $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ – ўзгарувчилар мажмуи; Ω – X аниқловчилар ва Y қийматлар яъни $\Omega = \{X, Y\}$ жуфтлиги соҳаси билан берилувчи моделни қўллаш соҳаси.

Моделлар билан ишлаш жараёнида икки турдаги кириш ўзгарувчиларига дуч келиш мумкин: аниқлинган ва аниқланмаган. Шунга мос равишда X тўпланда иккита кесишмайдиган X^H ва X^O осттўпламларга бўламиз, яъни

$$X^H \cup X^O = X \quad (X^H \cap X^O = \emptyset)$$

X^H тўплам элементлари аниқланган X^O ўзгарувчилари орасига у ёки бу муносабатни киритиш билан аниқланилиши мумкин. Бундай алоқа мураккаброқ кўп сатҳли ҳисоблаш моделларининг шаклланишига олиб келади, ёки аксинча чиқиш вектори Y ва аниқланмаган ўзгарувчи вектори X^H га эга M модел скаляр векторли $Y_k \in Y$, $k = 1, 2, \dots, N_m$ модел-тасвир $N_m = N_x \cup N_y$ кўринишида ифодаланиши мумкин.

Турли ўлчамли блоklar ҳисобланган осттўпламлар ҳам қуйидаги кўринишда ифодаланиши мумкин:

$$m_i = \langle I, P_i, f_i, x_i, y_i, \Omega \rangle$$

У ҳолда бошланғич модел компонентлари элементар модел компонентлари орқали қуйидагича ифодаланади:

$$M = \{m_i\}, \quad \Phi = \{f_i\}, \quad i \in [1, N_m]$$

$$(\forall x) P(X) \leftrightarrow [P_1(X_1) \wedge P_2(X_2) \wedge \dots \wedge P_{N_m}(X_{N_m})]$$

$$X = \bigcup_{i=1}^{N_m} X_i; \quad Y = \left(\bigcup_{i=1}^{N_m} Y_i \right) / X$$

$$Z = \bigcup_{i=1}^{N_m} Z_i; \quad \Omega_i = P_z Z_i(\Omega); \quad i = 1, 2, \dots, N_m$$

$P_z Z_i(\Omega)$ – компонентлари вектори Z_i бўлган гиперюзага Ω тўпламнинг проекцияси.

Ҳисоблаш моделларининг бундай шакли моделлаштирувчи алгоритмларни расмийлаштириш билан боғлиқ процедураларни умумлаштириш ва уларни бу моделлар базасида ечиладиган расмий масалалар сифатида ифодалаш имконини беради.

Шундай қилиб, бошқаришнинг динамик сатҳида кечувчи турли технологик жараёнларнинг меделларини қуриш мумкин. Бундай ёндашувда объект параметрлари вақт бўйича ўзгарувчи ностационар объектлар учун ҳам

модел куриш мумкин. Таклиф қилинган усул идентификаторли мослашувчан ва башорат қилувчи тизимларни яратиш учун асос бўлиб хизмат қилади.

Диссертациянинг «**Динамик объектларни бошқариш масалаларини интеллектуал ечувчини яратиш**» деб номланган учинчи бобида ноаниқлик шароитида фаолият кўрсатувчи динамик объектларнинг моделларини яратиш услугиётига асосланиб динамик объектларни автоматлаштирилган бошқариш масалаларини ечувчини ишлаб чиқиш масалалари кўрилган. Продуктив қоида асосида ечимни чиқаришга мўлжалланган масалани динамик ечувчи таркибига кирган динамик объектларни интеллектуаллашган бошқариш тизимини умумлашган алгоритмик структураси таклиф этилган (2-расм). Ноаниқлик шароитида фаолият кўрсатувчи технологик объектларни бошқариш масаласини динамик ечувчининг асоси бўлган адаптив башоратлаш тизимнинг ўлчаш мумкин бўлмаган координаталарини аниқлаш ва бошқариш тизимининг параметрларини коррекциялаш алгоритмлари яратилган.

Интеллектуаллаштирилган бошқариш тизимининг структураси унинг анъанавий элементлари ва алоқалари билан биргаликда марказий ўринга эга бўлган масаланинг динамик ечувчиси мавжуд:

$$T \times M \times S \xrightarrow{a_2} C \times T;$$

$$C \times T \times X \times S \xrightarrow{a_1} R \times T;$$

$$T \times \dot{X} = \{A \times T\} X \times T + \{B \times T\} U \times T;$$

$$T \times Y = \{D \times T\} X \times T;$$

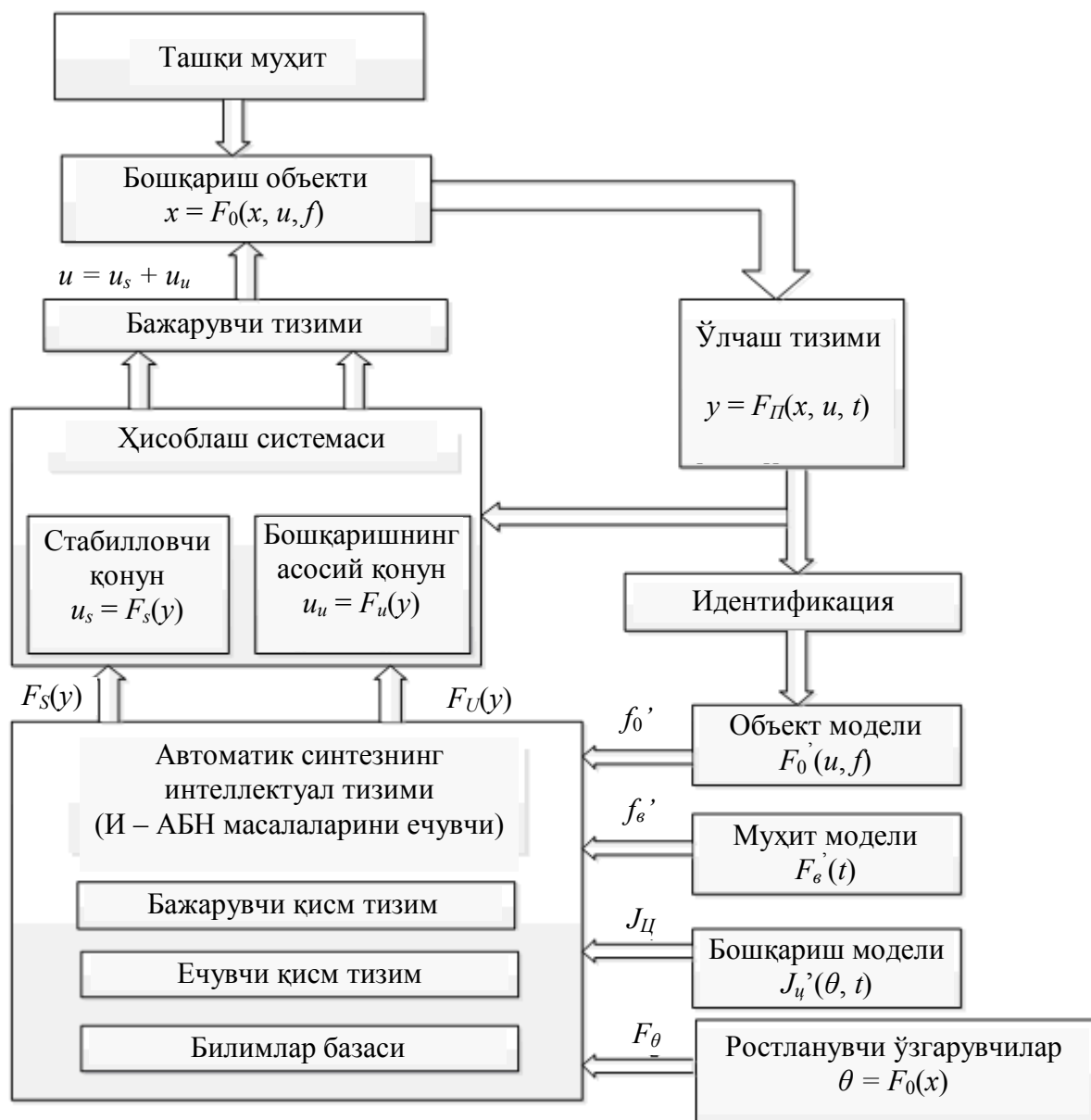
$$T \times R \times Y \xrightarrow{a_2} C \times T$$

бу ерда T -вақт моментлари тўплами; X, S, M, C, R ва Y тизимнинг ҳолатлар тўплами, ташқи муҳит, мотивация, мақсадлар, башоратланган вариал ечим тўплами; A, B ва D параметрлар матрицалари, $a_i, i = \overline{1,4}$ -билимларга асосланган ўзгартиришнинг интеллектуал оператори.

Масалани динамик ечувчиси шундай комплекс ташкилланувчи бўлиб, у тизим ва муҳит ҳолатини баҳолаш имконияти ҳамда ҳаракатларнинг талаб этилган ва реал натижалари параметрларини солиштириш хусусиятига эгадир. Бунинг учун бошқариш масаласини динамик ечувчи билимлар захирасига ва масалаларни ечиш усулларига эга бўлиши керак.

Бошқариш масаласини динамик ечувчининг асосий функцияси маълумотлар ва билимлар базаси ҳолатини шакллантиришдан иборатдир.

Интеллектуаллашган бошқариш тизимини математик асоси бўлган нейрон тўрлар ва қатъиймас мантиқ усуллариининг ижобий хусусиятларини ўзида жам қилган гибрид моделлар нейрон-қатъиймас бошқариш тизимларида юқори самарадорликка эга эканлигини кўрсатди.



2-расм. Динамик объектларни интеллектуаллаштирилган бошқариш тизимининг структураси

Кўпқатламли нейрон тўрларнинг кўринишларидан бири бўлган катъиймас адаптив моделлар билан ёзилувчи динамик объектларнинг интеллектуаллашган бошқариш тизимини элементлари технологик ўзгарувчилар ва ишлаб чиқаришдаги ўзгаришга мослашиш имкониятига эга бўлган боғлиқликлар характериға асосланган ҳолда шакллантирилади. Бошқариш масаласини динамик ечувчисининг ишини тушунтириш учун динамик объектнинг чиқиш ўзгарувчиларини барқарорлаштириш жараёнини кўриб чиқамиз. Бу жараён чизиклисиз айирмали тенглама билан ёзилган бўлсин.

$$y(i+1) = f(y(i), \dots, y(i-r), \bar{x}(i), \dots, \bar{x}(i-s), u(i), \dots, u(i-q)), \quad (1)$$

бу ерда $i = 0, 1, 2, \dots, N$ жорий дискрет вақт, $y(i)$ - чиқиш сигнали, $\bar{x}(i) = (\bar{x}_1(i), \dots, \bar{x}_k(i))$ - ташқи таъсирлар вектори, $u(i)$ - бошқариш, r, s, q - маълум

даражага эга бўлган ночизикли функция- $f(y(i), \dots, y(i-r), \bar{x}(i), \dots, \bar{x}(i-s), u(i), \dots, u(i-q))$.

Объектнинг кириш катталиги координаталари ихтиёрий вақтда чегараланган, яъни:

$$u^{\min} \leq u(i) \leq u^{\max},$$

$$\bar{x}^{\min} \leq \bar{x}(i) \leq \bar{x}^{\max}, i = \overline{1, N}.$$

Динамик жараёни ифодалаш учун Сугенонинг қатъиймас моделини қўллаймиз. Бу модел қуйидаги қоидалар шаклида тасвирланади:

$$\begin{aligned} \text{агар } x_{k1}(i) \text{ булса } X_{k1}^{\theta} \\ x_{k2}(i) \text{ булса } X_{k2}^{\theta}, \dots, x_{km}(i) \text{ булса } X_{km}^{\theta}, \\ y - \text{холда } u_k^{\theta}(i) = b_{k0}^{\theta} + b_{k1}^{\theta} x_{k1}(i) + \dots + b_{km}^{\theta} x_{km}(i), \\ \theta = \overline{1, n}, \end{aligned} \quad (2)$$

$X_{kl}^{\theta}, l = \overline{1, m}$ қатъиймас тўпلامли ва $\bar{x}_k(i) = (x_{k1}(i), x_{k2}(i), \dots, x_{km}(i))$ киришлар ва $u_k^{\theta}(i)$ чиқишни боғловчи чизикли боғлиқлик.

Қатъиймас тўпلامни берувчи асосий тавсиф $X_k(x_k)$ тааллуқлилик функцияси бўлиб, у қуйидаги сигмоид кўринишига эга бўлади:

$$X_k(x_k) = (1 + \exp(d_{k1}(x_k + d_{k2})))^{-1}$$

$i = 1, 2, \dots, N$ вақт моментида (2) қатъиймас модел бўйича берилган $x_{kl}^0(i)$ киришларда $u_k(i)$ чиқишини аниқлаш механизми, $X_{kl}^0(x_{kl}(i))$ тааллуқлилик функцияси ва $b_{k0}^{\theta}, b_{k1}^{\theta}, \dots, b_{km}^{\theta}, \theta = \overline{1, n}, l = \overline{1, m}$ чизикли тенгламанинг коэффицентлари берилганда қуйидагича аниқланади:

$$\begin{aligned} u_k^{\theta}(i) = b_{k0}^{\theta} + b_{k1}^{\theta} x_{k1}(i) + \dots + b_{km}^{\theta} x_{km}(i), \\ \theta = \overline{1, n}, \end{aligned} \quad (3)$$

бу механизмни қатъиймас беш қатламли нейрон тўри сифатида қуйидагича тасвирлаш мумкин.

Бунда биринчи қатламда ўзгарувчиларнинг $X_{k1}^{\theta}(x_{k1}^0(i)), \dots, X_{km}^{\theta}(x_{km}^0(i))$ қоидага мос келишлик θ даражаси ҳисобланади, иккинчи қатламда эса w_k^{θ} нинг қиймати ҳақиқийлиги ўзгарувчиларнинг алгебраик кўпайтмаси орқали аниқланади:

$$w_k^{\theta} = X_{k1}^{\theta}(x_{k1}(i)) X_{k2}^{\theta}(x_{k2}(i)) \dots X_{km}^{\theta}(x_{km}(i))$$

Учинчи қатламда ҳақиқийликнинг нисбий нормаллашган қиймати қуйидагича аниқланади:

$$\beta_k^{\theta}(i) = \frac{w_k^{\theta}(i)}{w_k^1(i) + w_k^2(i) + \dots + w_k^n(i)}$$

Тўртинчи қатламда $\beta_k^{\theta}(i)$ нинг қиймати (3) чизикли тенглама бўйича ҳисобланган $u_k^0(i)$ чиқишнинг қийматига кўпайтирилади. Бунда $x_{k1}^0(i), x_{k2}^0(i), \dots, x_{km}^0(i)$ га сонли қиймат берилиб у аниқланади.

Бешинчи қатламда $u_k(i)$ нинг якуний қиймати барча қоидалар бўйича худди $u_k^0(i)$ нинг ўртача йигиндиси сифатида топилади:

$$u_k(i) = \sum_{\theta=1}^n \beta_k^\theta(i) u_k^\theta(i)$$

Қатъиймас моделнинг ростлаш параметрларини векторини аниқлаш учун $x_{k1}^*(i), \dots, x_{km}^*, u^*(i)$, ларнинг қийматларидан фойдаланилади. Бунда $y(i+1)$ чиқиш катталиги унинг y^H номиналига қуйидаги шартни қаноатлантирувчи қилиб олинади:

$$J^* = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \|y^H - y(x_k^*(i), u^*(i))\| / y^H \right) \leq J^H,$$

бу ерда J^H -ростлашнинг нисбий хатолигининг номинал қиймати.

Кейинги босқичда тармоқ ўргатилади. Бунинг учун корректловчи матрица:

$$H_k(i) = H_k(i-1) - \frac{H_k(i-1) \tilde{x}_k(i) \tilde{x}_k^T(i) H_k(i-1)}{1 + \tilde{x}_k^T(i) H_k(i-1) \tilde{x}_k(i)} \quad (4)$$

ва коэффициентлар вектори ҳисобланади:

$$\overline{b}_k(i) = \overline{b}_k(i-1) + H_k(i) \tilde{x}_k(i) (u^*(i) - \overline{b}_k^T(i-1) \tilde{x}_k(i)). \quad (5)$$

Олинган қатъиймас модел $b_l^\theta, \theta = \overline{1, n}, l = \overline{0, m}$ коэффициентларда ва тааллуқлилик функцияси параметри $d_{k1,l}^\theta, d_{k2,l}^\theta$ ни йўналтирилган ҳолда ўқитилади.

Тармоқни ўқитиш учун интерактив адаптация назариясига асосланган алгоритмни қўллаш таклиф этилган. Бу алгоритмнинг моҳияти хатолик e ни ноаниқ шаклда ҳисоблашга асослангандир.

Интерактив адаптациялаш алгоритми қўлланилган тизим N -нимтизимларга бўлинади ва ҳар биттаси y_n интегралланувчи чиқиш ва интегралланувчи кириш сигналларига эга бўлиб, улар ўртасидаги муносабат қуйидаги функционал боғлиқлик орқали ифодаланади.

$$F_n : X_n \rightarrow Y_n, n = 1, 2, \dots, N$$

Тизимнинг i -элементининг муносабати қуйидагичадир:

$$y_i(t) = F_i[x_n(t)], i = 1, 2, \dots, N$$

Агар элементлар ва ташқи сигналлар ўртасидаги ўзаро таъсир чизикли ва қуйидаги тенглама орқали ёзилса:

$$x_i(t) = u_i(t) + \sum_{K \in J_i} \alpha_K \cdot y_i(t), i \in N, \quad (6)$$

бу ерда $J_i = \{K : y_K = i\}$ i -элементнинг чиқишлари боғлиқликнинг тўплами, α_K боғлиқлик вазни бўлса, у ҳолда i -элементнинг кириш чиқиш муносабати қуйидаги тенглама билан ёзилади:

$$y_i(t) = F_i[u_i(t) + \sum_{K \in J_i} \alpha_K \cdot y_i(t)], i \in N$$

Агар тизим (6) тенглама шаклида ёзилса у ҳолда α_K алоқалар вазни қуйидаги қоида бўйича соланади:

$$\dot{\alpha}_K = F'_{exK}[x_{exK}] \cdot \left(\frac{y_{exK}}{y_{exK}} \right) \sum_{S \in Q_{exK/I}} \alpha_S \cdot \dot{\alpha}_S - \gamma \cdot F'_{exK}[x_{exK}] \cdot y_{exK} \cdot \frac{\delta E}{\delta y_{exK}},$$

бу ерда $\gamma > 0$ - ўқитиш тезлигини аниқловчи коэффициент; $F'_{\text{ex}K}[x_{\text{ex}K}]$ - Фреше хосиласи; E – хатолик функцияси, $k \in K$.

(6) тенглама α_k учун ягона ечимга эга бўлиш шarti бажарилганда хатолик функцияси $E(y_1, \dots, y_K; u_1, \dots, u_n)$ вақт бўйича монотон камаяди ва куйидаги тенгликни қаноатлантиради:

$$\dot{\alpha}_k = -\gamma \frac{\delta E}{\delta \alpha_k}, k \in K$$

Бундай ёндашувда нейрон тармоқ элементар нейро тармоқ шаклида айрим элементларга бўлинади. Нейрон тармоқни ўқитиш алгоритми куйидагича тасвирланади:

$$Pn = \sum_{s \in Dn} \omega_s \cdot r_{pres}$$

$$r_n = \sigma(pn),$$

бу ерда n - нейрон индекси, s - синапс индекси, Dn - n нейронларнинг кириш синапсларининг йиғиндиси, $pres$ ва $post$ олди синаптик ва сўнги синаптик нейронлар, ω_s - s синапснинг вазни, pn – n нейроннинг мембранд потенциали, r_n – n нейроннинг кўзғалиш частотаси, σ - сигмоид типдаги фаоллаштириш функцияси. Бу функцияни куйидагича тасвирлаш мумкин:

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

Бу ҳолда синапслар вазни куйидаги формула бўйича аниқланади

$$\dot{\omega}_s = r_{pres} (\varphi_{posts} \sigma(-P_{posts}) + \gamma \cdot f_{posts})$$

$$\text{бу ерда } \varphi_n = \sum_{S \in A_n} \omega_s \cdot \dot{\omega}_s,$$

γ – барча нейронлар учун тескари боғланиш коэффициенти, φ_n - бевосита тескари хатолик сигнали.

Шундай қилиб, нейрон тўрлар ва қатъиймас моделларнинг ижобий хоссаларини бирлаштириш ноаниқлик шароитидаги мураккаб динамик объектларни бошқариш масалаларини самарали ечиш имконини беради.

Диссертациянинг «**Динамик объектларни интеллектуал бошқариш тизимини алгоритмик синтези**» деб номланган тўртинчи бобида бошланғич маълумотлар ноаниқлиги шароитида фаолият кўрсатаётган иерархик ташкил этилган динамик объектларни интеллектуаллаштирилган бошқариш тизимини куриш тамойиллари келтирилган.

Кўпсатхли иерархик тизимларда муҳим масалалардан бири унинг осттизимларининг ишини координациялаш масаласини ечишдан иборатдир. Агарда тизимда ноаниқлик мавжуд бўлса, қарор қабул қилиш масаласи янада мураккаблашади.

Бундай ҳолда сатхларни координациялаш бевосита барча бошқарилувчи объектларнинг бошқариш сифатини умумлашган баҳоси бўлмиш сигналларни бошқариш тизими олиши орқали амалга оширилади. диссертация ишида бошқариш сатхларини координациялаш учун икки сатхли тизимларни оптималлаш масалаларини тадқиқ қилиш таклиф этилади.

Бунда $(i-1)$ - сатҳдаги масалани ечиш учун i сатҳдаги оптималлаш натижаси берилган ҳисобланади. Агарда $\overline{x_N}$ қуйидаги кўринишда ёзсак:

$$x_N = \{\overline{x_{ij}}\}, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}$$

i - бошқариш сатҳдаги осттизимлар $M = m_i$ - сони бўлса, $x_{(i-1)j}, j = \overline{1, m_{i-1}}$ ечимни топиш учун барча ечимлар $\overline{x_{ij}^0}, j = \overline{1, m_i}$ қабул қилинган ҳисобланади.

Бу ҳолда локал бошқариш тизимининг динамикаси қуйидагича ифодаланиши мумкин:

- ҳолатнинг қатъиймас тенгламаси

$$d\overline{x}/dt = \overline{A} \otimes \overline{x} \oplus \overline{B} \otimes u, \quad \mu_{\overline{s}}(s),$$
- кузатувчининг қатъиймас тенгламаси

$$\overline{y} = \overline{C} \otimes \overline{x},$$
- қатъиймас бошланғич шартлар

$$\overline{x}_1(0) = \overline{D}_1, \overline{x}_2(0) = \overline{D}_2, \dots, \overline{x}_n(0) = \overline{D}_n,$$

бу ерда $\otimes, \oplus$ - қатъиймас қўшиш ва қўпайтириш операциялари; u – қатъиймас қийматни қабул қилувчи бошқариш сигнали; $\overline{x} = \{\overline{x}_1, \overline{x}_2, \dots, \overline{x}_i, \dots, \overline{x}_n\}$ - қатъиймас ҳолат вектори, $i = \overline{1, 2, \dots, n}$; $\overline{y} = \{\overline{y}_1, \overline{y}_2, \dots, \overline{y}_\zeta, \dots, \overline{y}_l\}$ - қатъиймас чиқиш ўзгарувчиларининг вектори, $\zeta = \overline{1, 2, \dots, l}$; $\mu_{\overline{s}}(s)$ - s ҳолат ўзгарувчиларининг қатъиймас (ўзгарувчи) сонининг кўрсаткичи ва ҳолат тенгламасининг вазни;

$\overline{A} = \begin{bmatrix} \overline{A}_1^1 & \dots & \overline{A}_n^1 \\ \dots & \dots & \dots \\ \overline{A}_1^n & \dots & \overline{A}_n^n \end{bmatrix}, \overline{B} = \begin{bmatrix} \overline{B}^1 \\ \dots \\ \overline{B}^n \end{bmatrix}, \overline{C} = \begin{bmatrix} \overline{C}_1^1 & \dots & \overline{C}_n^1 \\ \dots & \dots & \dots \\ \overline{C}_1^l & \dots & \overline{C}_n^l \end{bmatrix}$ моделнинг қатъиймас коэффицентлар матрицаси.

