ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ФАН ДОКТОРИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ БЕРУВЧИ DSc.03/30.12.2019.FM.01.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

МИРЗО УЛУҒБЕК НОМИДАГИ ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ

НОРМАТОВ ИБРОҲИМАЛИ ХОЛМАМАТОВИЧ

ФУНКЦИОНАЛ ЖАДВАЛЛАР АЛГЕБРАСИ АСОСИДА МУРАККАБ ТИЗИМЛАРНИ БОШҚАРИШНИНГ АЛГОРИТМИК МОДЕЛЛАРИ

05.01.02 Тизимли таҳлил, бошқарув ва ахборотни қайта ишлаш
(физика-математика фанлари)

ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc) ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2020

УДК: 519.71

Докторлик (DSc) диссертацияси автореферати мундарижаси
Оглавление автореферата докторской (DSc) диссертации
Contents of the abstract of Doctoral (DSc) dissertation

ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ФАН ДОКТОРИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ БЕРУВЧИ DSc.03/30.12.2019.FM.01.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

МИРЗО УЛУҒБЕК НОМИДАГИ ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ

НОРМАТОВ ИБРОҲИМАЛИ ХОЛМАМАТОВИЧ

ФУНКЦИОНАЛ ЖАДВАЛЛАР АЛГЕБРАСИ АСОСИДА МУРАККАБ ТИЗИМЛАРНИ БОШҚАРИШНИНГ АЛГОРИТМИК МОДЕЛЛАРИ

05.01.02 Тизимли таҳлил, бошқарув ва ахборотни қайта ишлаш
(физика-математика фанлари)

ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc) ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2020

Фан доктори (Doctor of Science) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2020.4.DSc/FM124 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертация Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон миллий университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб саҳифасида (http://ik-fizmat.nuu.uz/) ва «ZiyoNet» ахборот таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи:	**Кабулов Анвар Василович** техника фанлари доктори, профессор
Расмий оппонентлар:	**Игамбердиев Хусан Закирович** техника фанлари доктори, профессор, академик
	Шакенов Канат Кожахметович, физика-математика фанлари доктори, профессор (Қозоғистон)
	Утеулиев Ниетбай Утеулиевич, физика-математика фанлари доктори, профессор
Етакчи ташкилот:	**Тошкент шаҳридаги Турин политехника университети**

Диссертация ҳимояси Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги DSc.03/30.12.2019.FM.01.02 рақамли Илмий кенгашнинг «____» декабр 2020 йил соат 10:00 даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100174, Тошкент ш., Олмазор тумани, Университет кўчаси, 4 уй. Тел.: (99871) 227-12-24, факс: (99871) 246-53-21, 246-02-24, e-mail: nauka@nuu.uz).

Докторлик диссертацияси билан Ўзбекистон Миллий университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (99 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100174 Тошкент шаҳар, Олмазор тумани, Университет кўчаси, 4 уй. Тел.: (99871) 246-02-24).

Диссертация автореферати 2020 йил «____» декабр куни тарқатилди.
(2020 йил 3 декабрдаги 21 рақамли реестр баённомаси.)

А.Р.Марахимов
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

З.Р.Рахмонов
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, ф.-м.ф.д., доцент

Н.А.Игнатьев
Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, ф.-м.ф.д., профессор

КИРИШ (фан доктори (DSc) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жахон миқёсида олиб борилаётган кўплаб илмий-амалий тадқиқотларнинг мухим қисми халқ хўжалигини барча тармоқлари учун ишлаб чиқарилаётган машина ва техника воситаларини алгоритмлаштириш ва автоматлаштиришга боғлиқ бўлиб, бу юқори меҳнат унумдорлиги ва замонавий талабларга жавоб берадиган сифатли махсулот ишлаб чиқаришни таъминлайди. Ахборот ва компьютер технологиялари соҳасида ишлаб чиқариш жараёнларига инновацион ишланмаларни олиб кириш мақсадида фундаментал ва амалий тадқиқотларни жадал ривожлантириш тенденцияси мавжуд. Машинасозликнинг турли соҳаларидаги тизимларни алгоритмлаштириш ва автоматлаштиришга ҳамда оптимал бошқарувнинг замонавий технологияларини ишлаб чиқаришга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Шу сабабли мураккаб тизимларни бошқарувининг алгоритмик моделларни яратиш долзарб вазифалардан ҳисобланади.

Ҳозирги кунда жаҳонда бошқарув тизимларини ривожлантириш, автоматик бошқарув жараёнларини оптималлаштириш ва такомиллаштириш ҳамда иқтисодиётнинг барча соҳаларига жорий этиш юзасидан қуйидаги йўналишлардаги илмий-тадқиқот изланишларини амалга ошириш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади: функционал жадваллар асосида мураккаб тизимларни бошқариш муаммоларини ҳал қилишда иш ўринлари комплексларини синтезлашнинг алгоритмик модели ва усулларини ишлаб чиқиш; чекли автоматлар ва бул функциялари кўринишида берилган агрегатив бошқарув мониторларини яратиш; мураккаб тизимларда қарор қабул қилиш ва лойиҳалаш жараёнини амалга ошириш учун дискрет экстремал масалаларнинг алгоритмик ечимини топиш. Юқорида келтирилган илмий-тадқиқотлар йўналишида бажарилаётган илмий изланишлар мазкур диссертация мавзусининг долзарблигини изоҳлайди.