Ҳолат векторининг бирон бир i -ўзгарувчиси вақт функцияси сифатида қатъиймас муносабат шаклида ифодаланиши мумкин: $\overline{x}_i(t) = \{t, x_i / \mu_{\overline{x}_i}(t, x_i)\}, i = \overline{1, 2, \dots, n}$. Кўрсатилган ўзгарувчи белгиланган вақт моментда қатъиймас тўпلام кўринишида ифодаланиши мумкин. $\overline{x}_i = \{x_i / \mu_{\overline{x}_i}(x_i)\}$. Худди шунга ўхшаш ζ чиқиш ўзгарувчиси қуйидагича ёзилиши мумкин:

$$\overline{y}_\zeta(t) = \{t, y_\zeta / \mu_{\overline{y}_\zeta}(t, y_\zeta)\}, \zeta = \overline{1, 2, \dots, l},$$

$$\overline{y}_\zeta = \{y_\zeta / \mu_{\overline{y}_\zeta}(y_\zeta)\},$$

бу ерда $\mu_{\overline{x}_i}, \mu_{\overline{y}_\zeta}$ тааллуқлилик функцияси; x_i, y_ζ - универсал тўпلامдан қиймат $\overline{A}, \overline{B}, \overline{C}$ матрицасининг элементлари қатъиймас тўпلام шаклида берилган бўлсин:

$$\overline{A}_1^1 = \{A_1^1 / \mu_{\overline{A}_1^1}(A_1^1)\}, \dots, \overline{A}_n^n = \{A_n^n / \mu_{\overline{A}_n^n}(A_n^n)\},$$

$$\overline{B}^1 = \{B^1 / \mu_{\overline{B}^1}(B^1)\}, \dots, \overline{B}^n = \{B^n / \mu_{\overline{B}^n}(B^n)\},$$

$$\overline{C}_1^1 = \{C_1^1 / \mu_{\overline{C}_1^1}(C_1^1)\}, \dots, \overline{C}_n^l = \{C_n^l / \mu_{\overline{C}_n^l}(C_n^l)\}.$$

Бошланғич шартлар қатъиймас тўпلام сифатида қуйидагича ифодаланади $\overline{D}_i = \{x_i / \mu_{\overline{D}_i}(x_i)\}$, ҳолат вектори ўзгарувчисининг сони қуйидагича

ёзилади, $\bar{S} = \{s/\mu_{\bar{S}}(s)\}$, бу ерда $s=1,2,\dots,n$ ҳолат вектори ўзгарувчисининг тартиб номери.

Тааллуқлилик функцияси аналитик муносабат сифатида берилиш мумкин, масалан $\bar{x}_i$ ўзгарувчиси учун

$$\mu_{\bar{x}_i}(x_i) = \varphi(x, a_{\bar{x}_i}, b_{1\bar{x}_i}, b_{2\bar{x}_i}, v_{1\bar{x}_i}, v_{2\bar{x}_i}) = \left((b_{1\bar{x}_i}(a_{\bar{x}_i} - x))^{v_{1\bar{x}_i}} \frac{\text{sign}(b_{1\bar{x}_i}(a_{\bar{x}_i} - x)) + 1}{2} + (b_{2\bar{x}_i}(a_{\bar{x}_i} - x))^{v_{2\bar{x}_i}} \frac{\text{sign}(b_{2\bar{x}_i}(a_{\bar{x}_i} - x)) + 1}{2} + 1 \right)^{-1}$$

Бу ерда $a_{\bar{x}_i}$ тааллуқлилик функцияси модаси, $b_{1\bar{x}_i}$ ва $b_{2\bar{x}_i}$ коэффициентлар тааллуқлилик функциясининг кенглигини беради, $v_{1\bar{x}_i}$ ва $v_{2\bar{x}_i}$ эса бу функциянинг x_i ўққа нисбатан оғишини кўрсатади, $b_{1\bar{x}_i}$, $b_{2\bar{x}_i}$, $v_{1\bar{x}_i}$, $v_{2\bar{x}_i}$ коэффициентлар ихтиёрий кўринишдаги тааллуқлилик функциясини шаклини ҳосил қилиш имконини беради ва ноаниқликнинг кўрсаткичи сифатида қўлланилиши мумкин.

Бошқариш тизимининг сифат кўрсаткичлари (ўткинчи жараён вақти, максимал оғиш, кузатиш хатолиги ва бошқалар) фойдалилик функцияси шаклида қуйидаги кўринишда берилади:

$$\bar{Q}_k^3 = \{Q_k^3 / \mu_{Q_k^3}(Q_k^3)\}, k = 1, 2, \dots, K, \\ \mu_{Q_k^3}(Q_k^3) = \varphi(Q_k^3, a^3_{\bar{x}_i}, b^3_{1\bar{x}_i}, b^3_{2\bar{x}_i}, v^3_{1\bar{x}_i}, v^3_{2\bar{x}_i}),$$

бу ерда K - бошқариш тизимининг сифат кўрсаткичлари сони.

Бошқаришнинг берилган сифат кўрсаткичлари асосида эталон модел аниқланади:

$$\dot{x}_m = A_m x_m + B_m u_m$$

бу ерда u_m - тизимнинг кириш катталиги; $x_m(t)$ – эталон ҳолат вектори.

Ҳолат векторлари ўзгарувчилари ва бошқаришнинг чегаравий қиймати қуйидаги кўринишда берилиши мумкин;

$$g_1(\bar{x}, u, \gamma, t) < x_{1\max}, g_2(\bar{x}, u, \gamma, t) < x_{2\min}, \dots, \\ g_{2n-1}(\bar{x}, u, \gamma, t) < x_{n\max}, g_{2n}(\bar{x}, u, \gamma, t) < x_{n\min}, \dots, \\ g_{m-1}(\bar{x}, u, \gamma, t) < u_{\max}, g_m(\bar{x}, u, \gamma, t) < u_{\min}.$$

Бошқариш тизимини сифат кўрсаткичларини аниқлаш учун бошқариш объектининг $a_{x_i}^-(t)$, $a_{y_i}^-(t)$, вақт характеристикалари ҳамда тааллуқлилик функциясининг $b_{1\bar{x}_i}^-(t)$, $b_{2\bar{x}_i}^-(t)$, $b_{1\bar{y}_k}^-(t)$, $b_{2\bar{y}_k}^-(t)$ кенглиги бўйича аниқланадиган қатъиймаслик параметрлари қўлланилади. Бошқариш объекти ҳақида маълумотларнинг ноаниқлигини камайтириш ва бошқариш сифат кўрсаткичларини яхшилаш учун қуйидаги қийматлар максималлаштирилади $b_{1\bar{x}_i}^-(t)$, $b_{2\bar{x}_i}^-(t)$, $b_{1\bar{y}_k}^-(t)$, $b_{2\bar{y}_k}^-(t)$.

Бошқариш алгоритмига робастлилик хоссасини бериш учун тезкор градиентнинг дискрет алгоритмининг параметрик шаклда қўллаш таклиф этилган. Бу эса мураккабликни минимумлигини таъминлайди ва бошқариш сигнали ҳамда уни ўзгариш тезлигига қўйилган чегарани ҳисобга олиш имконини беради.

Бошқариш тизимнинг ўткинчи жараёнининг аниқлиги ва сифатини

яхшилаш мақсадида бошқариш алгоритмига бошқариш сигналларини компромис вариантини танлаш бўйича қарор қабул қилиш алгоритми қўлланилган.

У ҳолда такомиллаштирилган бошқариш қонуни қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$u = k_u(t) \cdot u_m(t) + \sum_{i=1}^n k_x^\Sigma(t) \cdot x_i^\Sigma(t),$$

$$k_{x1}^\Sigma[t+1] = k_{x1}^\Sigma[k](1 - h\gamma_3) + h(\gamma_5 - \gamma_4)\delta \cdot [t]x_1^\Sigma[t] - h\gamma_5\delta \cdot [t+1]x_1^\Sigma[t+1],$$

$$k_{xn}^\Sigma[t+1] = k_{xn}^\Sigma[k](1 - h\gamma_3) + h(\gamma_5 - \gamma_4)\delta \cdot [t]x_n^\Sigma[t] - h\gamma_5\delta \cdot [t+1]x_n^\Sigma[t+1],$$

$$k_u[t+1] = k_u[k](1 - h\gamma_1) + h(\gamma_6 - \gamma_2)\delta \cdot [t]u_m[t] - h\gamma_6\delta \cdot [t+1]u_m[t+1],$$

бу ерда $t = mh$, $h > 0$ – дискретлаш қадами, $m = 0, 1, 2, \dots, m$; $\gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_5, \gamma_6\}$ – адаптив регулятор параметрлари; $e_i^\Sigma = \int_{X_i} (x_i - x_{im})\mu_{e_i}(e_i)dx_i$ ҳолат вектори

ўзгарувчилари ва ҳолатнинг эталон ўзгарувчилари ўртасидаги фарқ; $\mu_{e_i}(e^i) = (e_i, a_{e_i}^-, b_{1e_i}^-, b_{2e_i}^-, v_{1e_i}^-, v_{2e_i}^-)$ – хатолик тааллуқлилик функцияси; φ – тааллуқлилик функциясининг аналитик кўриниши; $a_{e_i}^- = a_{xi}^- - x_{im}$, $v_{1e_i}^- = v_{1xi}^-$, $v_{2e_i}^- = v_{2xi}^-$, $b_{1e_i}^- = b_{1xi}^-$, $b_{2e_i}^- = b_{2xi}^-$, $x_i^\Sigma = \int_{X_i} x_i dx_i$ – ҳолатнинг интеграллашган

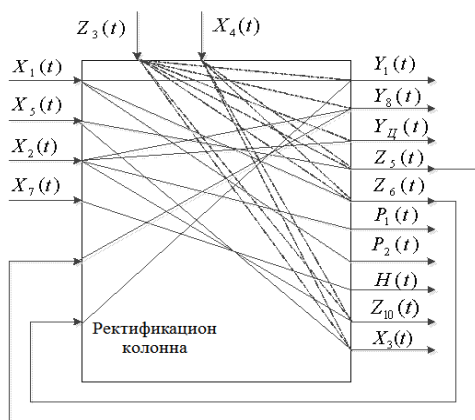
ўзгарувчилар вектори; $\delta \cdot [t] = \sum_{i=1}^n k_i \cdot e_i^\Sigma$, h_i – объект матрицасининг коэффициентлари ва B_m эталон модел матрицаси коэффициентларидан олинган коэффициентлар.

Шунингдек бу бобда турли ноаниқ ҳалақитларга робастликни таъминловчи динамик объектларни интеллектуаллаштирилган бошқариш тизимини тадқиқ қилишнинг адаптив нейро-қатъиймас алгоритмларини қуриш масаласи кўрилган.

Таклиф этилган синтезлаш алгоритмлари кенг спектрдаги ҳалақит мавжуд бўлганда динамик объектларни бошқариш тизимларини лойиҳалаш масалаларини қўлланилиш соҳасини кенгайтиради.

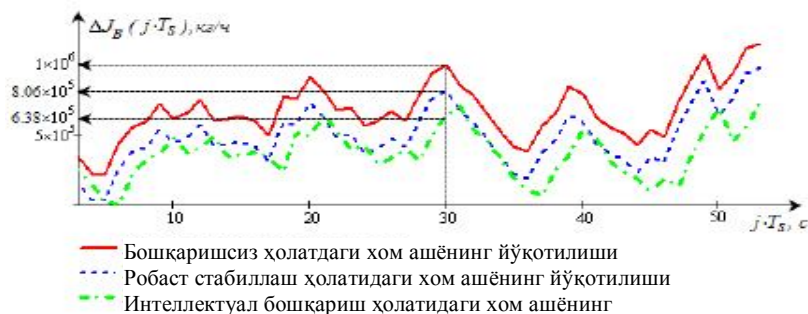
Диссертациянинг «**Ишлаб чиқилган модел ва алгоритмларни технологик объектларни бошқариш жараёнларини интеллектуаллаштириш масалаларига амалий татбиқ этиш**» номли бешинчи бобида априор ноаниқлик шароитларида технологик объектларни бошқариш ва автоматлаштирилган мониторингини интеллектуаллаштиришнинг техник воситаларини яратиш масалаларида ишлаб чиқилган бошқариш жараёнларини интеллектуаллаштириш модел ва алгоритмларини қўллаш натижалари келтирилган.

Мисол сифатида ректификация колоннаси технологик жараёнларини интеллектуал адаптив нейро-қатъиймас бошқариш тизимларини яратиш масалалари кўриб чиқилган. Ректификация колоннасининг самарадорлиги концентрациянинг колонна бутун баландлиги бўйича тақсимланиши жорий профили билан аниқланади. Ректификация колоннаси ҳароратли профилининг математик моделини қуришда Льюис-Матисон услубидан фойдаланилган. У ҳолда объект модели қуйидагича кўринишга эга бўлади:



$$\begin{cases} T_1 \cdot \frac{dY_1(t)}{dt} + Y_1(t) = k_1 \cdot X_1(t - \tau_1) \\ T_2 \cdot \frac{dY_2(t)}{dt} + Y_2(t) = k_2 \cdot Y_1(t - \tau_2) \\ T_3 \cdot \frac{dY_3(t)}{dt} + Y_3(t) = k_3 \cdot Y_2(t - \tau_3) \\ T_4 \cdot \frac{dY_4(t)}{dt} + Y_4(t) = k_4 \cdot Y_3(t - \tau_4) \\ Y_5(t) = 0,5 \cdot (K_1 \cdot Y_4(t) + K_2 \cdot Y_6(t)) \\ T_6 \cdot \frac{dY_6(t)}{dt} + Y_6(t) = k_6 \cdot Y_7(t - \tau_6) \\ T_7 \cdot \frac{dY_7(t)}{dt} + Y_7(t) = k_7 \cdot Y_8(t - \tau_7) \\ T_8 \cdot \frac{dY_8(t)}{dt} + Y_8(t) = k_8 \cdot X_2(t - \tau_8) \end{cases}$$

Математик моделда $Y_1(t)$, $Y_2(t)$, $Y_3(t)$, $Y_5(t)$, $Y_7(t)$, $Y_8(t)$ – мос равишда колонна куби, 16-, 22-, 28- (таъминлаш тарелкалари), 37- колонна юқори қисмларининг ҳароратлари, $Y_4(t)$ – таъминлаш тарелкасининг тагидан бериладиган буғнинг ҳарорати, $Y_6(t)$ – таъминлаш тарелкасининг тепасидан тушувчи суюқлик ҳарорат, $X_1(t)$, $X_2(t)$ – қиздирилган буғ ва совутиш агентининг сарфи, $T_1 \dots T_8$ – бошқариш объекти мос каналлари динамик тавсифларининг вақт доимийлари, $k_1 \dots k_8$ – бошқариш объекти мос каналлари бўйича узатиш коэффициентлари, $\tau_1 \dots \tau_8$ – бошқариш объекти мос каналлари бўйича кечикиш вақтининг қийматлари, K_1 , K_2 – созлаш коэффициентлари, t – аналогли вақт. Тадқиқ этилаётган мазкур автоматик бошқариш тизими ташқи кўзғатувчи таъсирлар остида (масалан, буғ сарфи ўзгариши 15% дан кўпроқ бўлганда), ёки бошқариш объектида параметрик ўзгаришлар (масалан, аралашма таркиби ўзгариш 10% бўлганда) жараёнининг сифат кўрсаткичлари сезиларли даражада ёмонлашади, натижада хом ашё исрофи ортади. Бошқариш жараёнининг сифат кўрсаткичини яхшилаш мақсадида объектга динамик ростлаш ҳатолиги ўзгариш диапазонида ва унинг бошланиш қийматиға нисбатан интегралидан бошқариш таъсирини ишлаб чиқувчи интеллектуал ростлагич улаймиз. Бунинг асосида ректификация колоннасининг ҳарорат профилини адаптив нейро-қатъиймас ростлаш тизимининг имитацион модели ишлаб чиқилди ва ташқи муҳит ҳамда параметрик кўзғатувчи таъсирлар остида қатор ҳисобий тажрибалар ўтказилди (3-расм).



3-расм. Хом ашёнинг йўқотилишининг бошқариш жараёнидаги графиги

Тадқиқотлар шуни кўрсатдики, синтез қилинган нейро-катъиймас тизимнинг бошқариш алгоритми асосида бошқарилаётган катталиқнинг жорий қиймати талаб этилган катталиқдан оғиши 2,5% дан ошмаслиги яққол кўриш мумкин. Бунда тизимнинг хом ашё сарфи ва қиздирувчи буг ҳароратининг ўзгариши бўйича ғалаёнларга робастлиги ҳам таъминланди.

Дастурий комплекс кўринишида яратилган технологик бошқарув ва мониторинг ахборот-таҳлил тизими Ўзбекистон республикасининг катор корхоналарида қўлланилиши натижасида ахборотлар оқими қайта ишлаш ва маълумотларни таҳлил қилишга сарфланадиган вақт 1,26 марта қисқарди, энергетик объектларнинг технологик иш режимларини оптималлаштириш ҳисобига энергиянинг сарфи 1,15% га қисқаришига эришилди.

ХУЛОСА

«Ноаниқлик шароитида динамик объектларни бошқариш жараёнларини интеллектуаллаштириш моделлари ва алгоритмларини яратиш» мавзусидаги докторлик диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Динамик объектларни интеллектуал бошқариш масалаларини ечишнинг усуллари ва алгоритмларини тизимлаштириш ва таҳлил қилиш асосида автоматик бошқариш назарияси ва интеллектуал технология тамойиллари базасида динамик объектларни интеллектуал бошқариш тизимларини яратишнинг назарий асослари ривожлантирилган.

2. Ноаниқлик шароитида фаолият кўрсатадиган динамик объектларни интеллектуал бошқариш тизимларини яратишда классик бошқариш назарияси ва интеллектуал бошқариш усуллариини интеграллашга асосланган янги сифат кўрсаткичли ёндашув таклиф этилган.

3. Технологик объектлар бошқарилувчи жараёнларининг динамик хоссаларини ҳисобга олиш имконини берувчи ва мослашувчанлик хоссаларига эга интеллектуаллашган гибрид моделлар мажмуаси ишлаб чиқилган.

4. Нейрон тўрлар, ноаниқ мантиқ, генетик алгоритмлар ва классик бошқариш назарияси усуллари асосида мураккаб шаклланивчи бошқариш жараёнларини моделларини шакллантириш ва динамик объектларни бошқариш жараёнини интеллектуаллашнинг математик асоси бўлган технологик жараёнларнинг гибрид моделларини яратиш услубияти ишлаб чиқилган.

5. Иерархик таҳлил усуллари, баҳолаш процедуралари ва катъиймас мантиқ усуллари базасида бошқариш тизими фаолиятининг моделини танлаш асосида динамик объектларни тадқиқ қилишнинг самарали ечимини таъминловчи моделлаш алгоритмларини яратишнинг алгоритмик асослари ишлаб чиқилган.

6. Структураси, параметрлари ва вазиятлари ноаниқлик шароитида интеллектуал бошқариш тамойиллари ва анъанавий автоматик бошқариш назарияси усуллариини ўз ичига олган динамик объектларнинг бошқариш

масаласини интеллектуал ечувчиси ишлаб чиқилган.

7. Динамик объектларни идентификациялаш ва генетик алгоритмлар комбинациялари шаклидаги интерактив адаптация усулига асосланган адаптив нейро-қатъиймас комбинациялашган бошқариш тизимини синтезлаш ҳамда адаптив башоратлаш, тизимнинг ўлчанмайдиган координаталарини аниқлаш ва бошқариш тизимининг параметрларини коррекциялаш алгоритмлари ишлаб чиқилган.

8. Тадқиқ этилаётган интеллектуал бошқариш тизимини иерархик ифодаланишига асосланган интеллектуал бошқариш тизимини тадқиқ қилиш ва иерархик кўп сатхли моделлаштириш тамойили ишлаб чиқилган.

9. Динамик объектнинг модели ва ташқи таъсирлар ҳақидаги маълумотлар тўлиқ бўлмаганда, бошқариш тизимининг сифат кўрсаткичларига нейрон тўрлари параметрларининг таъсирини баҳолаш, бошқариш тизимининг структураси ва унинг элементларини ўзаро боғлиқлик моделини аниқлаш процедураларини ўз ичига олган адаптив нейро-қатъиймас бошқариш тизимининг синтезлаш алгоритмлари яратилган.

10. Энергетик объектлар ва нефть-кимё мажмуаларининг технологик агрегатларини оптимал ишлаш режимларини танлаш ҳисобига энергия сарфини камайтириш ва унинг натижасида ишлаб чиқариш самарадорлигини ошириш ҳамда турли авария вазиятларини олдини олиш имконини берувчи объектларнинг технологик параметрларини автоматлаштирилган мониторинги ва бошқариш тизими ишлаб чиқилган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК 16.07.2013.Т.02.01 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ и
ИНСТИТУТЕ ЭНЕРГЕТИКИ И АВТОМАТИКИ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

СИДИКОВ ИСАМИДИН ХАКИМОВИЧ

**КОНСТРУИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ
ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ В УСЛОВИЯХ
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

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

АВТОРЕФЕРАТ ДОКТОРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Ташкент – 2016

Тема докторской диссертации зарегистрирована за №30.09.2014/B2014.5.T309 в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан.

Докторская диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

Полный текст докторской диссертации размещен на веб-странице научного совета по присуждению ученой степени доктора наук 16.07.2013.Т.02.01 при Ташкентском государственном техническом университете и Институте энергетики и автоматики по адресу www.tdtu.uz.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский) размещен на веб-странице по адресу www.tdtu.uz и Информационно-образовательном портале «ZIYONET».

Научный консультант: **Игамбердиев Хусан Закирович**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Бекмуратов Тулкин Файзиевич**
доктор технических наук, профессор, академик

Адилов Фарух Тулкунович
доктор технических наук

Назаров Улугбек Султанович
доктор технических наук, профессор

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

Защита диссертации состоится « 23 » июля 2016 г. в 10⁰⁰ часов на заседании научного совета 16.07.2013.Т.02.01 при Ташкентском государственном техническом университете и Институте энергетики и автоматики по адресу: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz.

С докторской диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (регистрационный номер 14). Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: 246-03-41.

Автореферат диссертации разослан « 07 » июля 2016 года.
(протокол рассылки № 3 от « 07 » июля 2016 г.)

Н. Р. Юсупбеков
Председатель научного совета по присуждению
ученой степени доктора наук,
д.т.н., профессор, академик

О. О. Зарипов
Ученый секретарь научного совета по присуждению
ученой степени доктора наук,
д.т.н., доцент

Ш. М. Гулямов
Председатель научного семинара
при Научном совете по присуждению
ученой степени доктора наук, д.т.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской диссертации)

Актуальность и востребованность темы диссертации. На сегодняшний день в мировой практике в сфере автоматизации ведущее место занимает создание высокоэффективных систем управления технологическими процессами с привлечением интеллектуальных технологий. Одной из наиболее актуальных задач стремительно развивающегося современного информационного общества является управление реальными динамическими системами на основе обработки и анализа огромных потоков данных. В этом направлении определенные успехи достигнуты в ведущих странах мира, таких как США, Германия, Япония, Южная Корея и др., где уделяется пристальное внимание по совершенствованию системы управления технологическими объектами для обеспечения конкурентоспособность продуктов и эффективности производства в промышленной и непромышленной сфере. В настоящее время в этих странах применяемые интеллектуальные системы управления производством составляют около 40-45%¹. В результате этого обеспечивается уменьшение расхода ресурсов и энергии на 35%².

В Республике Узбекистан проводятся широкомасштабные мероприятия по эффективной организации мер по созданию высокоэффективных систем управления технологическими процессами и производствами. В этой сфере, в том числе, по разработке эффективных систем управления отдельными технологическими объектами в различных отраслях производства, интеллектуализации процессов управления, совершенствовании методов исследования интеллектуальных систем управления, создании интеллектуальных средств процессов управления, проводится ряд исследовательских работ.

В мире пристальное внимание уделяется разработке нейро-нечетких моделей и алгоритмов синтеза систем управления в задачах интеллектуализации систем управления технологическими объектами, формирования базы знаний и использования их при совершенствовании управляемых систем. В этой области осуществление целенаправленных научных исследований является приоритетной проблемой, при этом весьма актуальны исследования в следующих направлениях: разработка гибридных моделей динамических процессов на основе нейронных сетей и нечеткой логики, позволяющие учитывать особенности динамических объектов; интеллектуализация процессов управления на основе совместного применения современных методов теории управления и принципов интеллектуализации; разработка инструментальных и программных средств интеллектуализации процессов управления; разработка высокоэффективных алгоритмов адаптивного и робастного управления; создание базы знаний на основе моделей и алгоритмов управления; разработка программно-инструментальных средств интеллектуализации автоматизированного

¹ Электронный журнал «Системный анализ в науке и образовании», №2, 2015 ([www.http://sanse.ru](http://sanse.ru));

² Международный журнал «Проблемы теории и практики управления», 5/2014. ([www.https://istina.msu.ru](https://istina.msu.ru)).

мониторинга и управления динамическими объектами в условиях неопределенности.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Постановлении Президента Республики Узбекистан №ПП-1989 от 27 июня 2013 года «О мерах по дальнейшему развитию национальной информационно-коммуникационной системы», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

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

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации³. Научные исследования, направленные на разработку и создание интеллектуальных систем управления технологическими процессами и производствами различного функционального назначения, осуществляются в ведущих научных центрах и высших образовательных учреждениях мира, в том числе, в Togai Infra Logic, Omron, Micro Devices, Johnson Space Centre, Department of Electron and Intellegent System (США), Международной лаборатории LIFE, Hitachi, Mitsubishi Elektric, Ibaraki University, Kawasaki Medical School (Япония), Siemens (Германия), Wecan Agrotexservis (Южная Корея), ZIFIT, BISC (США), университетах Зиген (Германия), Инха (Узбекистан), Донгук (Южная Корея), мультимедийном обществе Корея.

В результате мировых исследований по совершенствованию моделей и алгоритмов интеллектуализации процессов управления динамическими объектами в условиях неопределенности получены ряд научных результатов, в том числе, разработаны: интеллектуальная бортовая система управления летательными аппаратами (Johnson Space Centre, США); нечеткая система управления температурным режимом в процессе хранения плодоовощных продуктов (Wecan Agrotexservis, Южная Корея); интеллектуальная система управления микроклиматом в автомобилях (Hitachi, Япония); нечеткая система управления одиночным и группой лифтов (Mitsubishi Elektric, Япония); интеллектуальные датчики (Siemens, Германия); экспертная медицинская система (Kawasaki Medical School, Япония); система управления движением поездов метрополитена линии Нанбоку (Международная лаборатория LIFE, Япония); интеллектуальные роботы (Ibaraki University, Япония); интеллектуальные микроконтроллеры (Department of Electron and Intellegent System, США).

³Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации осуществлялся на основе: <http://www.works.doklad.ru>, <http://www.refdt.ru>, <http://www.km.ru>, <http://osp.ru/os>; Захаров В. Интеллектуальные технологии в современных системах управления // Международный журнал «Проблемы теории и практики управления». -М.: №5/2005. – С.96-100 и других источниках.

В мировых исследованиях по разработке инструментальных средств создания интеллектуальных систем управления динамическими объектами с привлечением достижений современных информационных технологий по ряду приоритетных направлений проводятся научные исследования по формированию математических моделей динамических объектов с учетом неопределенностей; разработке нейро-нечетких моделей процессов управления технологическими процессами; алгоритмов интеллектуализации процессов управления динамическими объектами; инструментальных средств автоматизированного мониторинга и управления динамическими объектами; комплексов программ для решения задач интеллектуализации процессов управления динамическими объектами в условиях неопределенности.

Степень изученности проблемы. Вопросам исследования теоретических и практических задач по интеллектуализации процессов управления динамическими объектами и созданию высокоэффективных систем управления с учетом различных факторов сложности и неопределенности, интеллектуальных систем управления технологическими объектами и процессами в условиях структурной, параметрической и ситуационной неопределенностей, посвящены работы ряда учёных: Abraham A., Aliev R.A., A.Allgöwer, Griffin M.F., Hunt K.J., Irwin G., Kraszewski P., Li Ning, Li Shao Yuan, Piegat A., Stolcman S., Sugeno M., Tanaka K., Wang H.O., Warwick K., Xi Yu Geng, Zadeh L.A., Zheng A., Алтунина А.Е., Бобко В.Д., Борисова А.Н., Васильева С.Н., Верлань А.Ф., Вострова Н.Н., Пупкова К.А., Тарасова В.Б., Ульянова С., Абдуллаева Д. А., Абуталиева Ф.Б., Адилова Ф.Т., Арипова М.М., Бекмуратова Т.Ф., Гулямова Ш.М, Жуманова И.И., Игамбердиева Х.З., Кадырова А.А., Камилова М.М., Марахимова А.Р., Мухамедиевой Д.Т., Рахматуллаева М.А., Усманова Р.Н., Юсупбекова Н.Р. и др.

Со стороны ряда учёных (F.L. Smidth, P.A. Алиев, У. МакКаллак, У. Питтс, Т. Кохонен, Дж. Хопфилд и др.) велись исследования, посвященные вопросам разработки и использования нечетких регуляторов в задачах управления сложными нелинейными динамическими объектами, в которых получены весьма важные результаты, в частности, созданы и используются в промышленности нейро-нечеткие контроллеры и разнообразные интеллектуальные системы.

Исследованию вопросов создания интеллектуальных систем управления с применением экспертных систем посвящены работы М. Сугено, Т. Ямакава, Т. Такаги, С. Ясунобу, Л. Заде, Н.Г. Ярушкиной, П. Жексон, R. Davis, Т. Саати, Е. Мамдани, Д.А. Поспелова, Т.Ф. Бекмуратова, Н.Р. Юсупбекова и др., в которых обоснована необходимость непосредственного учета неопределенности параметров и характеристик, касающихся динамических объектов, а также неточности и нечеткости информации в моделировании и управлении технологическими процессами. Вместе с тем, в научных публикациях в недостаточной мере рассмотрены вопросы систематизации известных подходов и разработки совершенных

инструментальных средств создания интеллектуальных систем управления динамическими объектами, а также дальнейшего совершенствования и создания эффективных методов конструирования моделей и алгоритмов интеллектуализации процессов управления динамическими объектами 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: 0.80.02 - «Разработка и внедрение интеллектуальных систем с программно-алгоритмической поддержкой принятия управленческих решений в задачах анализа и синтеза иерархических многоуровневых систем управления непрерывными и дискретными технологическими объектами», (2001-2003); П20.22 - «Разработка методов и алгоритмов автоматизированного исследования иерархических мультимикропроцессорных систем управления технологическими объектами», (2004-2006); А-14.002 - «Разработка инструментальных средств создания моделирующих, прогнозирующих и адаптивных систем на основе интеллектуализации процессов управления сложными динамическими объектами», (2006-2008); ИТД-5-36 - «Разработка информационно-аналитической интеллектуальной системы мониторинга технологической безопасности нефтехимических установок и комплексов» (2012-2014); А-5-42 - «Программно-инструментальные средства интеллектуализации автоматизированного мониторинга и управления технологическими объектами в условиях априорной неопределенности» (2015-2017).

Целью исследования является разработка моделей и алгоритмов интеллектуализации процессов управления динамическими объектами в условиях неопределенности

Задачи исследования:

системный анализ современного состояния теории и практики исследования систем управления динамическими объектами в условиях неопределенности и размытости производственных ситуаций;

разработка принципов и методологии интеллектуализации процессов управления сложными динамическими объектами в условиях неопределенности;

структуризация и алгоритмизация задач интеллектуализированного моделирования систем управления динамическими объектами;

разработка алгоритмов анализа и синтеза адаптивных нейро-нечетких систем управления сложными динамическими объектами;

разработка алгоритмической основы конструирования моделирующих алгоритмов исследования динамических объектов;

практическая апробация разработанных моделей и алгоритмов исследования систем управления динамическими объектами при решении задач автоматизированного управления технологическими процессами.

Объектом исследования являются системы управления динамическими объектами, функционирующими в условиях неопределенности и размытости производственных ситуаций.

Предмет исследования - принципы и методы интеллектуализация процессов управления динамическими объектами в условиях неопределенности на основе нейронечетких моделей.

Методы исследований. В диссертации использованы методы системного анализа, теории нечетких множеств, математического моделирования, теории автоматического управления, теории интеллектуального управления, теории искусственного интеллекта и методы оптимизации.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

выявлены основные классы решаемых задач, разработаны принципы интеллектуализации процессов управления динамическими объектами, функционирующих в условиях неопределенности;

разработан качественно новый подход к созданию систем интеллектуализации процессов управления динамическими объектами, функционирующими в условиях неопределенности и расплывчатости производственных ситуаций, на основе интеграции методов современной теории управления и интеллектуальных технологий;

разработан комплекс интеллектуализированных гибридных моделей систем управления динамическими объектами, обладающий адаптивными свойствами, и позволяющий в отличие от известных типов моделей учитывать динамические особенности управляемых процессов;

разработаны алгоритмические основы конструирования моделирующих алгоритмов исследования динамических объектов, обеспечивающие эффективное решение задач выбора наилучших моделей и принятия управленческих решений;

создан интеллектуализированный решатель задач управления динамическими объектами, сочетающий в себе методы традиционной теории автоматического управления и принципы интеллектуального управления, в условиях структурной, параметрической и ситуационной неопределенностей;

разработаны алгоритмы определения неизмеряемых координат объекта, коррекции параметров системы управления, а также синтеза системы управления динамическими объектами на основе адаптивных нейро-нечетких и прогнозирующих моделей.

созданы алгоритмы синтеза адаптивной нейро-нечеткой комбинированной системы управления динамическими объектами, основанный на методе интерактивной адаптации, представляющий собой комбинацию алгоритма идентификации и генетических алгоритмов, который позволяет эффективно решать задачи управления промышленными объектами в условиях неопределенности.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработаны инструментальные средства интеллектуализации процессов управления динамическими объектами в виде программного комплекса, предназначенные для автоматизации процесса формирования

гибридных моделей слабоформализуемых процессов, пополнения базы знаний и синтеза системы управления на основе поставленной цели;

создана система автоматизированного мониторинга и управления технологическими параметрами электроэнергетических объектов и нефтехимических комплексов, позволяющая выбирать оптимальные режимы работы технологических агрегатов, уменьшить энергозатраты и повысить производительность за счет сокращения удельного расхода используемой энергии, а также предотвратить различные аварийные ситуации;

разработанная адаптивная нейро-нечеткая система управления особенно эффективна при управлении сложными нелинейными объектами с параметрическими и информационными неопределенностями, для которых стандартные подходы синтеза системы автоматического управления малоэффективны.

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

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования заключается в разработке методологии конструирования методов, моделей и алгоритмов автоматизированного исследования систем управления динамическими объектами, функционирующими в условиях неопределенности и размытости производственных ситуаций, позволяющая эффективно решать задачи интеллектуализации процессов управления технологическими объектами непрерывно-дискретного характера. При этом гибридный характер применяемых в работе нейро-нечетких моделей позволяет на единой математической основе производить описание, моделирование, синтез и формирование базы знаний.

Практическая значимость результатов работы заключается в разработке инструментального средства автоматизированного мониторинга и управления динамическими объектами в виде программных комплексов, позволяющие прогнозировать и анализировать различные производственные ситуации и выбирать оптимальные управленческие решения в задачах проектирования систем управления. Разработанные модели и алгоритмы интеллектуализации процессов управления динамическими объектами в условиях неопределенности могут найти широкое применение при создании интеллектуальных систем управления технологическими процессами с непрерывным и дискретным характером производства.

Внедрение результатов исследования. Разработанные инструментально-программные средства на основе гибридных моделей и адаптивной нейро-нечеткой системы управления внедрены на предприятиях ГАК «Узбекэнерго», в том числе, JSCJV «Deutsche Kabel AG Tashkent», ООО

«Delta Net», научно-исследовательского центра «Новые технологии» (Справка ГАК «Узбекэнерго» Республики Узбекистан о внедрении за №ДИ-01-21/1953 от 12.05.2016 г). Результаты научно-исследовательских работ позволяют сократить время процессов обработки и анализа потоков информации в 1,26 раза, снизить расход электроэнергии на 1,15% в технологических объектах и тем самым повысить эффективность производства.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования доложены на 47 научно-практических конференциях, в том числе, на 32 международных: «Технические науки и глобальные проблемы 21 века» (Ташкент, 2001); «Инновация-2003» (Ташкент, 2003); «Современные технологии и оборудование текстильной промышленности» (Москва, 2003); «Математические методы в технике и технологиях» (С.Петербург, 2003); «Инфокоммуникационные и вычислительные технологии в науке, технике и образовании» (Ташкент, 2004); «Внедрение информационно-коммуникационных технологий в текстильную и легкую промышленности» (Ташкент, 2005, 2007); World Conference of Intelligent Systems for Industrial Automation (Tashkent, 2002-2014), «Современные материалы техника и технологии в машиностроении» (Андижан 2012, 2014); «Современные техника и технологии горно-металлургической отрасли и пути их развития» (Навои, 2013); «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте» (Коломна, 2013); «Seventh International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control - ICSCCW-2013», (Izmir, Turkey, 2013); «Распознавание-13» (Курск, 2013); «Proceedings Eleventh International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing -ICAFS-2014» (Paris, France, 2014); «The 11th International Conference on Multimedia Information Technology and Application –MITA-2015» (Ташкент, 2015); «Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия» (Новосибирск, 2015); и на 12 республиканских конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликованы всего 88 научных работ. Из них 1 монография, 40 журнальных статей, в том числе 6 в иностранных, 34 в республиканских журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, а также получено 15 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Структура диссертации состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы, приложений. Объем диссертации составляет 198 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность и востребованность проведенного исследования, цель и задачи исследования, характеризуются объект и предмет, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, раскрываются научная и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику результатов исследования, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Системный анализ современного состояния проблемы интеллектуализации процесса управления динамическими объектами»** излагается современное состояние теории и практики построения интеллектуальных систем управления динамическими объектами, функционирующими в условиях различных видов неопределенностей. Выявлены основные причины возникновения неопределенностей в процессе управления динамическими объектами.

В настоящее время наблюдается активное развитие прикладных областей науки, связанных с автоматизацией промышленного производства. В связи с этим необходимо создание различного рода технических систем, обладающих высокой степенью автономности, адаптивности, надежности и качества функционирования в условиях неопределенности.

Объектами управления являются сложные, многомерные нелинейные системы управления, которые требуют особых, нестандартных методов, для обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик и широкого набора функциональных возможностей по формированию целесообразного поведения и планированию последовательности выполняемых операций с возможностью прогнозирования с учетом воздействия внешней среды, а также активной адаптацией ее текущих состояний. Данные требования обуславливают разработку инструментальных средств и методов интеллектуального управления.

Одной из наиболее актуальных задач стремительно развивающегося современного информационного общества является управление реальными динамическими системами на основе обработки и анализа огромных потоков данных. Неопределенность и динамический характер факторов, действующих в системе, существенно затрудняет прогнозирование поведения динамических систем, следовательно, усложняется решение задачи управления.

Существует множество моделей и алгоритмов построения интеллектуальных систем автоматического управления, которые используются в разных отраслях науки и техники. Самыми распространенными из них являются нейронные сети, нечеткие системы, экспертные системы управления, генетические алгоритмы, визуализация данных, деревья решений, роевой интеллект.

На основе системного анализа установлено, что создание моделей и алгоритмов управления динамическими объектами при наличии неопределенных факторов настолько сложны и нетривиальны для классических методов теории управления, что для их решения потребуются разработка новых и модификация известных методов с учетом развития достижения современных информационных технологий. Это связано с тем, что традиционные методы исследования таких систем в классе адаптивных и робастных систем управления, сталкиваются с трудностями, обусловленными структурой объекта управления и способом оценивания воздействий.

Анализ методологических аспектов оценки состояния управления и моделирования явлений и процессов динамических систем показывает, что вопросам их системных исследований в условиях информационной неопределённости с учётом физико-химических закономерностей и нечётких причинно-следственных связей, не уделялось должного внимания. Следовательно, применение методов системного анализа, математического моделирования, обработки информации, управления сложными динамическими объектами в условиях информационной неопределённости, остаётся одной из важнейших задач, решение которой будет способствовать повышению эффективности производств.

Анализ методов формального представления, моделирования и исследования динамики систем управления, функционирующих в условиях неопределенности, влияющих на режимы работы системы, показывает, что наиболее адекватными задачами является применение гибридных методов, включающих, как теорию нечеткой логики, так и методы теории автоматического управления, которые являются базовой основой для интеллектуализации процессов управления динамическими объектами.

Особое место в первой главе занимает структура методологических этапов и направлений диссертационного исследования (рис.1). Здесь представлены концепции исследования в части интеллектуализации процессов управления сложными динамическими объектами, предусматривающие использование гибридных информационных технологий на основе интеграции базы данных и знаний, включающие методы интеллектуализированного управления.

В предлагаемой методологии особое внимание уделено разработке гибридных интеллектуальных моделей автоматизированного решателя задач управления динамическими объектами, функционирующих в условиях неопределенности, нейро-нечетких моделей, методов реализации нейро-нечетких адаптивных моделей в задачах управления динамическими объектами, а также интеллектуальным методам обработки информации.

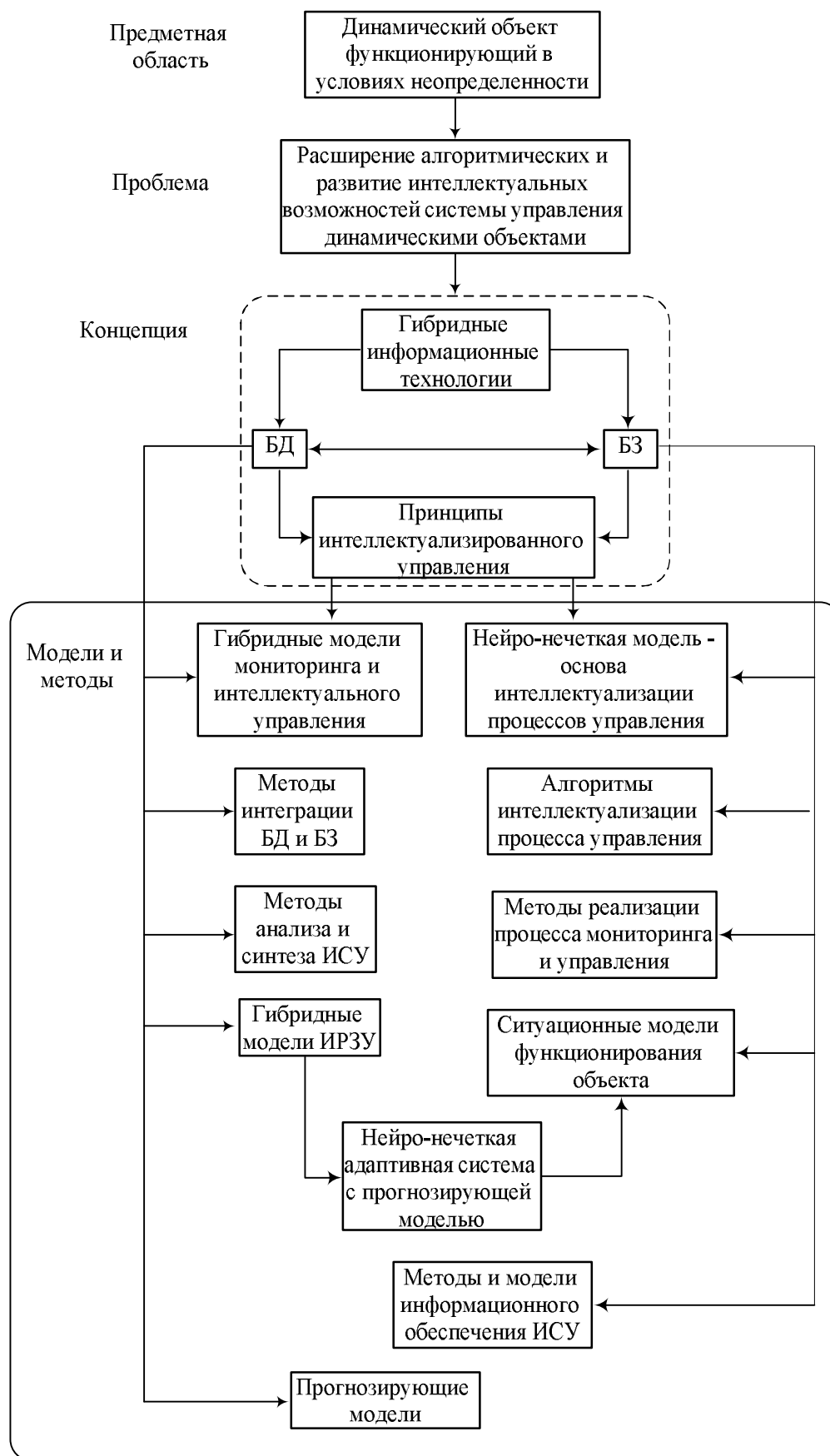


Рис. 1. Методологические аспекты и направление диссертационного исследования

Во второй главе диссертации **«Концепции и методология интеллектуализации автоматизированного управления динамическими объектами»** приведены разработанные модели динамических процессов, являющиеся одной из самых важных и трудоемких задач, решаемых при разработке систем управления и принятия решений по управлению.

Основным моментом при разработке систем управления процессом, является создание высокоэффективных методов обработки информации и выработки управляющих воздействий. Решение этой проблемы непосредственно связано с разработкой математических моделей, которые отражают специфику сложных условий функционирования системы, такие, как неопределенность и изменение характеристик внешней среды, появление аномальных ситуаций, отказов источников информации, каналов связи, устройств, реализующих формирование управляющих воздействий, а также влияние возмущений и помех.

Сложность решения данной проблемы значительно осложняется в связи с тем, что помимо чисто концептуальных задач и решения общесистемных вопросов, необходимо решать задачи формализации представления структур моделей, анализа адекватности моделей, формирование банка аналитико-технологических выборов, выявления причинно следственных связей, разработки форм представления знаний о событиях, действиях и процедурах.

Использование интеллектуального подхода позволяет осуществлять эффективное управление сложными объектами при наличии различных видов неопределенностей в моделях, когда модели и процедуры выбора управляющих решений определены расплывчато, а иногда заданы лишь на качественном уровне.

В общем случае динамику систем управления можно представить уравнением состояния:

$$x_{k+1} = F(x_k, u_k), k = \overline{0, N},$$

$$x_k \in X, u_k \in U,$$

где X - пространство состояний, U - множество допустимых управлений, F - переходная функция состояния, в общем случае нелинейная

$$F : X \times U \rightarrow X.$$

Неполностью определенные процессы можно моделировать с помощью аппарата нечетких множеств. Тогда динамика системы управления описывается нечетким отношением

$$F : X \times U \times X \rightarrow [0,1],$$

представляющим собой нечеткое подмножество декартова произведения $X \times U \times X$.

Для динамических систем с различными видами неопределенностей переходная функция может быть записана в следующем виде

$$F : X \times U \rightarrow XP,$$

где XP - множество распределений вероятности на X . Для учета неопределенностей в модель вводятся случайные величины или коэффициенты.

Формализация рассматриваемого класса задач может быть естественным образом осуществлена с использованием математического языка гибридных моделей, которая может быть представлена в виде следующих уравнений:

$$\begin{aligned}x(k+1) &= \Phi_k[m(k), \gamma(k), m(k+1), \gamma(k+1), u(k)] \cdot x(k) + \\ &+ \Gamma_k[m(k), \gamma(k), m(k+1), \gamma(k+1), u(k)] \cdot w(k); \\ z(k+1) &= H_{k+1}[m(k+1), \gamma(k+1)] + G_{k+1}[m(k+1), \gamma(k+1)] \cdot v(k),\end{aligned}$$

где $x(k)$ – расширенный вектор состояния обобщенного объекта управления и модели окружающей среды; $u(k)$ – вектор управляющих воздействий; $z(k+1)$ – вектор доступных наблюдений; $w(k)$ и $v(k)$ – некоррелированные между собой последовательности векторов; $\Phi_k[\cdot]$, $\Gamma_k[\cdot]$, $H_{k+1}[\cdot]$ и $G_{k+1}[\cdot]$ – матричные функции соответствующих размерностей.

Основой моделирующих систем является иерархическое описание динамики исследуемой системы, представляемое семейством моделей, каждая из которых описывает поведения динамической системы с точки зрения различных уровней абстрагирования.

Применительно к решаемым задачам предлагается выделить два направления иерархических моделей:

- иерархия по вертикали, в которой деление моделей по уровням осуществляется по структурно-функциональным особенностям системы;
- иерархия по горизонтали, в которой деление моделей по уровням осуществляется в зависимости от методов исследования.

В иерархии по вертикали выделены три уровня моделей:

- уровень базовых моделей, содержащий простейшие модели;
- уровень локальных моделей, отображающих структурно-функциональные свойства функционально законченных устройств, ориентированных на решение частных задач;
- уровень глобальных моделей, отображающих организационные особенности систем и представляющих собой модели с высокой степенью детализации.

Иерархия по горизонтали включает четыре уровня моделей в зависимости от методов их исследования:

- модели, позволяющие получить результаты расчета процессов на основе аналитического моделирования;
- модели, отображающие дискретный характер процессов и представимые логико-дифференциальным уравнением;
- модели, отображающие структурное сопряжение математических схем процессов на основе нейросетевых алгоритмов;
- модели, позволяющие оптимизировать и прогнозировать состояние системы на основе методов искусственного интеллекта.

Формально конструирование моделей динамических объектов может быть представлено в следующем виде:

$$M = \langle I, P, \Phi, X, Y, \Omega \rangle,$$

где I – идентификатор модели; $P = P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – одноместный предикат, определенный на множестве X . Смысл этого предиката состоит в формальном определении возможности использования данной модели; $\Phi : X \rightarrow Y$ ($XUY=Z$) – отображения, описывающие некоторую совокупность свойств моделирующего алгоритма; $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – входные переменные вычислительной модели; $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ – выходные переменные вычислительной модели; $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ – совокупность переменных; Ω – область применения модели, которая задается парой области определения X и значения Y , т.е. $\Omega = \{X, Y\}$

В процессе работы с моделями могут встречаться входные переменные двух типов: определенные и неопределенные. В соответствии с этим множества X будем делить на два непересекающихся подмножества X^H и X^O , т.е.

$$X^H \cup X^O = X \quad (X^H \cap X^O = \emptyset)$$

Элементы множества X^H могут быть определены с введением того или иного отношения между определенными переменными X^O . Такая связь приводит к образованию более сложных многоуровневых вычислительных моделей или иначе, модель M , имеющая в качестве выхода вектор Y и неопределенные вектора переменных X^H , может быть представлена в виде совокупности $N_m = N_x \cup N_y$ моделей-отображений со скалярными векторами $Y_k \in Y$, $k = 1, 2, \dots, N_m$.

Используемые подмодели, являющиеся блоками различной размерности, также могут быть представлены в виде:

$$m_i = \langle I, P_i, f_i, x_i, y_i, \Omega \rangle$$

Тогда компоненты исходной модели описываются через компоненты элементарных моделей следующим образом:

$$\begin{aligned} M &= \{m_i\}, \quad \Phi = \{f_i\}, \quad i \in [1, N_m] \\ (\forall x) P(X) &\leftrightarrow [P_1(X_1) \wedge P_2(X_2) \wedge \dots \wedge P_{N_m}(X_{N_m})] \\ X &= \bigcup_{i=1}^{N_m} X_i; \quad Y = \left(\bigcup_{i=1}^{N_m} Y_i \right) / X \\ Z &= \bigcup_{i=1}^{N_m} Z_i; \quad \Omega_i = P_z Z_i(\Omega): i = 1, 2, \dots, N_m \end{aligned}$$

$P_z Z_i(\Omega)$ – проекция множества Ω на гиперплоскость, координатами которой являются компоненты вектора Z_i .