Мамлакатимизда қабул қилинган комплекс чора-тадбирларда бошқарув тизимларини ривожлантириш, рақамлаштириш ва ташкилий чоралар ва қарорларни қўллаб-қувватлаш учун ахборот ресурсларини яратиш давлат қурилишнинг асосий йўналишларидан бири ҳисобланади. 2017-2021 йилларда Республикамизни янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегиясида, жумладан, замонавий ишлаб чиқаришни йўлга қўйиш, ишлаб чиқаришда техник ва технологик янгиланиш, транспорт-коммуникация ва ижтимоий инфратузилмадаги лойиҳаларни амалга оширишга қаратилган актив инвестиция сиёсатини олиб бориш, саноатни юқори технологияли қайта ишлаш тармоқлари бўлган маҳаллий хом-ашё ресурсларини чуқур қайта ишлаш асосида юқори сифатли қўшимча дароматга эга тайёр маҳсулот ишлаб чиқариш бўйича жадал ривожлантиришга қаратилган сифат жиҳатидан янги босқичга ўтказиш орқали янада модернизация ва диверсификация қилиш”[1] вазифалари белгиланган. Қарор ижросини таъминлаш мақсадида мураккаб тизимларни алгоритмик

[1]Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш буйича Ҳаракатлар стратегияси туғрисида»ги Фармони

бошқариш усуллари ва технологияларининг назарий асосларини ишлаб чиқиш муҳим аҳамиятга эга.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантриш бўйича харакатлар стратегияси тўғрисидаги» Фармони, 2017 йил 17 февралдаги ПҚ-2789-сон «Фанлар академияси фаолияти, илмий-тадқиқот ишларини ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштиришни янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисидаги», 2017 йил 20 апрелдаги ПҚ-2909-сон «Олий таълим тизимини янада ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги ва 2018 йил 27 апрелдаги ПҚ-3682-сон «Инновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳаларни амалиётга жорий қилиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисидаги» қарорлари, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 24 май куни Ўзбекистон миллий университетида таълим ва илм-фан соҳаси вакиллари билан бўлиб ўтган учрашувидаги маърузаси, 2019 йил 08 октябрдаги ПФ 5847-сон «Ўзбекистон Республикасининг 2030 йилгача комплекс ижтимоий-иктисодий ривожланиши концепцияси тўғрисидаги» ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа норматив-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланиши-нинг 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 шарҳи[2]. Бошқариш тизимларини ривожлантириш учун замонавий математик усулларни ишлаб чиқиш, фан, техника ва иқтисодиётнинг турли соҳаларидаги технологик жараёнлари учун автоматик бошқарув тизимларини жорий этиш бўйича илмий изланишлар жаҳоннинг етакчи олий таълим муассасалари ва илмий марказлари, жумладан, Алберт университети (Канада), Стэнфорд университети, Массачусетс технология институти (АҚШ), Кембриж университети, Оксфорд университети (Буюк Британия), Киото университети (Япония), Мелбурн университети (Австралия), Мюнхен техника университети (Германия), Тсингхуа университети (Хитой), Лозанна Федерал политехника мактаби (Швейцария), Сеул миллий университети (Корея Республикаси), Амстердам университети (Нидерланд), Пьер ва Мария Кюри номидаги университет (Франция), М.В.Ломоносов номидаги Москва давлат университети (Россия), В.М.Глушков номидаги Кибернетика институти (Украина), Ўзбекистон миллий университети, Тошкент давлат техника университети (Ўзбекистон)да олиб борилмокда.

[2] Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи қуйидаги манбалар: http://www.ds.mpg.de/en, http://www.ox.ac.uk/, http://www.bioe.neu.edu, http://www.zbit.uni-tuebingen.de/, http://neel.cnrs.fr/?lang=fr, https://www.kribb.re.kr/eng/sub02/sub02_07_03.jsp, https://www.cbcb.umd.edu/, http://www.arizona.edu/, https://mipt.ru/science/labs/laboratory_of_the_biophysics_of_excitable_systems/ ва бошқа манбалар асосида ишлаб чиқилган.

Мураккаб тизимларни бошқаришни тадқиқ этишга оид жаҳонда олиб борилган тадқиқотлар натижасида қатор илмий натижалар олинган, жумладан: мураккаб объектлар учун агрегатив бошқарув тизимларини моделлаштириш усуллари ишлаб чиқилган (Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН), бошқарув тизимларини формаллаштириш масалалари ечилган (Stanford University USA), мураккаб тизимларни ва уларнинг дастурий воситаларини бошқарув жараёнини лойиҳалаш масалаларини ечиш учун автоматлаштирилган моделлар ишлаб чиқилган (Институт кибернетики имени В.М.Глушкова), мураккаб тизимларни алгоритмик бошқарув жараёнларини математик моделлаштириш усуллари ишлаб чиқилган (Ўзбекистон миллий университети), Ўзбекистон Республикасининг турли саноат корхоналарида технологик жараёнлар автоматлаштирилган (Тошкент давлат техника университети).