Такие формы представления вычислительных моделей позволяют обобщить процедуры, связанные с формированием моделирующих алгоритмов и представить их как формальные задачи, решаемые на базе этих моделей.

Таким образом, можно построить модели различных технологических

процессов, протекающих на динамическом уровне управления. Подход построения моделей также применим для нестационарных объектов, где параметры объекта изменяются во времени. Предложенный способ является основой для формирования моделей как прогнозирующих, так и адаптивных систем с идентификатором.

В третьей главе диссертации **«Разработка интеллектуального решателя задач управления динамическими объектами»** на основе разработанной методики конструирования моделей динамики функционирования объектов, функционирующих в условиях неопределенности, рассмотрены вопросы создания интеллектуализированного решателя задач автоматизированного управления динамическими объектами. Предложена обобщенная алгоритмическая структура интеллектуализированной системы управления динамическими объектами, в состав которых входит динамический решатель задач, предназначенный для вывода решений на основе продукционных правил. Разработаны алгоритмы адаптивного прогнозирования, определения неизмеряемых координат системы и коррекция параметров системы управления, являющиеся основой динамического решателя задач управления технологическими объектами, функционирующих в неопределенных условиях.

Структура интеллектуализированной системы управления (рис.2), наряду с новыми, содержит традиционные элементы и связи, центральное место в ней занимает динамический решатель задач.

$$T \times M \times S \xrightarrow{a_2} C \times T;$$

$$C \times T \times X \times S \xrightarrow{a_1} R \times T;$$

$$T \times \dot{X} = \{A \times T\} X \times T + \{B \times T\} U \times T;$$

$$T \times Y = \{D \times T\} X \times T;$$

$$T \times R \times Y \xrightarrow{a_2} C \times T$$

где T - множество моментов времени; X, S, M, C, R и Y - множества состояний системы, окружающей среды, мотивации, цели, прогнозируемого и реального результата; A, B и D - матрицы параметров; $a_i, i = \overline{1,4}$ - интеллектуальные операторы преобразования, использующие знания.

Динамический решатель задач есть некоторое комплексное образование, способное оценивать состояние системы и среды, сопоставлять параметры желаемого и реального результатов действия, принимать решение и вырабатывать управление, способствующее достижению цели. Для этого динамический решатель задач управления должен обладать запасом знаний и располагать методами решения задач. Важной функцией динамического решателя задач управления является формализация состояния БД и БЗ.

Гибридные модели, являющиеся математической основой интеллектуализированной системы управления, реализующие

положительные свойства нейронных сетей и нечеткой логики показали высокую эффективность нейро-нечётких систем управления.

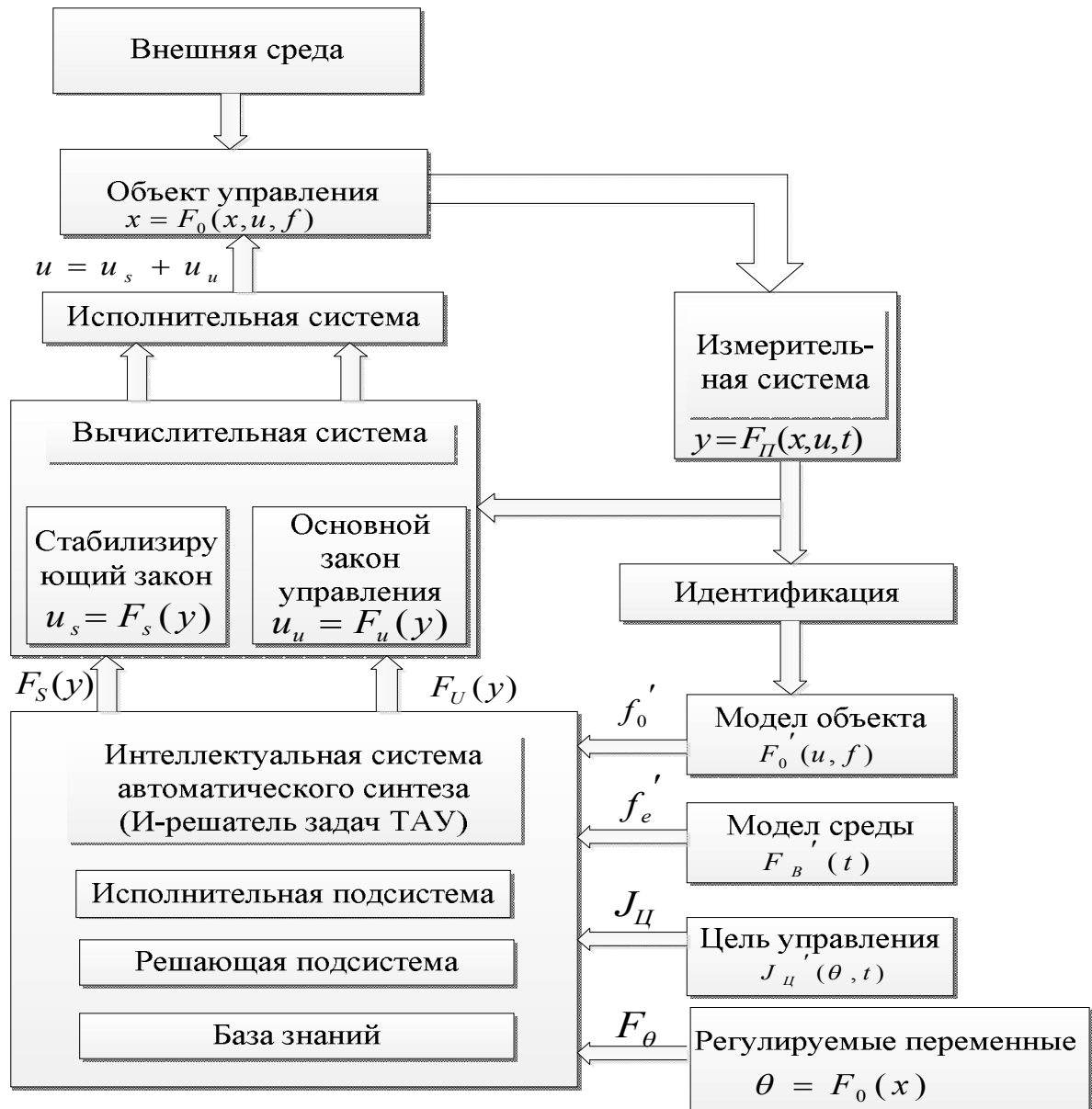


Рис. 2. Структура интеллектуализированной системы управления динамическими объектами

Элементы интеллектуализированной системы управления динамическими объектами описываются нечеткими адаптивными моделями, являющимися разновидностью многослойной нейронной сети, структура которой формируется на основании анализа технологических переменных и характера связей между ними с возможностью настройки на меняющиеся условия производства. Для пояснения работы динамического решателя задач управления рассмотрим процесс стабилизации выходной переменной $y(i+1)$ динамического объекта, описываемого нелинейным разностным уравнением

$$\begin{aligned} y(i+1) &= f(y(i), \dots, y(i-r), \bar{x}(i), \dots \\ &\bar{x}(i-s), u(i), \dots, u(i-q)), \end{aligned} \quad (1)$$

где $i = 0, 1, 2, \dots, N$ - текущее дискретное время; $y(i)$ - выходной сигнал, $\bar{x}(i) = (\bar{x}_1(i), \dots, \bar{x}_k(i))$ - вектор возмущающих воздействий; $u(i)$ - управление; $f(y(i), \dots, y(i-r), \bar{x}(i), \dots, \bar{x}(i-s), u(i), \dots, u(i-q))$ - некоторая нелинейная функция, имеющая известные порядки r, s, q .

Входные координаты объекта ограничены в любой момент времени, т.е.:

$$u^{\min} \leq u(i) \leq u^{\max},$$

$$\bar{x}^{\min} \leq \bar{x}(i) \leq \bar{x}^{\max}, i = \overline{1, N}.$$

Для описания динамического процесса используется нечеткая модель Суджено, представленная совокупностью правил:

$$\begin{aligned} &\text{если } x_{k1}(i) \text{ есть } X_{k1}^{\theta} \\ &x_{k2}(i) \text{ есть } X_{k2}^{\theta}, \dots, x_{km}(i) \text{ есть } X_{km}^{\theta}, \\ &\text{то } u_k^{\theta}(i) = b_{k0}^{\theta} + b_{k1}^{\theta} x_{k1}(i) + \dots + b_{km}^{\theta} x_{km}(i), \\ &\theta = \overline{1, n}, \end{aligned} \quad (2)$$

с нечеткими множествами $X_{kl}^{\theta}, l = \overline{1, m}$ и линейной зависимостью связывающей входы $\bar{x}_k(i) = (x_{k1}(i), x_{k2}(i), \dots, x_{km}(i))$ и выход $u_k^{\theta}(i)$.

Основной характеристикой, задающей нечеткое множество X_k является функция принадлежности $X_k(x_k)$, которая имеет вид сигмоиды:

$$X_k(x_k) = (1 + \exp(d_{k1}(x_k + d_{k2})))^{-1}.$$

Механизм определения выхода $u_k(i)$ по нечеткой модели (2) при задании входов $x_{kl}^0(i)$ в момент времени $i = 1, 2, \dots, N$, функций принадлежности $X_{kl}^0(x_{kl}(i))$ и коэффициентов $b_{k0}^{\theta}, b_{k1}^{\theta}, \dots, b_{km}^{\theta}, \theta = \overline{1, n}, l = \overline{1, m}$, линейных уравнений:

$$\begin{aligned} u_k^{\theta}(i) &= b_{k0}^{\theta} + b_{k1}^{\theta} x_{k1}(i) + \dots + b_{km}^{\theta} x_{km}(i), \\ \theta &= \overline{1, n}, \end{aligned} \quad (3)$$

можно представить в виде нечеткой пятислойной нейронной сети.

В первом слое вычисляются степени принадлежности $X_{k1}^{\theta}(x_{k1}^0(i)), \dots, X_{km}^{\theta}(x_{km}^0(i))$ для того θ -го правила, а во втором слое значения истинности посылок w_k^{θ} путем алгебраического умножения:

$$w_k^{\theta} = X_{k1}^{\theta}(x_{k1}(i)) X_{k2}^{\theta}(x_{k2}(i)) \dots X_{km}^{\theta}(x_{km}(i)).$$

В третьем слое определяются относительные нормализованные значения истинности посылок:

$$\beta_k^{\theta}(i) = \frac{w_k^{\theta}(i)}{w_k^1(i) + w_k^2(i) + \dots + w_k^n(i)}.$$

В четвертом слое значения $\beta_k^{\theta}(i)$ умножаются на значения выхода

$u_k^0(i)$, рассчитанные по линейным уравнениям (3) при постановке значений $x_{k1}^0(i), x_{k2}^0(i), \dots, x_{km}^0(i)$.

В последнем пятом слое итоговое значение $u_k(i)$ по всем правилам находится как средневзвешенная сумма $u_k^0(i)$

$$u_k(i) = \sum_{\theta=1}^n \beta_k^\theta(i) u_k^\theta(i).$$

Для определения вектора настроечных параметров нечеткой модели используется данные, $x_{k1}^*(i), \dots, x_{km}^*(i), u^*(i)$, при которых выходная переменная $y(i+1)$ близка к номинальному значению y^H , т.е. удовлетворяет условию:

$$J^* = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| y^H - y(x_k^*(i), u^*(i)) \right| / y^H \right) \leq J^H,$$

где J^H - номинальное значение относительной ошибки регулирования. Следующим моментом является обучение сети. Для этой цели вычисляется корректирующая матрица:

$$H_k(i) = H_k(i-1) - \frac{H_k(i-1) \tilde{x}_k(i) \tilde{x}_k^T(i) H_k(i-1)}{1 + \tilde{x}_k^T(i) H_k(i-1) \tilde{x}_k(i)} \quad (4)$$

и вектор коэффициентов:

$$\overline{b}_k(i) = \overline{b}_k(i-1) + H_k(i) \tilde{x}_k(i) (u^*(i) - \overline{b}_k^T(i-1) \tilde{x}_k(i)). \quad (5)$$

Получения нечеткая модель в дальнейшем обучается по текущим данным путем направленного изменения коэффициентов $b_l^\theta, \theta = 1, n, l = 0, m$ и параметров функций принадлежности $d_{k1,l}^\theta, d_{k2,l}^\theta$.

Для обучения сети предлагается алгоритм, основанный на теории интерактивной адаптации, сущность которого заключается в вычислении ошибки $E_k(i) = 0.5 e_k^2(i) = 0.5 \left(u^*(i) - u_k(\overline{d}_k, \overline{x}_k^*(i)) \right)^2$ неявным образом.

При использовании алгоритма интерактивной адаптации система разбивается на N -подсистем, каждый из которых имеет интегрируемый выходной сигнал y_n и интегрируемый входной сигнал x_n , отношение между ними представляется в виде функциональной зависимости:

$$F_n : X_n \rightarrow Y_n, n = 1, 2, \dots, N$$

Отношение i -го элемента системы имеет вид:

$$y_i(t) = F_i[x_n(t)], i = 1, 2, \dots, N$$

Пусть взаимодействие между элементами и внешним сигналом $u_i(t)$ линейно и описывается уравнением:

$$x_i(t) = u_i(t) + \sum_{K \in J_i} \alpha_K \cdot y_i(t), i \in N, \quad (6)$$

где $J_i = \{K : y_K = i\}$ - множества связанных входов i -го элемента; α_K - веса связей, то отношение входа и выхода i -го элемента описывается следующим уравнением:

$$y_i(t) = F_i[u_i(t) + \sum_{K \in J_i} \alpha_K \cdot y_i(t)], i \in N$$

Если система описывается уравнением (6), то веса связей α_K настраиваются по следующему правилу:

$$\dot{\alpha}_K = F'_{\text{ex}K}[x_{\text{ex}K}] \cdot \left(\frac{y_{\text{bix}K}}{y_{\text{ex}K}} \right) \sum_{S \in Q_{\text{bix}K}} \alpha_S \cdot \dot{\alpha}_S - \gamma \cdot F'_{\text{ex}K}[x_{\text{ex}K}] \cdot y_{\text{bix}K} \cdot \frac{\delta E}{\delta y_{\text{ex}K}},$$

где $\gamma > 0$ - коэффициент, определяющий скорость обучения; $F'_{\text{ex}K}[x_{\text{ex}K}]$ - производная Фреше; E - функция потерь (ошибка) $k \in K$.

При условии, что уравнение (6) имеет единственное решение для α_K , где функция потерь $E(y_1, \dots, y_K; u_1, \dots, u_n)$ будет монотонно убывать во времени и будет удовлетворяться следующее равенство:

$$\dot{\alpha}_K = -\gamma \frac{\delta E}{\delta \alpha_K}, k \in K$$

При таком подходе нейросеть может быть разложена на составные элементы, представляемые как элементарная нейросеть.

Математически нейросетевой алгоритм обучения представим в виде:

$$Pn = \sum_{s \in Dn} \omega_s \cdot r_{\text{pres}} \\ r_n = \sigma(pn),$$

где: n - индекс нейрона; s - индекса синапса; Dn - набор входных синапсов нейрона n ; pres и post - пресинаптический и постсинаптический нейрон, соответствующий синапсу s ; ω_s - вес синапса s ; pn - мембранный потенциал нейрона n ; r_n - частота возбуждения нейрона n ; σ - функция активации типа сигмоид, которая представляется в виде

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

При этом вес синапсов определяется по формуле:

$$\dot{\omega}_s = r_{\text{pres}} (\varphi_{\text{posts}} \sigma(-P_{\text{posts}}) + \gamma \cdot f_{\text{posts}}),$$

$$\text{где } \varphi_n = \sum_{S \in A_n} \omega_s \cdot \dot{\omega}_s,$$

где: γ - коэффициент непосредственной обратной связи для всех нейронов, φ_n - сигнал непосредственной обратной ошибки.

Таким образом, объединение положительных свойств нейронных сетей и нечетких моделей позволяет эффективно решать задачи управления сложными динамическими объектами в условиях неопределенности.

В четвертой главе диссертации «**Алгоритмический синтез интеллектуальной системы управления динамическими объектами**» сформулированы принципы построения интеллектуализированной системы управления иерархически организованных динамических объектов, функционирующих в условиях априорной неопределенности информации.

В многоуровневых иерархических системах важным вопросом является решение задачи координации работы подсистем, если в системе имеется неопределенность, то задача принятия решения значительно усложняется.

В диссертационной работе для координации уровней управления предлагается исследовать вопросы оптимизации двухуровневой системы и принимать эту задачу как основной модуль для любой N -уровневой системы, причем для решения задачи на $(i-1)$ -м уровне считается заданным результат оптимизации на уровне i . Или, если записать $\bar{x}_N$ в виде:

$$\bar{x}_N = \{\bar{x}_{ij}\}, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M},$$

где $M = m_i$ - число подсистем на i -м уровне управления, то предполагается, что при нахождении решений $x_{(i-1)j}$, $j = \overline{1, m_{i-1}}$, все решения $\bar{x}_{ij}^0$, $j = \overline{1, m_i}$, уже приняты.

В этом случае динамика локального уровня управления может быть представлена в виде:

- нечеткое уравнение состояния

$$d\bar{x}/dt = \bar{A} \otimes \bar{x} \oplus \bar{B} \otimes u, \mu_{\bar{s}}(s),$$

- нечеткое уравнение наблюдения

$$\bar{y} = \bar{C} \otimes \bar{x},$$

- нечеткие начальные условия

$$\bar{x}_1(0) = \bar{D}_1, \bar{x}_2(0) = \bar{D}_2, \dots, \bar{x}_n(0) = \bar{D}_n,$$

где $\otimes, \oplus$ - нечеткие операции соответственно сложения и умножения; u - управляющий сигнал (скаляр), принимающий нечеткие значения; $\bar{x} = \{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_i, \dots, \bar{x}_n\}$ - вектор нечеткого состояния, $i = \overline{1, 2, \dots, n}$; $\bar{y} = \{\bar{y}_1, \bar{y}_2, \dots, \bar{y}_\zeta, \dots, \bar{y}_l\}$ - вектор нечетких выходных переменных, $\zeta = \overline{1, 2, \dots, l}$; $\mu_{\bar{s}}(s)$ - показатель нечеткого (изменяющегося) числа переменных состояния и представляющий вес s -го уравнения состояния;

$\bar{A} = \begin{bmatrix} \bar{A}_1^1 & \dots & \bar{A}_n^1 \\ \dots & \dots & \dots \\ \bar{A}_1^n & \dots & \bar{A}_n^n \end{bmatrix}, \bar{B} = \begin{bmatrix} \bar{B}^1 \\ \dots \\ \bar{B}^n \end{bmatrix}, \bar{C} = \begin{bmatrix} \bar{C}_1^1 & \dots & \bar{C}_n^1 \\ \dots & \dots & \dots \\ \bar{C}_1^l & \dots & \bar{C}_n^l \end{bmatrix}$ - матрицы нечетких коэффициентов модели.

Некоторая i -я переменная вектора состояния как функция времени t может быть представлена нечетком отношением (НО): $\bar{x}_i(t) = \{t, x_i / \mu_{\bar{x}_i}(t, x_i)\}$, $i = \overline{1, 2, \dots, n}$, а в фиксированный момент времени указанная переменная может быть выражена нечетким множеством (НМ): $\bar{x}_i = \{x_i / \mu_{\bar{x}_i}(x_i)\}$. Аналогичное описание имеет ζ -я выходная переменная:

$$\bar{y}_\zeta(t) = \{t, y_\zeta / \mu_{\bar{y}_\zeta}(t, y_\zeta)\}, \zeta = \overline{1, 2, \dots, l},$$

$$\bar{y}_\zeta = \{y_\zeta / \mu_{\bar{y}_\zeta}(y_\zeta)\},$$

где $\mu_{\bar{x}_i}^-, \mu_{\bar{y}_i}^-$ - функции принадлежности (ФП); x_i, y_i - значения из универсальных множеств. Элементы матриц $\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}$ заданы НМ:

$$\begin{aligned}\bar{A}_1^1 &= \{A_1^1 / \mu_{\bar{A}_1^1}^1(A_1^1)\}, \dots, \bar{A}_n^n = \{A_n^n / \mu_{\bar{A}_n^n}^n(A_n^n)\}, \\ \bar{B}^1 &= \{B^1 / \mu_{\bar{B}^1}^1(B^1)\}, \dots, \bar{B}^n = \{B^n / \mu_{\bar{B}^n}^n(B^n)\}, \\ \bar{C}_1^1 &= \{C_1^1 / \mu_{\bar{C}_1^1}^1(C_1^1)\}, \dots, \bar{C}_n^l = \{C_n^l / \mu_{\bar{C}_n^l}^l(C_n^l)\}.\end{aligned}$$

Начальные условия описаны НМ $\bar{D}_i = \{x_i / \mu_{\bar{D}_i}(x_i)\}$, а число переменных вектора состояния – НМ $\bar{S} = \{s / \mu_{\bar{S}}(s)\}$, где $s=1, 2, \dots, n$ – порядковый номер переменной вектора состояния.

Функции принадлежности заданы аналитической зависимостью, например, для переменной $\bar{x}_i$:

$$\begin{aligned}\mu_{\bar{x}_i}^-(x_i) &= \varphi(x, a_{\bar{x}_i}, b_{1\bar{x}_i}, b_{2\bar{x}_i}, v_{1\bar{x}_i}, v_{2\bar{x}_i}) = \\ &= \left((b_{1\bar{x}_i}(a_{\bar{x}_i} - x))^{v_{1\bar{x}_i}} \frac{\text{sign}(b_{1\bar{x}_i}(a_{\bar{x}_i} - x)) + 1}{2} + (b_{2\bar{x}_i}(a_{\bar{x}_i} - x))^{v_{2\bar{x}_i}} \frac{\text{sign}(b_{2\bar{x}_i}(a_{\bar{x}_i} - x)) + 1}{2} + 1 \right)^{-1}\end{aligned}$$

Здесь коэффициент $a_{\bar{x}_i}$ представляет моду ФП, коэффициенты $b_{1\bar{x}_i}$ и $b_{2\bar{x}_i}$ задают ширину ФП, $v_{1\bar{x}_i}$ и $v_{2\bar{x}_i}$ - наклон ФП к оси x_i , т.е. контрастность. Коэффициенты $b_{1\bar{x}_i}, b_{2\bar{x}_i}, v_{1\bar{x}_i}, v_{2\bar{x}_i}$ позволяют образовывать любую форму ФП и могут выступать в качестве показателей неопределенности.

Заданы показатели качества системы управления (время переходного процесса, перерегулирование, ошибка слежения и т.п.) в форме функций полезности:

$$\begin{aligned}\bar{Q}_k^3 &= \{Q_k^3 / \mu_{\bar{Q}_k^3}^3(Q_k^3)\}, k=1, 2, \dots, K, \\ \mu_{\bar{Q}_k^3}^3(Q_k^3) &= \varphi(Q_k^3, a^3_{\bar{x}_i}, b^3_{1\bar{x}_i}, b^3_{2\bar{x}_i}, v^3_{1\bar{x}_i}, v^3_{2\bar{x}_i}),\end{aligned}$$

где K – число показателей качества системы управления.

Определена эталонная модель на основе заданных показателей качества управления: $\dot{x}_m = A_m x_m + B_m u_m$, где u_m – задающее воздействие системы; $x_m(t)$ – вектор эталонных состояний.

Заданы ограничения на переменные вектора состояния и ограничения на управление;

$$\begin{aligned}g_1(\bar{x}, u, \gamma, t) &< x_{1\max}, g_2(\bar{x}, u, \gamma, t) < x_{2\min}, \dots, \\ g_{2n-1}(\bar{x}, u, \gamma, t) &< x_{n\max}, g_{2n}(\bar{x}, u, \gamma, t) < x_{n\min}, \dots, \\ g_{m-1}(\bar{x}, u, \gamma, t) &< u_{\max}, g_m(\bar{x}, u, \gamma, t) < u_{\min}.\end{aligned}$$

Для определения показателя качества системы управления используются как временные характеристики объекта управления $a_{\bar{x}_i}^-(t), a_{\bar{y}_i}^-(t)$, так и параметры нечеткости $b_{1\bar{x}_i}^-(t), b_{2\bar{x}_i}^-(t), b_{1\bar{y}_k}^-(t), b_{2\bar{y}_k}^-(t)$, определяемые по ширине

функции принадлежности. С целью снижения нечеткости данных об объекте и улучшения показателей качества управления максимизируются значения $b_{1\bar{x}}(t)$, $b_{2\bar{x}}(t)$, $b_{1\bar{y}k}(t)$, $b_{2\bar{y}k}(t)$.

Для придания свойства робастности алгоритма управления предложено использование дискретного алгоритма скоростного градиента в параметрической форме, что позволит обеспечить минимум сложности и учесть ограничения на управляющий сигнал и скорость его изменения.

С целью улучшения качества и точности формирования переходных процессов в системы управления реализован алгоритм принятия решений по выбору компромиссного управляющего сигнала управления путем его встраивания в алгоритмы управления.

Модифицированный закон управления имеет вид:

$$u = k_u(t) \cdot u_m(t) + \sum_{i=1}^n k_x^\Sigma(t) \cdot x_i^\Sigma(t),$$

$$k_{x1}^\Sigma[t+1] = k_{x1}^\Sigma[k](1 - h\gamma_3) + h(\gamma_5 - \gamma_4)\delta \cdot [t]x_1^\Sigma[t] - h\gamma_5\delta \cdot [t+1]x_1^\Sigma[t+1],$$

$$k_{xn}^\Sigma[t+1] = k_{xn}^\Sigma[k](1 - h\gamma_3) + h(\gamma_5 - \gamma_4)\delta \cdot [t]x_n^\Sigma[t] - h\gamma_5\delta \cdot [t+1]x_n^\Sigma[t+1],$$

$$k_u[t+1] = k_u[k](1 - h\gamma_1) + h(\gamma_6 - \gamma_2)\delta \cdot [t]u_m[t] - h\gamma_6\delta \cdot [t+1]u_m[t+1],$$

где $t = mh$, $h > 0$ – шаг дискретизации, $m = 0, 1, 2, \dots, m$; $\gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_5, \gamma_6\}$ – параметры адаптивного регулятора; $e_i^\Sigma = \int_{X_i} (x_i - x_{im})\mu_{e_i}^-(e_i)dx_i$ –

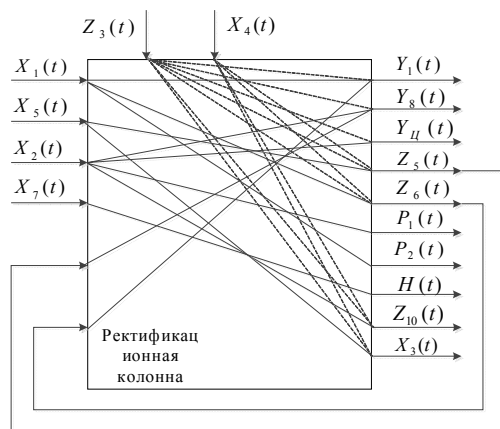
рассогласование между переменными вектора состояния и эталонными переменными состояния; $\mu_{e_i}^-(e^i) = (e_i, a_{e_i}^-, b_{1e_i}^-, b_{2e_i}^-, v_{1e_i}^-, v_{2e_i}^-)$ – ФП ошибки, φ – аналитический вид функции принадлежности, $a_{e_i}^- = a_{xi}^- - x_{im}$, $v_{1e_i}^- = v_{1xi}^-$, $v_{2e_i}^- = v_{2xi}^-$, $b_{1e_i}^- = b_{1xi}^-$, $b_{2e_i}^- = b_{2xi}^-$, $x_i^\Sigma = \int_{X_i} x_i dx_i$ – интегрированная переменная

вектора состояния; $\delta \cdot [t] = \sum_{i=1}^n k_i \cdot e_i^\Sigma$, h_i – коэффициенты, полученные из коэффициентов матрицы объекта и матрицы эталонной модели B_m .

В главе также рассмотрены вопросы построения адаптивные нейронечеткие алгоритмы исследования интеллектуализированных систем управления динамическими объектами, обеспечивающие робастность к различным неопределенным возмущениям. Реализация предложенных алгоритмов синтеза расширяет область их применения в задачах проектирования системы управления динамическими объектами при наличии широкого спектра возмущений.

В пятой главе диссертации **«Практическая реализация разработанных моделей и алгоритмов в задачах интеллектуализации процесса управления технологическими объектами»** приведены результаты применения разработанных моделей и алгоритмов интеллектуализации процессов управления в задачах управления различными технологическими объектами в условиях априорной

неопределенности. В качестве примера рассмотрены вопросы создания интеллектуальной адаптивной нейро-нечеткой системы управления технологическими процессами ректификационной колонны, математическая модель которой имеет следующий вид:



$$\begin{cases} T_1 \cdot \frac{dY_1(t)}{dt} + Y_1(t) = k_1 \cdot X_1(t - \tau_1) \\ T_2 \cdot \frac{dY_2(t)}{dt} + Y_2(t) = k_2 \cdot Y_1(t - \tau_2) \\ T_3 \cdot \frac{dY_3(t)}{dt} + Y_3(t) = k_3 \cdot Y_2(t - \tau_3) \\ T_4 \cdot \frac{dY_4(t)}{dt} + Y_4(t) = k_4 \cdot Y_3(t - \tau_4) \\ Y_5(t) = 0,5 \cdot (K_1 \cdot Y_4(t) + K_2 \cdot Y_6(t)) \\ T_6 \cdot \frac{dY_6(t)}{dt} + Y_6(t) = k_6 \cdot Y_7(t - \tau_6) \\ T_7 \cdot \frac{dY_7(t)}{dt} + Y_7(t) = k_7 \cdot Y_8(t - \tau_7) \\ T_8 \cdot \frac{dY_8(t)}{dt} + Y_8(t) = k_8 \cdot X_2(t - \tau_8) \end{cases}$$

В математической модели $Y_1(t)$, $Y_2(t)$, $Y_3(t)$, $Y_5(t)$, $Y_7(t)$, $Y_8(t)$ – температуры куба колонны, $Y_4(t)$ – температура паров, поступающих снизу на тарелку питания, $Y_6(t)$ – температура жидкости, поступающей сверху на тарелку питания, $X_1(t)$, $X_2(t)$ – расходы перегретого пара и хладагента, $T_1 \dots T_8$ – постоянные времени динамических характеристик по соответствующим каналам объекта управления, $k_1 \dots k_8$ – коэффициенты передачи по соответствующим каналам объекта управления, $\tau_1 \dots \tau_8$ – значения времени запаздывания по соответствующим каналам объекта управления, K_1 , K_2 – настроечные коэффициенты, t – аналоговое время.

В существующей системе управления, что при наличии внешних возмущений (например, изменения расход пара более чем на 15%) или параметрических возмущений в объекте управления (например, изменения состава смеси на 10%) потери сырья составляет 86%. Имитационный эксперимент показал, что при интеллектуализации процесса данного процесса отклонения значений текущих реализаций не превышает 2,5% от их заданного значения (рис.3) что приводит к уменьшению потерь сырья в 10 раз.

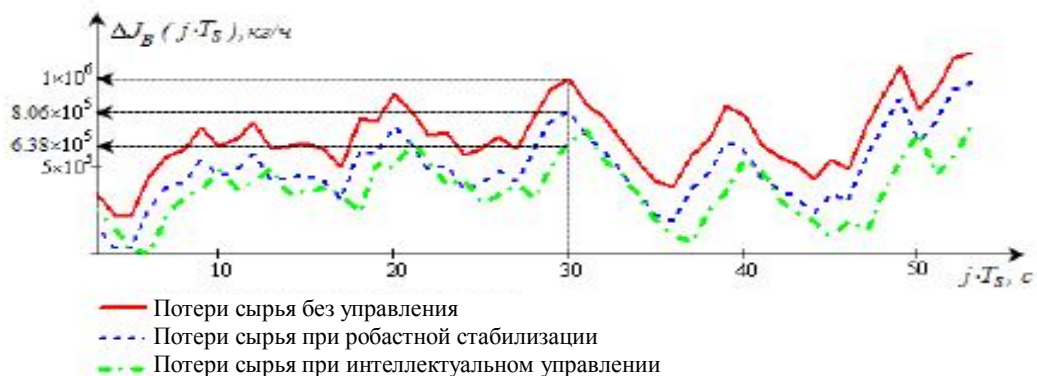


Рис.3. Графики потерь сырья при имитации процессов управления

Созданная информационно-аналитическая система технологического мониторинга и управления, реализована для автоматизированного мониторинга технологических параметров ряда предприятий Узбекистана, позволила сократить время на обработку потоков информации в 1,26 раза, и уменьшила расход энергии на 1,15% за счет выбора оптимальных режимов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований по докторской диссертации на тему «Конструирование моделей и алгоритмов интеллектуализации процессов управления динамическими объектами в условиях неопределенности» представлены следующие выводы:

1. На основе систематизации и анализа методов и алгоритмов решения задач интеллектуального управления динамическими объектами развиты теоретические основы создания систем интеллектуального управления динамическими объектами на основе сочетания методов теории автоматического управления и принципов интеллектуальных технологий.
2. Предложен качественно новый подход к созданию системы интеллектуализации процессов управления динамическими объектами, функционирующими в условиях неопределенности, на основе интеграции методов классической теории управления и интеллектуального управления.
3. Разработан комплекс интеллектуализированных гибридных моделей систем управления динамическими объектами, обладающий адаптивными свойствами, и позволяющий в отличие от известных типов моделей учитывать динамические особенности управляемых процессов.
4. На базе нейронных сетей, нечеткой логики, генетических алгоритмов и методов классической теории управления разработана методология конструирования гибридных моделей технологических процессов, являющаяся математической основой интеллектуализации процессов управления динамическими объектами, и позволяющая формировать модели сложно формализуемых процессов управления.
5. Разработаны алгоритмические основы конструирования моделирующих алгоритмов исследования динамических объектов, обеспечивающие эффективное решение задач выбора наилучших моделей функционирования систем в вычислительном отношении, основанные на сочетании метода анализа иерархии, процедур оценивания и методов нечеткой логики.
6. Создан интеллектуализированный решатель задач управления динамическими объектами, сочетающий в себе методы традиционной теории автоматического управления и принципы интеллектуального управления в условиях структурной, параметрической и ситуационной неопределенностей.
7. Разработаны алгоритмы адаптивного прогнозирования, определения неизмеряемых координат системы и коррекции параметров системы

- управления, а также синтеза адаптивной нейро-нечеткой комбинированной системы управления динамическими объектами на основе метода интерактивной адаптации, представляющий собой комбинацию алгоритмов идентификации и генетических алгоритмов.
8. Предложен принцип иерархического многоуровневого моделирования и исследования интеллектуальных систем управления, базирующийся на иерархическом описании исследуемой системы интеллектуального управления.
 9. Разработаны алгоритмы синтеза адаптивной нейро-нечеткой системы управления, включающие в себя процедуру определения архитектуры, разработку структуры и модели взаимодействия ее элементов, оценку влияния параметров нейронной сети на показатели качества системы, позволяющие повысить эффективность систем управления при неполных априорных сведениях относительно модели объекта управления и возмущений.
 10. Создана система автоматизированного мониторинга и управления технологическими параметрами электроэнергетических объектов и нефтехимических комплексов, позволяющая выбирать оптимальные режимы работы технологических агрегатов, уменьшить энергозатраты и повысить производительность за счет сокращения удельного расхода используемой энергии, а также предотвратить различные аварийные ситуации.

**RESEARCH COUNCIL FOR AWARDED DOCTORATE
16.07.2013.T.02.01 AT THE TASHKENT STATE TECHNICAL
UNIVERSITY AND THE INSTITUTE OF ENERGY AND AUTOMATION**

TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY

SIDIKOV ISAMIDIN HAKIMOVICH

**DESIGNING MODELS AND ALGORITHMS INTELLECTUALIZATION
PROCESSES OF DYNAMIC OBJECTS UNDER CONDITIONS OF
UNCERTAINTY**

**05.01.08 - Automation and control
technological processes and manufactures
(technical science)**

ABSTRACT OF DOCTORAL DISSERTATION

Tashkent – 2016

Subject doctoral dissertation registered for №30.09.2014/B2014.5T309 in the Higher Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of Uzbekistan.

The doctoral thesis carried out at the Tashkent State Technical University.

The full text of doctoral dissertation available on the web page of the Scientific Council for the award of the degree of Doctor of Science 16.07.2013.T.02.01 at the Tashkent State Technical University and the Institute of Energy and Automation at www.tdtu.uz.

Abstract of the thesis in three languages (uzbek, russian and english) is available on the web page at www.tdtu.uz and information-educational portal «ZIYONET».

Scientific consultant: **Igamberdiev Husan Zakirovich**
doctor of technical sciences, professor

Official opponents: **Bekmuratov Tulkin Fayzievich**
doctor of technical sciences, professor, academic

Adilov Farrukh Tulkunovich
doctor of technical sciences, professor

Nazarov Ulugbek Sultonovich
doctor of technical sciences, professor

Leading organization: **Tashkent Institute of Chemical Technology**

Defence of the thesis will take place 23 " july " 2016, in 10⁰⁰ hours at a meeting of the Scientific Council 16.07.2013.T.02.01 at the Tashkent Technical University and the Institute of Energy and Automation at 100095, Tashkent, Universiyetskaya st., 2. Tel: (99871) 246-46-00; fax: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz

With doctoral dissertation can be found in the Information Resource Center of the Tashkent State Technical University (registration number 14).

Address: 100095, Taskent, ул. Universiyetskaya st.. Тел.: 246-03-41.

Abstract of the dissertation sent 07 « july » 2016 year.
(distribution protocol № 3 of 07 « july » 2016 year.)

N.R. Jusupbekov
Chairman of the Scientific Council for the award
of the degree of Doctor of Science,
Doctor of Technical Sciences, professor, academic

O.O.Zaripov
Scientific secretary of the scientific council
for awarding the degree of Doctor of Science,
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Sh.M.Guljamov
Chairman of the Scientific Seminar
the Scientific Council for the award of
the degree of Doctor of Science,
Doctor of Technical Sciences, Professor

INTRODUCTION (summary of the doctoral dissertation)

The relevance and demanding of the dissertation the theme. To date, the world practice the leading position occupied by the creation of high-performance process control systems with the involvement of intelligent technologies. One of the most urgent tasks of rapidly evolving modern information society is the management of real dynamic systems based on processing and analysis of huge data streams. In this direction, some progress has been made in the leading countries of the world such as USA, Germany, Japan, South Korea, etc., Where on the practical implementation of the work carried out intensively in the industrial and non-industrial field, allowing to increase the efficiency of production, i.e. the competitiveness of the products, due to modernization of management practices using modern information technologies, allowing for the particular technological objects. Now in these countries used intelligent production control systems account for about 40-45%¹ of the total production. This results in reduction of resource and energy consumption by 35%².

In the Republic of Uzbekistan held large-scale activities on the effective organization of measures aimed at creating a high-performance process control systems and production. In this area, we carried out a series of research projects, including for the development of effective individual technological objects control systems in various industries, intellectualization control processes, improving methods of research of intelligent control systems, creation of intellectual assets control processes.

The world's attention is paid to the development of neuro-fuzzy models and algorithms of control systems in problems of intellectualization process facilities management, building a knowledge base, their use in improving the control system. In this area, the implementation of targeted research is a top priority, including research in the following areas: development of hybrid models of dynamic processes based on neural networks and fuzzy logic, which allows to consider features of dynamic objects; intellectualization control processes based on the joint application of modern methods of control theory and principles of intellectualization; development of tools and software intellectualization control process; the development of sophisticated, highly adaptive control algorithms; creating knowledge-based adaptive processing control signals control algorithms; development of software - tools intellectualization of automated monitoring and control of dynamic objects in conditions of uncertainty.

This dissertation research is to a certain extent the tasks provided for in the Decree of the President of the Republic of Uzbekistan № PP-1989 on June 27, 2013 "On measures for further development of the national information and communication systems", as well as in other legal instruments adopted this sphere.

Compliance research priority areas of science and technology of the Republic. This study was performed according to the priority directions of development of science and technology of the Republic IV. "Development of

¹ Electronic Journal "System Analysis in Science and Education", №2, 2015 ([www.http://sanse.ru](http://sanse.ru));

² International Journal "Problems of the theory and practice of management", 5/2014. ([www.https://istina.msu.ru](http://istina.msu.ru))

information and information and communication technologies."

Overview of the international research on the dissertation theme³. Research aimed at the development and creation of intelligent process control systems and manufacture of various functional purpose, are made in the leading research centers and higher educational institutions of the world, including in Togai Infra Logic, Omron, Micro Devices, Johnson Space Centre, Department of Electron and Intellegent System (USA), the International laboratory LIFE, Hitachi, Mitsubishi Elektric, Ibaraki university (Japan), the Siemens (Germany), Wecan Agrotexservis (South Korea), ZIFIT, DISC (USA), university of Siegen (Germany), Inha (Uzbekistan), a multimedia society Dongguk (South Korea).

As a result, the world's research on the development of models and algorithms for dynamic objects intellectualization of control processes under uncertainty obtained a number of research results, including developed: an intelligent on-board aircraft control system (Johnson Space Centre, USA); fuzzy control system of temperature control during storage of fruit and vegetable products (Wecan Agrotexservis, South Korea); intelligent climate control system in vehicles (Hitachi, Japan); fuzzy control system's single and a group of lifts (Mitsubishi Elektric, Japan); intelligent sensors (Siemens, Germany); Expert medical system (Kawasaki Medical Schcool, Japan); Train Control System Nanboku subway line (LIFE International Laboratory, Japan); intelligent robots (Ibaraki University, Japan); intelligent microcontrollers (Department of Electron and Intellegent System, USA).

The world's research on the development of tools to create intelligent dynamic objects control systems with the involvement of the achievements of modern information technologies for a number of priority areas conduct research on the formation of mathematical models of dynamic objects in the light of uncertainties; the development of neuro-fuzzy models of process control processes; algorithms intellectualization dynamic objects control processes; automated tools for monitoring and control of dynamic objects; complex programs to solve the problems of intellectualization of dynamic objects control processes in conditions of uncertainty.

The degree of knowledge of the problem. Research questions of theoretical and practical problems for the intellectualization of dynamic objects management processes and the creation of high-performance control systems, taking into account the complexity of various factors and uncertainties, intelligent control systems of technological objects and processes in terms of the structural, parameter and situational uncertainties are devoted to a number of scientists: Abraham A., Aliev R.A., A.Allgöwer, Griffin M.F., Hunt K.J., Irwin G., Kraszewski P., Li Ning, Li Shao Yuan, Piegat A., Stolcman S., Sugeno M., Tanaka K., Wang H.O., Warwick K., Xi Yu Geng, Zadeh L.A., Zheng A., Altunin A.E., Bobko, V.D., Borisov A.N., Vasilev S.N., Verlan' A.F., Vostrov N.N., Pupkov K.A., Tarasov

³ Review of foreign scientific research on the topic of the thesis is based on: <http://www.works.doklad.ru>, <http://www.refdt.ru>, <http://www.km.ru>, <http://osp.ru/os>, Zakharov V. Intellectual Technologies in Modern management Systems // Theoretical and practical aspects of management. -Moscov. 2005. -Vol 5. -p.96-100 and other sources.

V.B., Ul'janov S., Abdullaev D. A., Abutaliev F.B., Adilov F.T., Aripov M.M., Bekmuratov T.F., Guljamov Sh.M, Zhumanov I.I., Igamberdyev H.Z., Kadyrov A.A., Kamilov M.M., Marahimov A.R., Muhamedieva D.T., Rahmatullaev M.A., Usmanov R.N., Jusupbekov N.R. and etc.

From the number of scholars (FL Smidth, R. Aliyev MakKallak W., W. Pitts, T. Kohonen, J. Hopfield et al.) Conducted research on the development and use of fuzzy controllers in complex nonlinear dynamic object control tasks where very important results were obtained, in particular, are created and used in the industry neuro-fuzzy controllers and various intelligent system.

Research questions of creation of intelligent control systems with the use of expert systems studied by M. Sugeno, T. Yamakawa, T. Takagi, S. Yasunobu, L. Zadeh, N. Yarushkin, Zhekson P., R. Davis, T. Saaty, E. Mamdani, DA Pospelov, TF Bekmuratov, NR Yusupbekova et al., In which the necessity of taking into account the uncertainty of direct parameters and characteristics related to dynamic objects, as well as errors and ambiguities in the simulation data and process control. However, in scientific publications are not adequately addressed issues of systematization of conventional approaches and the development of sophisticated tools to create intelligent control systems of dynamic objects, as well as the further development and establishing effective methods for designing models and algorithms intellectualization of dynamic objects of control processes in conditions of uncertainty.

Communication of the research plans of scientific research is reflected in the following projects: 0.80.02, "The development and implementation of intelligent systems, algorithmic and software support of managerial decision-making in problems of analysis and synthesis of hierarchical multi-level continuous and discrete control systems of technological objects" (2001-2003); P20.22: "Development of methods and algorithms for automated research multimicroprocessor hierarchical control systems of technological objects" (2004-2006); A-14.002: "Development tools create modeling, predictive and adaptive systems based on intellectualization control processes of complex dynamic objects" (2006-2008); ITD-5-36 "Development of information-analytical intellectual process safety monitoring system of petrochemical plants and complexes" (2012-2014); ITD-5-39 "Development of an integrated information system of the production process monitoring and control prediction in light industry, using Web-based technologies (IT technology)" (2012-2014); A-5-42 "Software tools intellectualization of automated monitoring and control of technological objects in conditions of a priori uncertainty" (2015-2017).

The aim of the study is to develop design models and algorithms for dynamic objects intellectualization control processes in conditions of uncertainty.

Research problems:

systematic analysis of the current state of theory and practice of research of dynamic objects control systems conditions of uncertainty and fuzziness of work situations;

develop the principles and methodology of intellectualization control processes of complex dynamic objects in conditions of uncertainty;

structuring and algorithmization tasks intellectualized simulation of dynamic objects of control systems;

development of algorithms for analysis and synthesis of adaptive neuro-fuzzy complex dynamic objects control systems;

the development of algorithmic design principles modeling algorithms research of dynamic objects;

Practical testing of the developed models and algorithms for the study of dynamic objects of control systems in dealing with automated process control problems.

The object of the study are hierarchically organized multi-level dynamic object control system functioning in the face of uncertainty and fuzziness of work situations.

The subject of the study is to analyze the principles and methods of management multilevel dynamic objects that operate under uncertainties of various kinds, the development of mathematical models based on neuro-fuzzy technology intellectualization control processes, algorithms, analysis and synthesis of technological processes and object control systems.

Research methods. System analysis, the theory of intelligent systems, automatic control theory, methods of state space and interval analysis.

Scientific novelty of the research is as follows:

the basic classes of solved problems, developed principles of intellectualization of dynamic objects control processes that operate in conditions of uncertainty;

it developed a new approach to building intellectualization systems control processes dynamic objects that operate in conditions of uncertainty and vagueness of work situations, based on the integration of modern control theory, methods and intelligent technologies;

developed a set of intellectualized hybrid models of dynamic objects of control systems having adaptive properties, and allows in contrast to the known types of models to take into account the dynamic characteristics of controlled processes;

developed algorithmic design principles modeling algorithms research of dynamic objects, providing an effective solution to problems of selection of the best models and control decisions;

solver created intellectualized dynamic objects control problems, combining traditional methods of automatic control theory and principles of intelligent control, in terms of structural, situational and parametric uncertainties;

developed algorithms for determining the coordinates of an object of immeasurable, correction control system parameters, as well as dynamic objects control systems synthesis based on neuro-fuzzy adaptive and predictive model;

synthesis algorithms developed adaptive neuro-fuzzy combination of dynamic objects control system, based on an interactive method of adaptation, which is a combination of the identification algorithm and genetic algorithms, which can effectively solve the problem of industrial objects control under uncertainty.

Practical research results are as follows:

Developed tools intellectualization of dynamic objects control process as a software system designed to automate the process of formation of hybrid models of poorly formalized processes, replenishment and synthesize knowledge control systems based on the goal.

A system of automated monitoring and control of technological parameters of electric power facilities, petrochemical complexes and ginneries, allowing the opportunity to choose the best modes of technological units, reduce energy costs and improve productivity by reducing the specific consumption of the energy used, as well as to prevent various accidents.

Designed especially neuro-fuzzy control system is effective in complex nonlinear process control with parametric uncertainties, for which standard approaches of synthesis of automatic control systems are inefficient.

The reliability of the results justified the application of theory-based concepts of intelligent control dynamic objects based on fuzzy set theory and logic, neural networks, genetic algorithms; Using proven methods of modern control theory; with the results of theoretical and applied research, and their mutual consistency.

Theoretical and practical significance of the study results. The theoretical significance of the results of the study is time-processing methodology of design methods, models and algorithms for automated research of dynamic layered hierarchically organized dynamic objects control systems that operate in conditions of uncertainty and fuzziness of work situations, can effectively solve the problem of intellectualization of technological objects control processes continuous-discrete character. This hybrid character used in the neuro-fuzzy models, allows for a unified mathematical basis to describe, simulate, synthesize and build a knowledge base, both in structural and in the parameter against the designed system.

The practical significance of the results of the work is to develop a tool of automated monitoring and control of dynamic objects in a software package that allows to predict and analyze the different production situations and choose the best control solutions in problems of designing a multi-level control system. The developed models and algorithms intellectualization process control dynamic objects under uncertainty can be widely used in the creation of intelligent process control systems of production with continuous discrete nature.

Implementation of the research results. The developed instrumental and software based on hybrid models and adaptive neuro-fuzzy control system implemented in enterprises of SJSC "Uzbekenergo", including, JSCJV «Deutsche Kabel AG Tashkent», OOO «Delta Net», the research center "New Technologies" (Reference "Uzbekenergo" the Republic of Uzbekistan on the implementation of number CI-01-21 / 1953 from 12.05.2016 g). The results of scientific research can reduce the processing and analysis of the processes of information flow in 1.26 times, lower energy consumption by 1.15% in industrial facilities, thereby increasing the efficiency of production.

Approbation of the work. The main results were presented and discussed at the 47 scientific conferences, including 32 international: "Technical sciences and

global challenges of the 21st century" (Tashkent, 2001); "Innovation-2003" (Tashkent, 2003); "Modern technologies and equipment Textile Industry" (Moscow, 2003); "Mathematical Methods in Engineering and Technology" (St. Petersburg, 2003); "Info-communication and computer technologies in science, technology and education" (Tashkent, 2004); "The introduction of information and communication technologies in the textile and light industry" (Tashkent, 2005, 2007); World Conference of Intelligent Systems for Industrial Automation (Tashkent, 2002-2014), «Modern materials equipment and technologies in mechanical engineering" (Andijan 2012, 2014); "Modern equipment and technology of mining and metallurgical industry and their development" (Navoi, 2013); "Integrated models and soft computing in artificial intelligence" (Kolomna, 2013); «Seventh International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control - ICSCCW-2013», (Izmir, Turkey, 2013); "Recognition-13" (Kursk, 2013); «The 11th International Conference on Multimedia Information Technology and Application -MITA-2015" (Tashkent, 2015); "Scientific Perspectives XXI century. new state Achievements and Prospects "(Novosibirsk, 2015); and 12 national conferences.

Publication of the results. According to the thesis topic published only 88 papers. From the bottom of 1 monograph, 40 journal articles, including 6 foreign, 34 in national journals recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for the publication of basic scientific results of doctoral theses and received 15 certificates of registration for computer programs.

The structure and scope of the thesis. Structure of the thesis consists of an introduction, five chapters, conclusion, list of references, applications. The volume of dissertation is 198 pages.

THE MAIN CONTENTS OF DISSERTATION

In the introduction part the urgency and demand of the theme of dissertation is proved, the purpose and problems, and also object and an object of research are formulated, conformity of research to priority directions of development of science and technologies in the Republic of Uzbekistan is stated, scientific novelty and practical results of research are stated, reliability of obtained results is proved, the theoretical and practical importance of obtained results is reveals, the list of introductions in practice of research results, data on published works and dissertation structure are given.

In the first chapter of the thesis **"System analysis of the current state of the problem of intellectualization of dynamic objects control process"** sets out the current state of theory and practice of constructing dynamic objects intelligent control systems that operate in the conditions of various types of uncertainties. The basic causes of uncertainty in the control of dynamic objects

There are many models and algorithms for constructing intelligent automatic control systems, which are used in various branches of science and technology. The most common of these are neural networks, fuzzy systems, expert control system, genetic algorithms, data visualization, decision trees, swarm intelligence.

On the basis of a systematic analysis found that the creation of models and control algorithms of dynamic objects in the presence of uncertain factors are so complex and non-trivial to the classical methods of control theory that in order to solve them will require the development of new and modification of known methods taking into account the achievements of modern information technologies. This is due to the fact that traditional methods of investigating such systems in the class of adaptive, robust control systems are facing difficulties due to the precise task control structure and method of evaluation factors.

Analysis methods of formal representation, modeling and study of the dynamics that operate under control systems uncertainties affecting the operation modes of the system showed that the most appropriate and solve problems is the use of hybrid methods, including, as the theory of fuzzy logic (sets), and the methods automatic control theory, which is the basic foundation for creating dynamic objects intellectualized control system.

Analysis of the methodological aspects of the assessment of the state of control and simulation of phenomena and processes of dynamical systems shows that the issues of systemic research in the information uncertainty, taking into account the physical and chemical laws and fuzzy causal relations have been neglected. Therefore, the application of systems analysis, mathematical modeling, data processing, control of complex dynamic objects of study, taking into account characteristics of dynamic objects and fuzzy causal relationships and decision-making under conditions of information uncertainty remains one of the major problems the solution of which will enhance the efficiency of production.

Analysis methods of formal representation, modeling and study of the dynamics that operate under control systems uncertainties affecting the operation modes of the system showed that the most appropriate and solve problems is the

use of hybrid methods, including, as the theory of fuzzy logic (sets), and the methods automatic control theory, which is the basic foundation for the intellectualization of dynamic objects process control.

A special place in the first chapter covers the structure of methodological steps and directions of dissertation research (fig. 1).

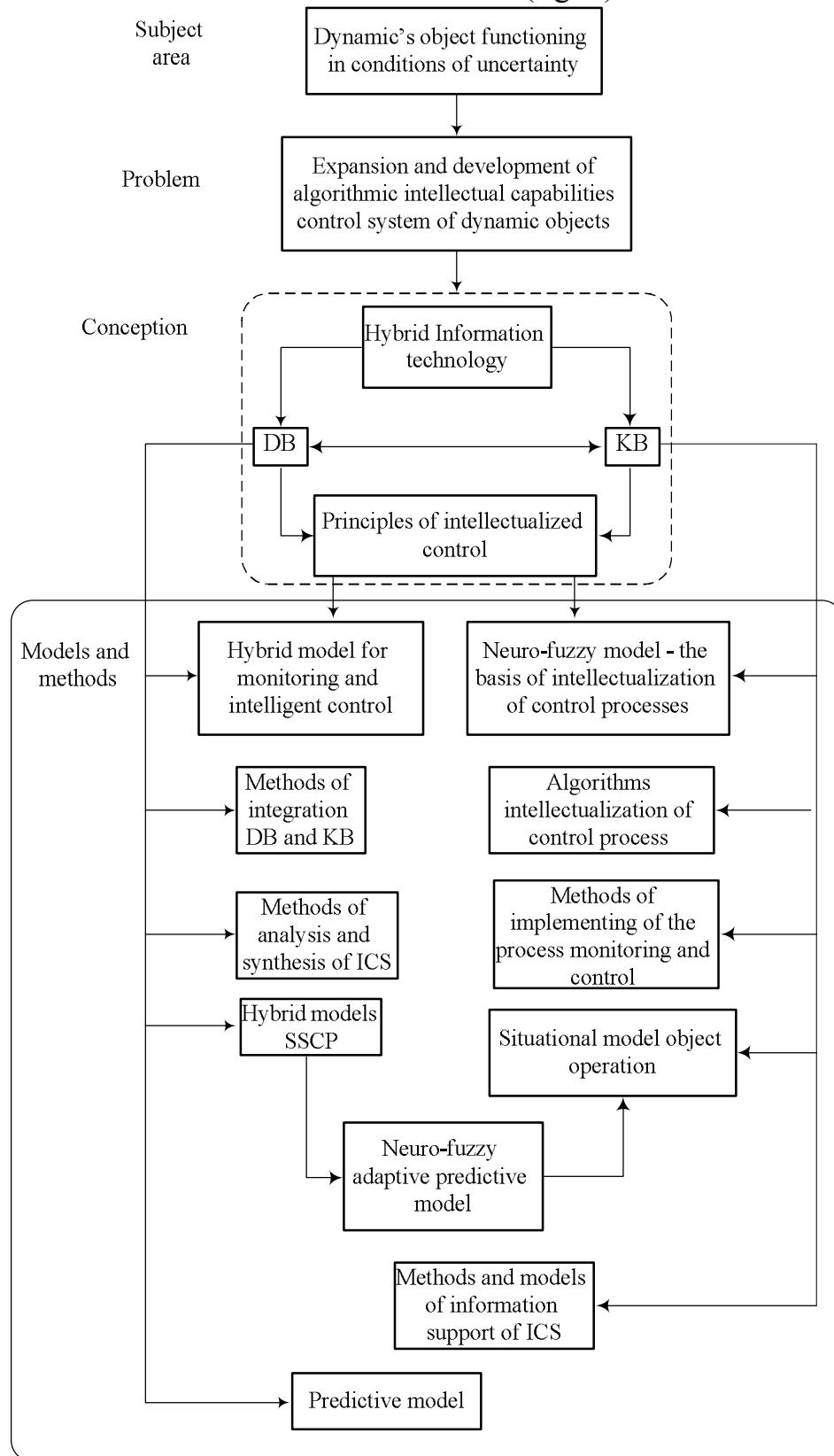


Fig. 1. Methodological aspects and direction of dissertation research

It presents the concept of research and intellectualization of process control of complex dynamic objects, involving the use of hybrid information technology based on database integration and knowledge, including methods of intellectualized control.

The methodology focuses on the development of hybrid intellectual models of automated solver dynamic object management tasks, operating in conditions of uncertainty, adaptive neuro-fuzzy models, methods of implementation of the neuro-fuzzy adaptive models in dynamic objects control problems, as well as intelligent information processing method.

In the second chapter of the thesis **"Concepts and methodology of intellectualization of automated dynamic control objects"** given the developed models of dynamic processes are one of the most important and time consuming tasks to be solved in the development of control systems and management decisions.

The highlight of the design development of highly efficient methods of information processing is a process control system and the development of control actions. The solution to this problem is directly linked to the development of mathematical models that reflect the specifics of the difficult conditions of functioning of system, such as uncertainty and changes in the external environment characteristics, the appearance of abnormal situations, failures of information sources, communication channels, devices that implement the generation of control units of other equipment, as well as the effect of disturbances and interference.

The complexity of solving this problem is considerably complicated by the fact that in addition to the purely conceptual tasks and solve systemic issues, it is necessary to solve the problems of formalization representation structures models, analysis of the adequacy of the model, the formation of the bank's analytical and process samples, identifying cause-effect relationships, presentation of expert knowledge on the state and changes in the situation, the development of forms of knowledge representation about the events, actions and procedures. Using this approach allows the efficient management of complex objects in the presence of various kinds of uncertainties in the models when the models and controlling decisions selection procedures are defined vaguely, and sometimes set on a qualitative level only.

In general, the dynamics of the control system can be represented by the equation of state:

$$x_{k+1} = F(x_k, u_k), k = \overline{0, N},$$

$$x_k \in X, u_k \in U,$$

where: X - the state space, U - set of admissible controls, the F - state transition function, in general, non-linear

$$F : X \times U \rightarrow X.$$

Incomplete certain processes can be modeled using fuzzy sets. Odds and some values may be given in the form of membership functions. Then the dynamics of control system is described by fuzzy relations

$$F : X \times U \times X \rightarrow [0,1],$$

of representing a fuzzy subset of the $X \times U \times X$ Cartesian product.

For dynamic systems with different types of uncertainties transfer function can be written as:

$$F : X \times U \rightarrow XP$$

where XP - the set of probability distributions on X .

To account for the uncertainties in the model are introduced random variables or factors. However, these models need to have the information for the construction of probability distributions.

The formalization of this class of problems can be naturally carried out using mathematical language hybrid models, is a composition of processes and system

This model can be represented as the following equations:

$$\begin{aligned} x(k+1) &= \hat{O}_k[m(k), \gamma(k), m(k+1), \gamma(k+1), u(k)] \cdot x(k) + \\ &+ \tilde{A}_k[m(k), \gamma(k), m(k+1), \gamma(k+1), u(k)] \cdot w(k); \\ z(k+1) &= H_{k+1}[m(k+1), \gamma(k+1)] + G_{k+1}[m(k+1), \gamma(k+1)] \cdot v(k), \end{aligned}$$

where: $x(k)$ - advanced state vector and generalized object control model of the environment; $u(k)$ - vector control actions; $z(k+1)$ - vector available observations; $w(k)$ and $v(k)$ - uncorrelated between a sequence of vectors; $\hat{O}_k[\cdot]$, $\tilde{A}_k[\cdot]$, $H_{k+1}[\cdot]$ and $G_{k+1}[\cdot]$ - matrix functions of appropriate dimensions.

The basis for modeling systems is a hierarchical description of the dynamics of the system under study, are a family of models, each of which describes the behavior of dynamic systems in terms of various levels of abstraction.

With regard to the task proposed to allocate two directions of hierarchical models:

- vertical hierarchy, in which the division of models through the levels is carried out on the structural and functional features of the system;
- horizontal hierarchy, in which the division in levels models is dependent on the methods of investigation.

In the hierarchy of three levels of models are marked by vertical:

- level base models containing the simplest models;
- the level of local models, reflecting the structural and functional properties of functionally complete devices aimed at solving specific problems;
- the level of global models that reflect the organizational features of systems and is a model with a high degree of detail.

Horizontal hierarchy of models includes four levels, depending on the methods of investigation:

models to get the process of calculating results based on analytical modeling;

- model showing the discrete nature of the processes and presentable logical-differential equation;
- model showing structural coupling mathematical process diagrams based on neural network algorithms;
- models to optimize and predict the state of a system based on artificial intelligence techniques.

Formally, the construction of models of dynamic objects can be represented

as:

$$M = \langle I, P, \Phi, X, Y, \Omega \rangle,$$

where: I - model identifier: $P = P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ - single predicate defined on the X -set.

The meaning of this predicate is the formal definition of the possibility of using this model $\Phi : X \rightarrow Y$ ($XUY=Z$) - display a certain set of properties describing the modeling algorithm; $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ - input variables computational model; $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ - output variables computational mode; $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ - a set of variables; Ω - the scope of the model, which is defined by a pair of the domain of the X and the Y value, i.e. $\Omega = \{X, Y\}$.

In the process of working with models input variables of two types can occur: definite and indefinite. In accordance with this X -set will be divided into two disjoint subsets X^H and X^O , i.e.

$$X^H \cup X^O = X \quad (X^H \cap X^O = \emptyset)$$

The elements of X^H can be defined with the introduction of a relationship between certain variables X^O . This connection leads to the formation of more complex tiered computing model or another model M having as an output vector Y and vector undefined variables X^H , it can be represented as a set of $N_m = N_x \cup N_y$ - model mappings with a $Y_k \in Y$, $k = 1, 2, \dots, N_m$ scalar vectors.

Used sub-models, which are blocks of different dimensions, can also be represented in the form.

$$m_i = \langle I, P_i, f_i, x_i, y_i, \Omega \rangle$$

Then the components of the original model described by the elementary components of the following models:

$$\begin{aligned} M &= \{m_i\}, \Phi = \{f_i\}, i \in [1, N_m] \\ (\forall x) P(X) &\leftrightarrow [P_1(X_1) \wedge P_2(X_2) \wedge \dots \wedge P_{N_m}(X_{N_m})] \\ X &= \bigcup_{i=1}^{N_m} X_i; \quad Y = \left(\bigcup_{i=1}^{N_m} Y_i \right) / X \\ Z &= \bigcup_{i=1}^{N_m} Z_i; \quad \Omega_i = P_z Z_i(\Omega): i = 1, 2, \dots, N_m \end{aligned}$$

$P_z Z_i(\Omega)$ - the Ω - set projection onto the hyperplane, the coordinates of which are components of the vector Z_i .

Such presentation of computational models allow to generalize the procedures associated with the formation of modeling algorithms, and present them as formal problems to be solved on the basis of these models.

To determine the optimal process model structure is formed by a plurality of structures, defining a set of defined relationships and metric distances between any of its elements. A M_s -set structures of process models is a vector (matrix and the presentation of sets) function.

$$M_s = Q(D \circ L),$$

where: D - many structural components, including a subset of $t_\lambda \in T$ time points, $x_k \in X$ state variables, $u_\omega \in U$ admissible control actions, $w_i \in W$ random

disturbances, $g_v \in G$ technological limitations, $\varphi_\alpha \in \Phi$ communication operators, L- set, which characterizes the functioning of possible situations, $l_j \in L$; "o" - Boolean operation of multiplication; Q - function that determines the options structure models generated from the results of the Boolean product of the set structural components and operation of the set situations.

Then the set of structures process models will be defined as

$$M_s = Q[\{T, X, U, W, G, \Phi\} \circ \{L\}]$$

A T-subset determines the classification process for the time parameter. It allows you to select the type of model for the type of equation. The T-structure is defined as a set of process elements t_1 - continuous; t_2 - discrete; t_3 - continuously-discrete; t_4 - discrete-continuous.

In order to clearly understand the dynamics and processes of logic, you need to have information about his condition. For this purpose, a subset of the intended X, which contains as elements the variables carry information about the condition of TP (generalized coordinates)

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_f\}$$

where: f - the smallest number of independent variables that uniquely characterize the state of processes for a given time.

In order for the process to be controlled in the model must have the elements, varying the values of which can be converted processes from one state to another.

This function is performed by a U-subset, which contains variables that describe control actions: $U = \{u_1, u_2, \dots, u_\delta\}$, where δ - the number of admissible control variables.

The W-subset contains occasional disturbing influence, causing uncertainty processes. Choose as a basis for structuring the disturbances and how to specify the nature of the influence on the solution of the problem.

Thus, it is possible to construct models of various processes occurring in the dynamic control plane. The approach of building models are also suitable for non-stationary objects, where the parameters of the object change over time. The proposed method is the basis for the formation of patterns as a predictive and adaptive systems with the identifier.

In the third chapter of the thesis **"Development of intelligent solver tasks control of dynamic object"** on the basis of the developed technique of constructing models of the dynamics of the functioning of operating in an uncertain environment, the issues of creation of intellectualized solver problems automated dynamic control objects. The generalized algorithmic structure intellectualized dynamic object management system, which include dynamic solver problems, for outputting, based on production rules solutions. Algorithms for adaptive forecasting, determining unmeasured coordinate system and the correction of control parameters of the system, which are the basis of dynamic solver technology objects control problems, operating in an uncertain environment.

The structure of the intellectualized management system (fig. 2), along with new, contains the traditional elements and connections, a central place in it takes a

dynamic solver problems.

$$T \times M \times S \xrightarrow{a_2} C \times T;$$

$$C \times T \times X \times S \xrightarrow{a_1} R \times T;$$

$$T \times \dot{X} = \{A \times T\} X \times T + \{B \times T\} U \times T;$$

$$T \times Y = \{D \times T\} X \times T;$$

$$T \times R \times Y \xrightarrow{a_2} C \times T$$

where T - a lot of time; X , S , M , C , R and Y - set of states of the system, environment, motivation, goals, projected and actual results; A , B and D - the parameters of the matrix; a_i , $i = \overline{1,4}$ - Intellectual conversion operators using knowledge.

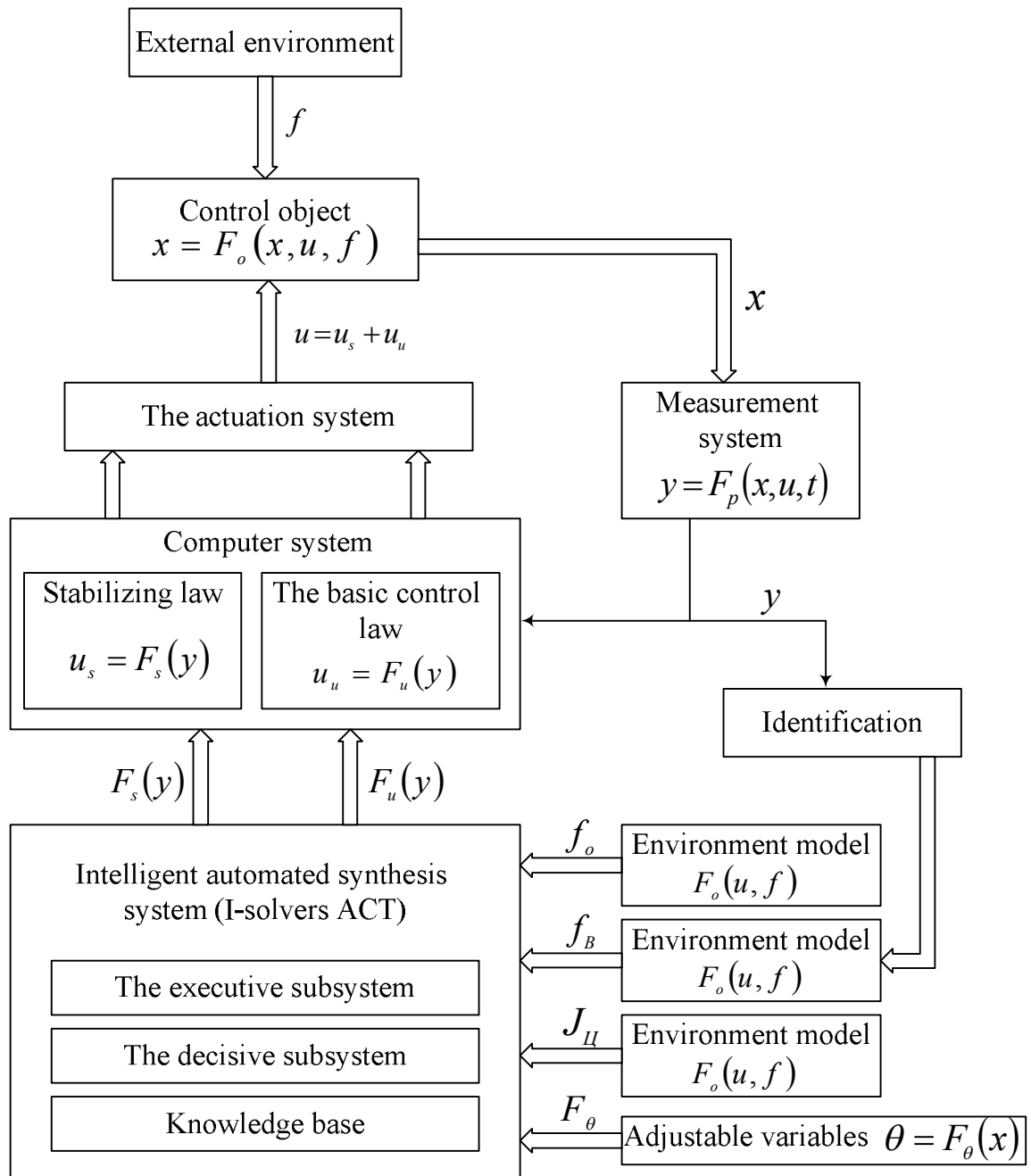


Fig. 2. Structure of intellectualized dynamic objects control system

Dynamic solver problems have a complex education, ability to assess the state of the system and the environment, to compare the parameters of the desired and actual results of the action, make decisions and develop control, contributing to the achievement of objectives. For this dynamic solver control problems should have knowledge of stock and have methods of solving problems.

An important function of dynamic solver control problems is the formalization of the state of the database and knowledge base.

The hybrid model is the mathematical basis intellectualized control system realizing the positive properties of neural networks and fuzzy logic have shown high efficiency of neuro-fuzzy control systems. Elements intellectualized dynamic objects control system described fuzzy adaptive model is a kind of multi-layer neural network, which structure is formed on the basis of the analysis of process variables and the nature of relationships between them that can be customized to the changing conditions of production. To explain the operation of the dynamic solver control problems, consider the process of stabilization of the $y(i+1)$ -output variable of the dynamic object described by a nonlinear difference equation

$$\begin{aligned} y(i+1) &= f(y(i), \dots, y(i-r), \bar{x}(i), \dots, \\ &\bar{x}(i-s), u(i), \dots, u(i-q)), \end{aligned} \quad (1)$$

where: $i = 0, 1, 2, \dots, N$ - actual discrete time; $y(i)$ - output signal; $\bar{x}(i) = (\bar{x}_1(i), \dots, \bar{x}_k(i))$ - vector disturbing action; $u(i)$ - control; $f(y(i), \dots, y(i-r), \bar{x}(i), \dots, \bar{x}(i-s), u(i), \dots, u(i-q))$ - Some non-linear function having the orders of r, s, q .

Input the coordinates of the object are limited at any given time, i.e.:

$$\begin{aligned} u^{\min} &\leq u(i) \leq u^{\max}, \\ \bar{x}^{\min} &\leq \bar{x}(i) \leq \bar{x}^{\max}, i = \overline{1, N}. \end{aligned}$$

In order to describe the dynamic process used Sugeno fuzzy model represented by a set of rules:

$$\begin{aligned} &\text{if } x_{k1}(i) \text{ is } X_{k1}^\theta \\ &x_{k2}(i) \text{ is } X_{k2}^\theta, \dots, x_{km}(i) \text{ is } X_{km}^\theta, \\ &\text{then } u_k^\theta(i) = b_{k0}^\theta + b_{k1}^\theta x_{k1}(i) + \dots + b_{km}^\theta x_{km}(i), \\ &\theta = \overline{1, n}, \end{aligned} \quad (2)$$

with $X_{kl}^\theta, l = \overline{1, m}$ -fuzzy sets and linear dependency linking $\bar{x}_k(i) = (x_{k1}(i), x_{k2}(i), \dots, x_{km}(i))$ inputs and $u_k^\theta(i)$ outputs.

The main characteristic that defines the X_k fuzzy set membership function is $X_k(x_k)$, which has the form of sigmoid:

$$X_k(x_k) = (1 + \exp(d_{k1}(x_k + d_{k2})))^{-1}$$

The mechanism for determining the $u_k(i)$ output of fuzzy model (2) by setting the $x_{kl}^\theta(i)$ inputs at the $i = 1, 2, \dots, N$ time of $X_{kl}^\theta(x_{kl}(i))$ membership functions and the $b_{k0}^\theta, b_{k1}^\theta, \dots, b_{km}^\theta, \theta = \overline{1, n}, l = \overline{1, m}$ coefficients of linear equations:

$$\begin{aligned} u_k^\theta(i) &= b_{k0}^\theta + b_{k1}^\theta x_{k1}(i) + \dots + b_{km}^\theta x_{km}(i), \\ \theta &= \overline{1, n}, \end{aligned} \quad (3)$$

it can be represented as a five-layer fuzzy neural network

The first layer is calculated $X_{k1}^\theta(x_{k1}^\theta(i)), \dots, X_{km}^\theta(x_{km}^\theta(i))$ membership degrees for θ -

th rule, and the second layer of the value of w_k^θ parcels of truth by algebraic multiplication:

$$w_k^\theta = X_{k1}^\theta(x_{k1}(i))X_{k2}^\theta(x_{k2}(i))\dots X_{km}^\theta(x_{km}(i))$$

The third layer is defined relative to the normalized values of truth parcels:

$$\beta_k^\theta(i) = \frac{w_k^\theta(i)}{w_k^1(i) + w_k^2(i) + \dots + w_k^n(i)}$$

The fourth layer $\beta_k^\theta(i)$ output values are multiplied by the $u_k^0(i)$ values calculated by a linear equation (3) for setting $x_{k1}^0(i), x_{k2}^0(i), \dots, x_{km}^0(i)$ values.

In the latter the fifth layer of the $u_k(i)$ total value of all the rules is the $u_k^0(i)$ average weighted sum

$$u_k(i) = \sum_{\theta=1}^n \beta_k^\theta(i) u_k^\theta(i).$$

The fuzzy model of the object c_k vector settings comprise $b_{kl}^\theta, l = \overline{0, m}$ coefficients of linear equations (3) and the parameters $d_{k1,l}^\theta, d_{k2,l}^\theta, l = \overline{1, m}, \theta = \overline{1, n}$ of membership functions.

In this case, the $x_{k1}^*(i), \dots, x_{km}^*(i), u^*(i)$, data in which the $y(i+1)$ output variable is close to the nominal y^H value, i.e. satisfies the condition:

$$J^* = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(|y^H - y(x_k^*(i), u^*(i))| \right) / y^H \right) \leq J^H,$$

where J^H - the nominal value of the relative error control.

The next point is the training of the network. For this purpose, the correction matrix is calculated:

$$H_k(i) = H_k(i-1) - \frac{H_k(i-1)\tilde{x}_k(i)\tilde{x}_k^T(i)H_k(i-1)}{1 + \tilde{x}_k^T(i)H_k(i-1)\tilde{x}_k(i)} \quad (4)$$

and the vector of the coefficients:

$$\overline{b}_k(i) = \overline{b}_k(i-1) + H_k(i)\tilde{x}_k(i)(u^*(i) - \overline{b}_k^T(i-1)\tilde{x}_k(i)). \quad (5)$$

Getting fuzzy model of the future are trained on current data by directional change $b_l^\theta, \theta = \overline{1, n}, l = \overline{0, m}$ factors, multi-stage least squares method (4), (5) and the parameters of $d_{k1,l}^\theta, d_{k2,l}^\theta$ membership function by back propagation. Last is to minimize the mean square error.

$$E_k(i) = 0.5e_k^2(i) = 0.5 \left(u^*(i) - u_k(\overline{d}_k, \overline{x}_k^*(i)) \right)^2$$

gradient method by the formula:

$$d_k(\lambda + 1) = d_k(\lambda) - \Delta d_k(\lambda)$$

with the $\Delta \overline{d}_k = h_k(\partial E_k / \partial \overline{d}_k)$ working step, where h_k - the parameter of the working step.

To make the adaptive properties of the fuzzy controller, in order to ensure the stability of a dynamic system to disturbances (changes of control object parameters and external influences) carried out assessment of the rate of change in the $\Delta \varepsilon$

error.

For training the network is proposed an algorithm based on an interactive adaptation theory, the essence of which is to calculate the implicit error manner.

When using an interactive adaptation algorithm system is divided into N -subsystems, each of which has integrable output signal y_n , and the integrable input signal x_n , the relationship between them is represented in the form of functional dependence

$$F_n : X_n \rightarrow Y_n, n = 1, 2, \dots, N$$

The ratio of i -th element of the system has the form

$$y_i(t) = F_i[x_n(t)], i = 1, 2, \dots, N$$

Let the interaction between the elements and $u_i(t)$ by an external signal and is described by linear

$$x_i(t) = u_i(t) + \sum_{K \in J_i} \alpha_K \cdot y_i(t), i \in N \quad (6)$$

where: $J_i = \{K : y_K = i\}$ - a plurality of inputs associated i -th element; α_K - weight linkages, then the ratio of input and output i -th element by the following equation:

$$y_i(t) = F_i[u_i(t) + \sum_{K \in J_i} \alpha_K \cdot y_i(t)], i \in N$$

If the system is described by the equation (6), that links the α_K weight is adjusted by the following rule

$$\dot{\alpha}_K = F'_{\text{ex}K}[x_{\text{ex}K}] \cdot \left(\frac{y_{\text{ex}K}}{y_{\text{ex}K}} \right) \sum_{S \in Q_{\text{ex}K/I}} \alpha_S \cdot \dot{\alpha}_S - \gamma \cdot F'_{\text{ex}K}[x_{\text{ex}K}] \cdot y_{\text{ex}K} \cdot \frac{\delta E}{\delta y_{\text{ex}K}},$$

where: $\gamma > 0$ - factor that determines the speed of learning; $F'_{\text{ex}K}[x_{\text{ex}K}]$ - Frechet derivative; E - loss function (error) $K \in K$.

Provided that the equation (6) has a unique solution for α_K , where the $E(y_1, \dots, y_K; u_1, \dots, u_n)$ is loss function would decrease monotonically over time and will be satisfied by the following equation:

$$\dot{\alpha}_K = -\gamma \frac{\delta E}{\delta \alpha_K}, k \in K$$

With this approach, the neural network can be decomposed into its constituent elements, represented as an elementary neural network.

Mathematically, the neural network learning algorithm can be represented as:

$$Pn = \sum_{s \in Dn} \omega_s \cdot r_{\text{pres}} \\ r_n = \sigma(pn),$$

where: n - the index of the neuron; s - the index of the synapse; Dn - a set of input synapses the neuron n ; pres and post - presynaptic and postsynaptic neuron corresponding s -synapse; ω_s - synapse weight s ; pn - the membrane potential of the neuron n ; rn - frequency excitation of the neuron n ; σ - Sigmoid activation function type, which is represented as

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

Thus synapse weight is determined by the formula

$$\dot{\omega}_s = r_{pres} (\varphi_{posts} \sigma(-P_{posts}) + \gamma \cdot f_{posts})$$

$$\varphi_n = \sum_{S \in A_n} \omega_s \cdot \dot{\omega}_s,$$

where: γ - the feedback directly to all neurons, φ_n - direct feedback signal error.

Thus, combining the positive properties of neural networks and fuzzy models can effectively solve the control problem of complex dynamic objects in conditions of uncertainty.

In the fourth chapter of the thesis "**Algorithmic synthesis of intellectual control system of dynamic objects**" formulated principles of intellectualized control system of hierarchically organized dynamic objects, operating in conditions of a priori uncertainty of the information on which solved the problem of coordination of technological units.

The emergence of a hierarchical control structure was due to the increasing complexity of the technology controlled objects, which creates great difficulties for centralized control. Therefore there was a need to separate the decision-making process on a number of levels to optimize the solution of the problem was not difficult at all of them. But with the emergence of multi-level hierarchical control systems and a new task appeared to harmonize and coordinate the decisions taken at all levels of control.

The multi-level hierarchical systems important issue is to solve the problem of coordinating the work of the subsystems in the system if there is uncertainty, the problem is much more complicated decision.

In this case, the level of coordination is carried out by receiving control signal systems, is a generalized assessment of quality management across a set of controlled objects from the perspective of an outside observer, as which can act as the other current level control systems, and higher levels of the hierarchy control system.

The main function of coordinating the subsystems is to provide a coherent interconnected operation of all the components (the local control systems) together. This function is provided primarily by the optimum choice of settings set of vectors for each of the system components. Selecting the optimal operation of each component separately in itself is quite a challenge, but it does not imply that the entire system will also work optimally.

Currently decided to investigate how to optimize for the two-tier system and to take this as a basic unit for any N -level system, and to solve the problem on the $(i-1)$ -th level is considered to be the result of optimization given level i . Or, if written in the $\overline{x_N}$ form:

$$\overline{x_N} = \{\overline{x_{ij}}\}, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}$$

where $M = m_i$ - number of subsystems in the i -th control layer, it is assumed that when the $\overline{x_{(i-1)j}}, j = \overline{1, m_{i-1}}$ solutions, all solutions $\overline{x_{ij}^0}, j = \overline{1, m_i}$ have already been take.

As an indication of the decisions taken on individual subsystems j and the whole system we will use the supplies of solution function to a subset of valid,

effective and $\mu_D(\overline{x_N})$ coordinated solution, and this function is not limited to clear solutions to the $F(\overline{x_N})$ function, as it includes not only the characteristic effectiveness of the solution, but the solution of its admissibility (degree solutions to a subset of valid modes with accessories) and coordination with the objectives and constraints downstream subsystems (degree of belonging to a subset of solutions coordinated modes K).

Membership functions are defined on the $X = \{x_{ij}\}$ set of solutions. The effectiveness of solutions given by the $G \subset X$ fuzzy aim as a fuzzy subset with $\mu_G(x_{ij})$ membership function, feasible solutions - with fuzzy subset $C \subset X$ membership function $\mu_C(x_{ij})$ and coordination - fuzzy set $K \subset X$ with $\mu_K(\overline{x_{ij}})$ membership function. The net effect of the fuzzy goal G, fuzzy constraint with no coordination By the choice of the x_{ij} solution can be represented by the $G \cap C \cap K$ intersection.

System solution coordinated at the level of N can be determined by the type expression

$$D(x_N) = D(x_{11}) \cdot \dots \cdot D(x_{1M}) \cdot D(x_{21}) \cdot \dots \cdot D(x_{2M}) \cdot \dots \cdot D(x_{(N-1)1}) \cdot \dots \cdot D(x_{(N-1)M}) \cap C(x_N) \cap G(x_N)$$

The important point here is to build a mathematical model to represent knowledge of the dynamic objects in a fuzzy information, which should enable the identification of indicators of uncertainty, giving a description of random processes, invariant to their distribution law.

In general, a dynamic mathematical model of the object can be represented as:

- fuzzy state equation

$$d\overline{x}/dt = \overline{A} \otimes \overline{x} \oplus \overline{B} \otimes u, \quad \mu_{\overline{s}}(s)$$

- fuzzy observation equation

$$\overline{y} = \overline{C} \otimes \overline{x}$$

- fuzzy initial conditions

$$\overline{x}_1(0) = \overline{D}_1, \quad \overline{x}_2(0) = \overline{D}_2, \dots, \overline{x}_n(0) = \overline{D}_n,$$

where $\otimes, \oplus$ - fuzzy operations of addition and multiplication, respectively; u - a control signal (scalar) receiving fuzzy values; $\overline{x} = \{\overline{x}_1, \overline{x}_2, \dots, \overline{x}_i, \dots, \overline{x}_n\}$ - fuzzy state vector, $i=1, 2, \dots, n$; $\overline{y} = \{\overline{y}_1, \overline{y}_2, \dots, \overline{y}_{\zeta}, \dots, \overline{y}_l\}$ - vector fuzzy output variables, $\zeta=1, 2, \dots, l$; $\mu_{\overline{s}}(s)$ - fuzzy index (changing) the number of state variables and represents the weight of the s -th equation of state;

$$\overline{A} = \begin{bmatrix} \overline{A}_1^1 & \dots & \overline{A}_n^1 \\ \dots & \dots & \dots \\ \overline{A}_1^n & \dots & \overline{A}_n^n \end{bmatrix}, \quad \overline{B} = \begin{bmatrix} \overline{B}^1 \\ \dots \\ \overline{B}^n \end{bmatrix}, \quad \overline{C} = \begin{bmatrix} \overline{C}_1^1 & \dots & \overline{C}_n^1 \\ \dots & \dots & \dots \\ \overline{C}_1^l & \dots & \overline{C}_n^l \end{bmatrix} - \text{matrix fuzzy coefficients of model.}$$

Some of the i -th variable of the state vector as a function of time t can be represented by fuzzy relations (FR): $\overline{x}_i(t) = \{t, x_i / \mu_{\overline{x}_i}(t, x_i)\}$, $i=1, 2, \dots, n$, and at a fixed time specified variable can be expressed as a fuzzy set (FS): $\overline{x}_i = \{x_i / \mu_{\overline{x}_i}(x_i)\}$. A similar description is ζ -th output variable:

$$\bar{y}_\varsigma(t) = \{t, y_\varsigma / \mu_{y_\varsigma}^-(t, y_\varsigma)\}, \varsigma = 1, 2, \dots, l,$$

$$\bar{y}_\varsigma = \{y_\varsigma / \mu_{y_\varsigma}^-(y_\varsigma)\},$$

where $\mu_{x_i}^-, \mu_{y_\varsigma}^-$ - membership function (MF); x_i, y_ς - the value from the universal set. Elements of $\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}$ matrices specified FS.

$$\bar{A}_1^1 = \{A_1^1 / \mu_{A_1^1}^-(A_1^1)\}, \dots, \bar{A}_n^n = \{A_n^n / \mu_{A_n^n}^-(A_n^n)\},$$

$$\bar{B}^1 = \{B^1 / \mu_B^-(B^1)\}, \dots, \bar{B}^n = \{B^n / \mu_B^-(B^n)\},$$

$$\bar{C}_1^l = \{C_1^l / \mu_{C_1^l}^-(C_1^l)\}, \dots, \bar{C}_n^l = \{C_n^l / \mu_{C_n^l}^-(C_n^l)\}.$$

The initial conditions are described by $\bar{D}_i = \{x_i / \mu_{D_i}^-(x_i)\}$ of FS, and the number of variables of the state vector – $\bar{S} = \{s / \mu_S^-(s)\}$ of FS, where $s=1, 2, \dots, n$ – sequence number state variable vector.

Membership functions are given analytic function, for example, for the $\bar{x}_i$ variable:

$$\mu_{\bar{x}_i}^-(x_i) = \varphi(x, a_{\bar{x}_i}, b_{1\bar{x}_i}, b_{2\bar{x}_i}, v_{1\bar{x}_i}, v_{2\bar{x}_i}) =$$

$$= \left((b_{1\bar{x}_i}(a_{\bar{x}_i} - x))^{v_{1\bar{x}_i}} \frac{\text{sign}(b_{1\bar{x}_i}(a_{\bar{x}_i} - x)) + 1}{2} + (b_{2\bar{x}_i}(a_{\bar{x}_i} - x))^{v_{2\bar{x}_i}} \frac{\text{sign}(b_{2\bar{x}_i}(a_{\bar{x}_i} - x)) + 1}{2} + 1 \right)^{-1}$$

There is a the $a_{\bar{x}_i}$ coefficient of MF mode, coefficients $b_{1\bar{x}_i}$ and $b_{2\bar{x}_i}$ define the width of MF, $v_{1\bar{x}_i}$ and $v_{2\bar{x}_i}$ - tilt MF to x_i axis, i.e. contrast. The $b_{1\bar{x}_i}, b_{2\bar{x}_i}, v_{1\bar{x}_i}, v_{2\bar{x}_i}$ factors, allows to form any form of MF, and can act as indicators of uncertainty.

Sets the control system quality metrics (time of transition, overshoot, bug tracking, etc.) in the form of utility functions.

$$\bar{Q}_k^3 = \{Q_k^3 / \mu_{Q_k^3}^-(Q_k^3)\}, k = 1, 2, \dots, K,$$

$$\mu_{Q_k^3}^-(Q_k^3) = \varphi(Q_k^3, a^3_{\bar{x}_i}, b^3_{1\bar{x}_i}, b^3_{2\bar{x}_i}, v^3_{1\bar{x}_i}, v^3_{2\bar{x}_i}),$$

where K - the number of indicators of the quality control system.

Determined reference model based on given parameters of quality control:

$$\dot{x}_M = A_M x_M + B_M u_M$$

where u_M - reference variable system; $x_M(t)$ - vector of the reference state.

Set limits on the variables of the state vector and control constraints:

$$g_1(\bar{x}, u, \gamma, t) < x_{1\max}, g_2(\bar{x}, u, \gamma, t) < x_{2\min}, \dots,$$

$$g_{2n-1}(\bar{x}, u, \gamma, t) < x_{n\max}, g_{2n}(\bar{x}, u, \gamma, t) < x_{n\min}, \dots,$$

$$g_{m-1}(\bar{x}, u, \gamma, t) < u_{\max}, g_m(\bar{x}, u, \gamma, t) < u_{\min}.$$

To determine the control system quality index used as the time characteristics $a_{x_i}^-(t), a_{y_i}^-(t)$ of the control object and $b_{1\bar{x}_i}^-(t), b_{2\bar{x}_i}^-(t), b_{1\bar{y}_k}^-(t), b_{2\bar{y}_k}^-(t)$ the parameters of fuzziness determined by the width of the membership function.

In order to reduce the fuzziness of the object data and improve quality control indicators are maximized $b_{1\bar{x}_i}^-(t), b_{2\bar{x}_i}^-(t), b_{1\bar{y}_k}^-(t), b_{2\bar{y}_k}^-(t)$ of value.

To make the properties of the robustness of the algorithm proposed to control the use of discrete algorithm speed gradient in parametric form, which will provide a minimum of complexity and take into account the restrictions on the control

signal and the rate of change.

In order to improve the quality and accuracy of formation of transients in a compromise on the choice of the control of the control signal control system algorithm decision is implemented through its incorporation in control algorithms.

The modified control law has the form:

$$u = k_u(t) \cdot u_m(t) + \sum_{i=1}^n k_x^\Sigma(t) \cdot x_i^\Sigma(t),$$

$$k_{x1}^\Sigma[t+1] = k_{x1}^\Sigma[k](1 - h\gamma_3) + h(\gamma_5 - \gamma_4)\delta \cdot [t]x_1^\Sigma[t] - h\gamma_5\delta \cdot [t+1]x_1^\Sigma[t+1],$$

$$k_{xn}^\Sigma[t+1] = k_{xn}^\Sigma[k](1 - h\gamma_3) + h(\gamma_5 - \gamma_4)\delta \cdot [t]x_n^\Sigma[t] - h\gamma_5\delta \cdot [t+1]x_n^\Sigma[t+1],$$

$$k_u[t+1] = k_u[k](1 - h\gamma_1) + h(\gamma_6 - \gamma_2)\delta \cdot [t]u_m[t] - h\gamma_6\delta \cdot [t+1]u_m[t+1],$$

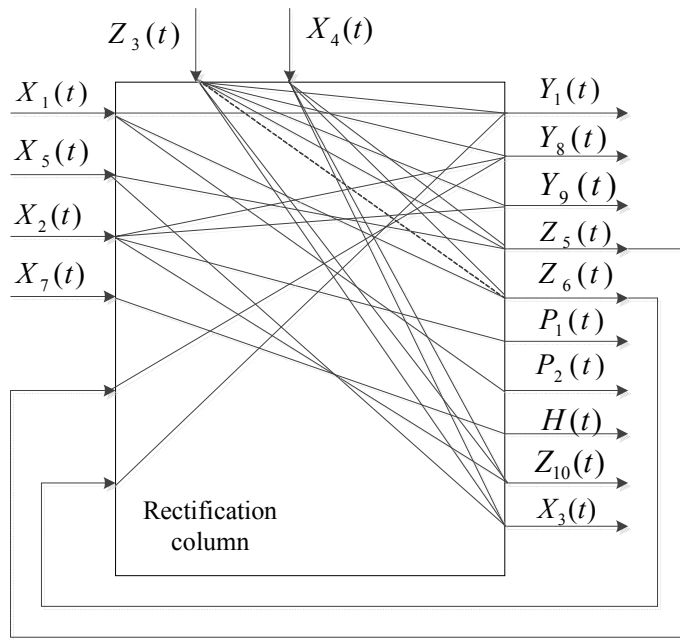
where $t = mh$, $h > 0$ – digitization step, $m = 0, 1, 2, \dots, m$; $\gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_5, \gamma_6\}$ – the parameters of the adaptive controller; $e_i^\Sigma = \int_{X_i} (x_i - x_{im}) \mu_{e_i}^-(e_i) dx_i$ – a mismatch between

the variables of the state vector and the reference state variables; $\mu_{e_i}^-(e^i) = (e_i, a_{e_i}^-, b_{1e_i}^-, b_{2e_i}^-, v_{1e_i}^-, v_{2e_i}^-)$ – MF errors; φ – analytical form of membership function; $a_{e_i}^- = a_{xi}^- - x_{im}$, $v_{1e_i}^- = v_{1xi}^-$, $v_{2e_i}^- = v_{2xi}^-$, $b_{1e_i}^- = b_{1xi}^-$, $b_{2e_i}^- = b_{2xi}^-$, $x_i^\Sigma = \int_{X_i} x_i dx_i$ –

integrated variable of the state vector; $\delta \cdot [t] = \sum_{i=1}^n k_i \cdot e_i^\Sigma$, h_i – coefficients obtained from the coefficient matrix and the matrix of object reference model W_m .

Implementation of the proposed control system synthesis algorithm extends the scope of the control systems in production conditions in the presence of a wide range of disturbances.

In the fifth chapter of the thesis **"The practical implementation of the developed models and algorithms in problems of intellectualization process facilities management process"** shows the results of the application of the developed models and algorithms intellectualization management processes in problems of management of various technological objects in the conditions of a priori uncertainty. As an example, the issues of creating intelligent adaptive neuro-fuzzy process control system of the distillation column, a mathematical model which is as follows:



$$\begin{cases} T_1 \cdot \frac{dY_1(t)}{dt} + Y_1(t) = k_1 \cdot X_1(t - \tau_1) \\ T_2 \cdot \frac{dY_2(t)}{dt} + Y_2(t) = k_2 \cdot Y_1(t - \tau_2) \\ T_3 \cdot \frac{dY_3(t)}{dt} + Y_3(t) = k_3 \cdot Y_2(t - \tau_3) \\ T_4 \cdot \frac{dY_4(t)}{dt} + Y_4(t) = k_4 \cdot Y_3(t - \tau_4) \\ Y_5(t) = 0,5 \cdot (K1 \cdot Y_4(t) + K2 \cdot Y_6(t)) \\ T_6 \cdot \frac{dY_6(t)}{dt} + Y_6(t) = k_6 \cdot Y_7(t - \tau_6) \\ T_7 \cdot \frac{dY_7(t)}{dt} + Y_7(t) = k_7 \cdot Y_8(t - \tau_7) \\ T_8 \cdot \frac{dY_8(t)}{dt} + Y_8(t) = k_8 \cdot X_2(t - \tau_8) \end{cases}$$

The mathematical model $Y_1(t)$, $Y_2(t)$, $Y_3(t)$, $Y_5(t)$, $Y_7(t)$, $Y_8(t)$ – cube column temperature, 16th, 22th, 28th (plate supply), the 37th and the top of the column, respectively, $Y_4(t)$ – vapor temperature entering the bottom plate of supply, $Y_6(t)$ – temperature of the liquid flowing down on supply plate, $Y_9(t)$ – reflux temperature, $X_1(t)$, $X_2(t)$ – costs superheated vapor refrigerant, $T_1 \dots T_8$ – the time constants of the dynamic characteristics of the respective channels of the control object, $k_1 \dots k_8$ – the transmission ratios for the respective channels of the control object, $\tau_1 \dots \tau_8$ – the value of the delay time through the appropriate channels of the control object, $K1$, $K2$ – adjusting coefficients, t – analog time.

The existing management system, in the presence of external disturbances (eg, changes in steam consumption by more than 15%) or parametric perturbations in the control object (for example, changing the composition of the mixture at 10%) raw material loss is 86%. Simulation experiment showed that it reduces the loss of raw materials is 10 times in this process intellectualisation protsees current implementations deviation values do not exceed 2.5% of the specified value (fig.3).

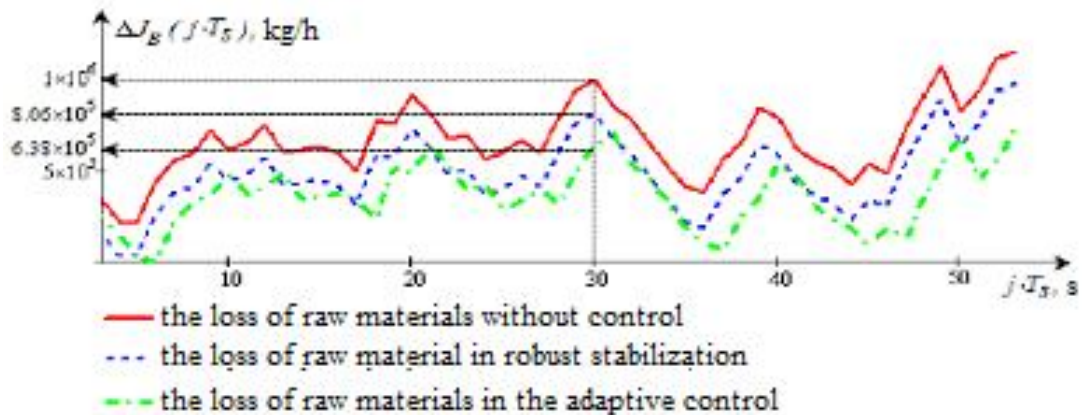


Fig. 3. Charts raw material losses during the simulation process control

Create an information-analytical system of process monitoring and control implemented in a software system used for automated monitoring of process parameters ginneries. Due to the use of time to process the huge flow of information and analysis of the data was reduced to 1.26 times, and it has been applied to determine the optimal operating conditions of technological units of electric power facilities, allowing to reduce specific fuel consumption by 1.15%.

CONCLUSION

On the basis of the survey on his doctoral dissertation on the theme "Design of models and intellectualization of dynamic objects control processes algorithms in conditions of uncertainty", presented the following conclusions.

1. Based on the systematization and analysis of methods and algorithms for solving dynamic objects intelligent control problems developed the theoretical basis for the creation of intelligent control systems of dynamic objects through a combination of methods of control theory and principles of intelligent technologies.
2. Propose a new approach to the creation of a system of intellectualization of dynamic objects control processes that operate in conditions of uncertainty, based on the integration of classical control theory and methods of intelligent control.
3. The complex of intellectualized hybrid models of dynamic objects of control systems having adaptive properties, and allows in contrast to the known types of models to take into account the dynamic characteristics of controlled processes.
4. On the basis of neural networks, fuzzy logic, genetic algorithms and techniques of classical control theory developed a methodology for the construction of hybrid models of technological processes, which is the mathematical basis of intellectualization of dynamic objects control processes, and allowing to form complex patterns formalized control processes.
5. The developed algorithmic design principles modeling algorithms research of dynamic objects, providing an effective solution to problems of selection of the best systems functioning models computationally based on a combination of the method of hierarchy analysis, evaluation procedures and methods fuzzy logic.
6. Created intellectualized solver dynamic objects control problems, combining traditional methods of automatic control theory and principles of intelligent control in terms of structural, situational and parametric uncertainties.
7. Algorithms of adaptive prediction, determination unmeasured coordinate system and the correction of control parameters of the system, as well as the synthesis of adaptive neuro-fuzzy combination of dynamic objects control system based on an interactive method of adaptation, which is a combination of identification algorithms and genetic algorithms.

8. The principle of hierarchical multilevel modeling and study of intelligent control systems, based on a hierarchical description of the study of intelligent control system.
9. Algorithms for synthesis adaptive neuro-fuzzy control system, including a procedure for determining the architecture, structure and development model of interaction of its elements, assessing the impact of neural network parameters on the quality of performance of the system, allowing to increase the effectiveness of control systems with incomplete a priori information regarding the model of the control object and disturbance.
10. A system of automated monitoring and control of technological parameters of electric power facilities and petrochemical complexes, allowing to choose the optimum modes of technological units, reduce energy costs and improve productivity by reducing the specific consumption of energy used, and also to prevent a variety of emergency situations.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙЎХАТИ

Список опубликованных работ

List of published works

I бўлим; (I часть; I part)

1. Марахимов А.Р., Игамбердиев Х.З., Юсупбеков А.Н., Сиддиков И.Х. Нечетко множественные модели и интеллектуальное управление технологическими процессами. – Т.: ТашГТУ, 2014. – 240с.
2. Сиддиков И.Х., Халматов Д.А. Автоматизированное исследование МПСУ технологическими объектами с запаздыванием // Журнал «Вестник ТашГТУ». – Ташкент, 2000. -№2. - С. 55- 59. (05.00.00; №16).
3. Сиддиков И.Х. Оптимальное управление многомерными дискретными объектами // Журнал «Проблемы текстиля». – Ташкент, 2004. -№3. - С.64-66. (05.00.00; №17).
4. Сиддиков И.Х. Расчет настроечных параметров цифрового регулятора нелинейной системы управления // Журнал «Проблема текстиля». – Ташкент, 2005. -№1. - С.77-80. (05.00.00; №17).
5. Сиддиков И.Х. Конструирование моделей многоуровневой системы управления технологическими системами // Журнал «Проблема текстиля». – Ташкент, 2005. -№3. - С.96-97. (05.00.00; №17).
6. Сиддиков И.Х. Интеллектуализация создания моделирующих алгоритмов многоуровневых объектов управления // Журнал «Проблема текстиля». – Ташкент, 2005. -№4. - С.66-69. (05.00.00; №17).
7. Сиддиков И.Х., Салахутдинов Р.Т. Адаптивная коррекция параметров объекта управления // Журнал «Химическая технология. Контроль и управления». – Ташкент, 2006. - №5. - С.-78-81. (05.00.00; №12).
8. Сиддиков И.Х. Многопараметрический синтез микропроцессорных многоуровневых систем управления на этапе эскизного проектирования // «Химическая технология. Контроль и управления». – Ташкент, 2006. -№4. - С.72-74. (05.00.00; №12).
9. Сиддиков И.Х., Салахутдинов Р.Т. Синтез оптимальных управляющих воздействий дискретных системах с ШИМ-модуляцией // Журнал «Химическая технология. Контроль и управления». – Ташкент, 2006. - №1. -С.81-86. (05.00.00; №12).
10. Сиддиков И.Х. Формализация критериев оптимизации координирующих подсистем многоуровневой системы управления // Журнал «Химическая технология. Контроль и управления». – Ташкент, 2007. -№6. - С.59-62. (05.00.00; №12).
11. Сиддиков И.Х., Жукова Ю. А., Измайлова Р.И. Моделирование системы интеллектуального управления процессом сушки хлопка // Журнал «Химическая технология. Контроль и управления». – Ташкент, 2008. -№6. - С.72-75. (05.00.00; №12).
12. Сиддиков И.Х., Сетметов Н.У. Многоуровневое представление процесса переработки хлопка с учетом иерархии управления // Журнал

- «Химическая технология. Контроль и управления». – Ташкент, 2008. №5.– С.54-57. (05.00.00; №12).
13. Сиддиков И.Х., Салахутдинов Р.Т. Схема синтеза управляющих воздействий в двухуровневой дискретной системе // Журнал «Химическая технология. Контроль и управления». – Ташкент, 2009. - №4. - С.66-70. (05.00.00; №12).
 14. Сиддиков И.Х. Решатель задач настройки параметров нелинейных регуляторов при управлении динамическими объектами // Журнал «Химическая технология. Контроль и управления». – Ташкент, 2009. - №1. – С.59-63. (05.00.00; №12).
 15. Сиддиков И.Х., Жукова Ю.А. Синтез нечеткого регулятора для управления динамическими объектами // Журнал «Химическая технология. Контроль и управления». – Ташкент, 2009. - №2. - С.79-82. (05.00.00; №12).
 16. Сиддиков И.Х., Салахутдинов Р.Т. Моделирование и синтез нелинейных импульсных систем // Журнал «Химическая технология. Контроль и управления». – Ташкент, 2009. - №3. - С.83-87. (05.00.00; №12).
 17. Сиддиков И.Х., Измайлова Р.Н. Локальная система интеллектуального управления динамическими объектами // Журнал «Химическая технология. Контроль и управления». – Ташкент, 2009. - №5. - С.58-61. (05.00.00; №12).
 18. Сиддиков И.Х., Халматов Д.А., Искандаров З.Э. Синтез алгоритма управления многомерной цифровой системы управления // Журнал Химическая технология. Контроль и управления, Ташкент, 2010. - №1. – С.78-81. (05.00.00; №12).
 19. Сиддиков И.Х., Измайлова Р.Н. Синтез цифрового алгоритма управления с прогнозирующей моделью // Журнал «Химическая технология. Контроль и управления». – Ташкент, 2010. - № 2. - С.72-76. (05.00.00; №12).
 20. Сиддиков И.Х., Жукова Ю.А. Особенности управления динамическими системами с хаотическими свойствами // Журнал «Химическая технология. Контроль и управления». – Ташкент, 2010. - №3. - С.71-74. (05.00.00; №12).
 21. Сиддиков И.Х., Измайлова Р.Н. Расчет настроечных параметров типовых регуляторов робастных систем управления // Журнал «Химическая технология. Контроль и управления». – Ташкент, 2011. - №5. - С.49-51. (05.00.00; №12).
 22. Сиддиков И.Х., Измайлова Р.Н., Юнусова С. Алгоритм робастного управления техническим объектом функционирующих в нечетко-определенных условиях // Журнал «Вестник ТГТУ». – Ташкент, 2011. - №3-4. - С.47-51. (05.00.00; №16).
 23. Сиддиков И.Х. Алгоритмы управления децентрализованными динамическими системами в условиях информационной

- неопределенности // Журнал «Химическая технология. Контроль и управления». – Ташкент, 2012. -№3. - С.74-77. (05.00.00; №12).
24. Сиддиков И.Х., Марахимов А.Р., Сапаев М. Мониторинг технологической безопасности промышленных объектов в условиях нечеткости исходной информации // Журнал «Химическая технология. Контроль и управления». – Ташкент, 2012. -№6. - С.58-62. (05.00.00; №12).
25. Siddikov I.H., Sherboboeva G.B. Reliability index analysis of group system multiservice network with view point of its functioning structure // TUIT bulletin, Volume 2012, Issue 3-4. – pp.41-43. (05.00.00; №10).
26. Сиддиков И.Х., Марахимов Л.Р., Измайлова Р.И., Шербобоева Г.Б. Мониторинг технологического состояния инженерной сети нефтехимического предприятия на основе метода наилучшей точности // Журнал «Химическая технология. Контроль и управления». – Ташкент, 2013. №2. - С.63-67. (05.00.00; №12).
27. Сиддиков И.Х., Марахимов А.Р., Измайлова Р.Н. Интеллектуально-аналитическая система автоматизированного мониторинга технического состояния оборудования нефтехимических предприятий // Журнал «Химическая технология. Контроль и управления». – Ташкент, 2013. -№1. - С.67-71. (05.00.00; №12).
28. Марахимов А.Р., Сиддиков И.Х., Юсупбеков А.Н., Измайлова Р.Н. Нечетко-ситуационное моделирование технологической безопасностью нефтехимических установок и комплексов // Журнал «Вестник ТГТУ». – Ташкент, 2013. -№4. - С.32-38. (05.00.00; №16).
29. Игамбердиев Х.З., Сиддиков И.Х., Измайлова Р.Н. Нейро-нечеткое управление динамическими объектами в условиях неопределенности // Журнал «Химическая технология. Контроль и управления». – Ташкент, 2013. -№ 6. - С.45-49. (05.00.00; №12).
30. Сиддиков И.Х., Марахимов А.Р., Измайлова Р.Н. Нечеткая адаптивная система управления технологическим объектом с запаздыванием // Журнал «Химическая технология. Контроль и управления». – Ташкент, 2014. -№1. - С.64-69. (05.00.00; №12).
31. Игамбердиев Х.З., Марахимов А.Р., Сиддиков И.Х. Нечетко-Ситуационное управление технологической безопасностью нефтехимических установок и комплексов // Журнал «Промышленные АСУ и контроллеры». – Москва, 2014. -№8. - С.3-7 (05.00.00; №69).
32. Yusupbekov N.R., Marahimov A.R., Siddikov I.H., Zhukova Ju.A. Fuzzy-situational model diagnostics technology industrial plant under the uncertain conditions of the initial information // International Journal of Emerging Technology And Advanced Engineering. Volume 4, Issue 9, September, 2014. – pp.741-744. (05.00.00; №14).
33. Сиддиков И.Х., Измайлова Р.Н., Хушназарова Д.Р. Синтез системы автоматического управления динамическими объектами с распределенными параметрами // Журнал «Химическая технология.

- Контроль и управления». – Ташкент, 2014. -№5. - С.57-61. (05.00.00; №12).
34. Сиддигов И.Х., Жукова Ю.А. Конструирование нейро-нечетких регуляторов для систем управления дискретными динамическими объектами // Журнал «Химическая технология. Контроль и управления». – Ташкент, 2015. -№2. - С.61-64. (05.00.00; №12).
35. Siddikov I.H. Zhukova Yu.A. Synthesis Algorithm for Optimal Control of Multidimensional Discrete Dynamic Object // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. Volume 5, Issue 1, January, 2015. – pp.474-477. (05.00.00; №14).
36. Siddikov I.H. Adaptive identification neuro-fuzzy system contrjl for nonlinear dynamic objects // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. Volume 5, Issue 4, April 2015. -pp.438-441. (05.00.00; №14).
37. Siddikov I.H, Xalmatov D.A, Izmaylova R.N, Iskandarov Z.E, Xujanazarov U.A. Synthesis of neuro fuzzy pid-regulator for controlling the pressure pipelines // Chemical technology control and management, Journal of Korea Multimedia Society, Special Issue «International Scientific and Technical Journal», 2015. - №3-4. - pp.127-131.
38. Сиддигов И.Х., Марахимов А.Р., Измайлова Р.Н. Синтез нечетко-логической системы регулирования температурным режимом химического реактора // Журнал «Вестник ТГТУ». – Ташкент, 2015. - №1. - С.33-40. (05.00.00; №16).
39. Марахимов А.Р., Игамбердиев Х.З., Юсупбеков А.Н., Сиддигов И.Х. Синтез робастной нечеткой системы автоматического регулирования температурным режимом химического реактора // Журнал «Химическая технология. Контроль и управления». – Ташкент, 2015. - №6. - С.52-59. (05.00.00; №12).
40. Нигматова Ф.У., Шомансурова М.Ш., Сиддигов И.Х. Автоматизация управления информационным потоком в швейном производстве // Журнал «Автоматизация и современные технологии». –М.:, 2016. - №5. –С.2-6. (05.00.00; №4).
41. Игамбердиев Х.З., Сиддигов И.Х. Адаптивно-нечеткая система управления динамическими объектами в условиях неопределенности информации // Журнал «Химическая технология. Контроль и управление». Ташкент, 2016. -№1.- С. 87-90. (05.00.00; №12).

II бўлим; (II часть; II part)

1. Игамбердиев Х.З., Сиддигов И.Х., Салахутдинов Р.Т. Алгоритм синтеза управляющих воздействий многоуровневыми дискретными объектами управления // Журнал «Актуальные вопросы в области технических и фундаментальных наук». – Ташкент, 2000. Выпуск 4. – С.17-19.

2. Siddikov I.H., Zhukova Yu.A., Hujanazarov U. O. Synthesis predictive control system of dynamic objects // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. Volume 6, Issue 2, February, 2016. - pp. 127-130.
3. Сиддиков И.Х., Халматов Д.А. Алгоритм адаптивного управления в микропроцессорных системах на базе симплексного планирования // Журнал «Известия ВУЗов», серия тех. наук. - Ташкент, 2000. - №3. - С.33-36.
4. Сиддиков И.Х., Марахимов А.Р. Прогнозирование поведения многомерного объекта при реализации цифрового алгоритма управления // Журнал «Известия ВУЗов», серия технических наук. - Ташкент, 2002. - №1. - С.28-31.
5. Сиддиков И.Х., Шербобоева Г.В. Синтез структуры мультисервисной сети на базе-генетических алгоритмов // Журнал «Молодой учёный». - Казань, 2013. - №10(57). - С.193-197.
6. Siddikov I.H., Sherboboeva G. Hybrid Model management of Information Messages in Muitiservice Networks // The Advanced Science Journal. Volume 2014, Issue 2. - pp.38-41.
7. Siddikov I.H., Zhukova Yu., A Synthesis of Neuro-Fuzzy controller for dynamic objects under conditions of uncertainty // The Advanced Science Journal. Volume 2014, Issue 2. - pp.33-37.
8. Сиддиков И.Х., Жукова Ю.А. Синтез адаптивно-нечеткой системы управления динамическими объектами в условиях неопределенности информации // Международный Научный Институт "Educatio", Новосибирск, Россия, Ежемесячный научный журнал № 4 (11) / 2015 ЧАСТЬ 4. - С.33-35.
9. Marahimov A.R., Siddikov I.H., Jrong-Yong Byun. A Structural synthesis of informational computer networks of automated control systems based on genetic algorithms // Computer Science and its applications, Volume 330, 2015. - pp.1055-1063.
10. Юсупбеков Н.Р., Игамбердиев Х.З., Салиев Х., Сиддиков И.Х., Салахутдинов Р.Т. Система обеспечения решения задач адаптивной идентификации, фильтрации и управления технологическими объектами // Государственное патентное ведомство РУз. Свидетельство № DGU 00302, 08.02.2000.
11. Игамбердиев Х.З., Салахутдинов Р.Т., Сиддиков И.Х. Двухуровневая схема синтеза дискретных управляющих воздействий в многоуровневых динамических системах // Государственное патентное ведомство РУз. Свидетельство № DGU 00500, 26.02.2002.
12. Игамбердиев Х.З., Сиддиков И.Х., Салахутдинов Р.Т. Структурные исследования многоуровневых иерархических систем управления динамическими объектами // Государственное патентное ведомство РУз. Свидетельство № DGU 00499, 26.02.2002.
13. Сиддиков И.Х., Халматов Д.А., Аюбджанова В.У., Венгрженевский П., Сиддиков А.И. Структурный анализ сложных динамических систем

- управления // Государственное патентное ведомство РУз. Свидетельство № DGU 00404, 03.04.2001.
14. Игамбердиев Х.З., Сиддиков И.Х., Салахутдинов Р.Т., Сапаев М. Узлуксиз технологик объектлар ва мажмуаларнинг иерархик купсатхли бошқариш тизимини анализ ва синтезлаш масалаларини ечишни алгоритмик дастурий кувватлаш тизими // Государственное патентное ведомство РУз. Свидетельство DGU № 00626, 24.04.2003.
15. Сиддиков И.Х., Аюбджанова В.У., Венгрженковский П.А. Имитационная модель многоуровневых распределенных объектов управления // Государственное патентное ведомство РУз. Свидетельство DGU № 00820, 15.07.2004.
16. Сиддиков И.Х., Халматов Д.А., Искандаров З.Э., Мусаханов А.А. Интеллектуальный интерфейс связи компьютера с технологическим объектом в реальном времени // Государственное патентное ведомство РУз. Свидетельство № DGU 0062, 16.05.2007.
17. Сиддиков И.Х., Мусаханов А.А., Измайлова Р.И., Компьютерное управление скоростью двигателя постоянного тока в неопределенности нагрузки и воздействий // Государственное патентное ведомство РУз. Свидетельство № DGU 01931, 28.04.2010.
18. Сиддиков И.Х., Мусаханов А.А., Измайлова Р.И. Двухуровневое компьютерное управление динамическими объектами в условиях неопределенности возмущений // Государственное патентное ведомство РУз. Свидетельство № DGU 01932, 28.04.2010.
19. Сиддиков И.Х., Измайлова Р.И., Мусаханов Л.А., Сетметов Н.У. Автоматизированная информационная система технологического мониторинга процесса переработки хлопка при неопределенности исходной информации // Государственное патентное ведомство РУз. Свидетельство № DGU 02285, 12.07.2011.
20. Сиддиков И.Х., Измайлова Р.Н., Алимова Г.Р., Каримов Т.А. Автоматизированная система поддержки принятия решений в задачах управления швейным производством в условиях неопределенности // Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 02284, 12.07.2011.
21. Сиддиков И.Х., Измайлова Р.Н., Хужаназаров У.О. Синтез оптимальных по быстродействию управлений для многомерных дискретных систем в параметрических неопределенностях // Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 02850, 20.11.2014.
22. Сиддиков И.Х., Измайлова Р.Н., Жукова Ю.А. Компьютерный мониторинг технологических параметров дискретно-динамических объектов в реальном времени // Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 03189, 11.06.2015.
23. Сиддиков И.Х., Измайлова Р.Н., Юнусова С.Т., Касимов Б.Ш. Интеллектуализированная система мониторинга и управления параметрами тепловых объектов в неопределенности внешних

- воздействий // Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство №DGU 03633, 28.03.2016.
- 24.Сиддигов И.Х., Игамбердиев Х.З., Якубов А.Б. Машинное представление организационной структуры многоуровневой системы управления непрерывными технологическими объектами // Актуальные вопросы в области технических и фундаментальных наук. - Ташкент, 2000. Выпуск 4. - С.28-30.
- 25.Сиддигов И.Х., Игамбердиев Х.З., Якубов А.Б. Исследование анализ структур многоуровневой системы управления структурными графами // Актуальные вопросы в области технических и фундаментальных наук. - Ташкент, 2000. Выпуск 4. - С.11-13.
- 26.Сиддигов И.Х., Измайлова Р.Н., Юнусова С.Т. Синтез алгоритмов управления асинхронными приводами // МНПК «Современные материалы, техника и технологии в машиностроении», Андижан, 2012. – С.24-26.
- 27.Сиддигов И.Х., Сапаев М. Инструментальные средства информационно-управляющих систем на базе генетических алгоритмов // МК «Актуальные проблемы развития инфокоммуникаций и информационного общества». –Ташкент, 2012. –С.437-442.
- 28.Marakhimov A.R., Igamberdiev Kh.Z., Yusupbekov A.N., Siddikov I.H. Methodology of integrated evaluation and fuzzy decision making of the processes safety of the complex industrial objects // Seventh world conference on intelligent systems for industrial automation «WCIS – 2012». –Tashkent, 2012, November 25-27. – pp.161-165.
- 29.Siddikov I.H., Sapaev M., Izmaylova R.N. Algorithms of the decentralized management of the interconnected dynamic objects in the conditions of information uncertainty // Seventh world conference on intelligent systems for industrial automation «WCIS – 2012». –Tashkent, 2012, November 25-27. – pp. 255-259.
- 30.Siddikov I.H., Iskandarov Z.E. Neuro-fuzzy automatic-control system process of the stretchings of the tape // Seventh world conference on intelligent systems for industrial automation «WCIS – 2012». –Tashkent, 2012, November 25-27. – pp.303-306.
- 31.Сиддигов И.Х., Сапаев М. Синтез локальных систем управления динамическими объектами // РНТК «Современные технологии и инновации горно-металлургической отрасли». - Навои, 2012. –С.227.
- 32.Марахимов А.Р., Сиддигов И.Х., Измайлова Р.Н. Система мониторинга технологической безопасности горно-металлургических производств // РНТК «Современные технологии и инновации горно-металлургической отрасли». Навои, 2012. –С.446.
- 33.Marakhimov A.R., Igamberdiev H.Z., Yusupbekov A.N., Siddikov I.H. Fuzzy situation analysis and control of the processes safety of the complex industrial petrochemical objects 2013 // Seventh International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System

- Analysis, Decision and Control - ICSCCW-2013, 2-3 September, 2013, Izmir, Turkey. – pp.323-328.
34. Марахимов А.Р., Сиддиков И.Х., Халматов Д.А. Автоматизированная система мониторинга технического состояния оборудования нефтегазовых предприятий // РНТК «Ишлаб чиқариш корхоналарининг долзарб муаммоларини ечишда инновацион технологияларнинг ахамияти». - Карши, 2013. –С.317-319.
35. Марахимов А.Р., Сиддиков И.Х., Измайлова Р.Н. Интеллектуальная система мониторинга технологической безопасности промышленных объектов в условиях нечеткости исходной информации // МНПК «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте», Том 3. - Коломна (Россия), 2013. –С.1199-1204.
36. Марахимов А.Р., Сиддиков И.Х., Халматов Д.А., Хужаназаров У.О. Мониторинг технологической безопасности промышленных объектов в условиях нечеткости исходной информации // МНПК «Современные техника и технологии горно-металлургической отрасли и пути их развития». - Навои, 2013. –С.459-460.
37. Марахимов А.Р., Сиддиков И.Х., Сапаев М., Шербобоева Г.Б. Мониторинг технологического состояния мультисервисной сети промышленных предприятий на основе методы наилучшей точности // МНПК «Современные техника и технологии горно-металлургической отрасли и пути их развития». - Навои, 2013. –С.501-503.
38. Сиддиков И.Х., Жукова Ю.А. Синтез системы управления электроприводом с нечетким регулятором // МНТК «Современные материалы, техника и технологии в машиностроении». - Андижан, 2014. –С.105-108.
39. Marakhimov A.R., Siddikov I.H., Sevinov J.U., Izmaylova R.N Indistinct-situation models of diagnosing of technological statuses of petrochemical complexes // Eighth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation «WCIS- 2014». - Tashkent, 2014, November, 25-27. - pp.24-27.
40. Игамбердиев Х.З., Сиддиков И.Х., Измайлова Р.Н. Робастное управление нестационарно-нелинейными объектами в условиях неопределенности // РНТК «Перспективы науки и производства химической технологии в Узбекистане». - Навои, 2014. – С.201-202.
41. Марахимов А.Р., Сиддиков И.Х., Сапаев М. Оценивание динамической надежности функционирования нефтехимических комплексов // РНТК «Перспективы науки и производства химической технологии в Узбекистане». - Навои, 2014. – С.203-204.
42. Сиддиков И.Х., Сапаев Д. О применении нечетких моделей при создании информационно-управляющих систем // РНТК «Перспективы эффективного развития информационных технологий и телекоммуникационных систем». – Навои, 2014. – С.344-347.
43. Yusupbekov A.N., Siddikov I.H., Zaripov O.O. Information-analytical intelligent system monitoring process equipment state petrochemical industries // Proceedings Eleventh International Conference on Application

- of Fuzzy Systems and Soft Computing -ICAFS-2014, September 2-3, 2014. Paris, France. - pp.105-110.
44. Сиддиқов И.Х., Сапаев Д. Проектирование информационных систем на основе нечетких моделей // РНТК «Проблемы информационных и телекоммуникационных технологий». Часть 2. –Ташкент, 2015. -С.143.
45. Сиддиқов И.Х., Алимова Г.Р. Нечёткое регулирование динамических объектов на базе ПИ-регулятора в среде MATLAB // РНТК «Фан, таълим ва ишлаб чиқариш интерациясида ахборот технологияларини қўллашнинг ҳозирги замон масалалари». 3-қисм. - Нукус, 2015. –С.413-417.
46. Siddikov I.H., Xalmatov D.A., Izmaylova R.N., Iskandarov Z. E., Xujanazarov U.A.. Synthesis of neuro fuzzy PID – regulator for controlling the pressure pipelines // The 11th International Conference on Multimedia Information Technology and Applications - MITA-2015. - pp.363-366.
47. Сиддиқов И.Х., Жукова Ю.А. Синтез адаптивно-нечеткой системы управления динамическими объектами в условиях неопределенности информации // XI МНПК «Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия», Россия, Новосибирск, Ч.4, 2015.- С.33-35.

Автореферат «ТошДТУ хабарлари» илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус, инглиз тилларидаги матнларини мослиги текширилди (30.06.2016 й.).