Дунёда мураккаб тизимларни бошқаришнинг алгоритмик моделлари ва усулларини ишлаб чиқариш бўйича бир қатор устувор йўналишларда илмий тадқиқот ишлари олиб борилмоқда, жумладан: мураккаб тизимларнинг бошқарув объектларини дастлабки ўрганишдан бошлаб, динамик мослашувчан, адекват моделларини ва рақамли ҳисоб-китоблари учун самарали алгоритмларини ишлаб чиқиш; замонавий компьютер технологияларидан фойдаланган холда бошқарув тизимларининг барча босқичларини алгоритмлаштириш ва такомиллаштиришни; бошқарувда қарор қабул қилишлар самарадорлигини ошириш мақсадида тадқиқот объектларини тахлил қилишнинг самарали усулларни ишлаб чиқиш.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Россия Фанлар академиясининг Бошқарув муаммолари институти олимлари И.М.Макаров, Г.С.Поспелов ва Н.П.Бусленколарнинг илмий ишларида мураккаб объектлар учун агрегатив бошқарув тизимларини моделлаштириш усуллари таклиф этилган. Бошқариш тизимлари назарияси тадқиқотларини формаллаштириш масалаларига ягона ёндошув муаммолариги Америка қўшма штатларининг Стэнфорд университети олимлари Р.В.Хамминг, Р.Кнут, П.Х.Холмос ва М.Хаска томонидан ечилган. Мураккаб тизимларни ва уларнинг дастурланган ускуналарини бошқариш жараёнини лойиҳалашга имкон берадиган масалаларни хал қилишнинг автоматлаштирилган моделлари В.М.Глушков номидаги Кибернетика институти олимлари В.М.Глушков, В.С.Михалевич, В.И.Скурихин ва бошқа мутахассислар томонидан ишлаб чиқилган.

Ўзбекистонда В.Қ.Қабулов, Н.Р.Юсупбеков, Х.З.Игамбердиев, М.М.Арипов ва И.Х.Сиддиқовларнинг илмий жамоалари бошқаришда математик моделлаштиришни, алгоритмик усулларни, компьютер техникаси ва автоматизацияни ишлаб чиқдилар ва қўлладилар. Мураккаб тизимларни (МТ) алгоритмик бошқарув муаммолари академик В.Қ.Қабуловнинг фундаментал ишларида ўрганилган. Технологик жараёнларни автоматлаштириш Ўзбекистон Республикасининг турли саноат корхоналари учун академиклар Н.Р.Юсупбеков, Х.З.Игамбердиевнинг ишларида кўриб чиқилган ва хал қилинган. Профессор М.М.Ариповнинг илмий ишларида мураккаб тизимларни бошқариш жараёнларини математик моделлаштириш усуллари ишлаб чиқилган ва асосланган.

Шуни таъкидлаш керакки, кўплаб ечилмаган масалалар динамик комплекс тизимларни алгоритмик моделлаштириш каби илмий йўналиш тасаруфида қолмоқда. Мураккаб динамик тизимларни моделлаштириш учун математик усуллардан, ахборот технологиялари воситаларидан фойдаланиш, мураккаб тизимларни оқилона ва адекват тавсифлашнинг янги самарали усулларини яратиш, технологик жараёнларни оптималлаштириш, берилган чекловларни ҳисобга олган холда бошқарувда қарор кабул қилиш етарли даражада ўрганилмаган.

Диссертация мавзусини диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Ахборот-коммуникация технологиялари илмий-инновацион марказининг илмий тадқиқот ишлари режасининг: Ф4-ФА-Ф005 «Мураккаб чегарали соҳалар учун математик физиканинг кўп ўлчовли ночизиқ синф масалаларининг моделларини такомиллаштириш ҳамда ечишнинг алгоритмик усулини яратиш ва тадқиқ қилиш» (2014-2016), БВ-М-Ф4-004 «Бошқариш тизимлари назариясида алгоритмлаштириш принципларини ишлаб чиқиш» (2017-2020), № 1/18 Ф «Функционал жадваллар асосида ахборотларни химоялаш учун хавф-хатарларни аниқлаш ва бартараф қилишнинг дастурий таъминоти» (2018-2019), ОТ-Атех-2018-486” «Мантиқий бошқариш ва ахборот хавфсизлиги тизимларини дастурлаштирилган мантиқий контроллерлар ва уларни лойиҳаловчи инструментал CAD мантиқий тизими асосида амалга ошириш» (2018-2020), № ФЗ-201906117 «Орол буйи қишлоқ хўжалиги ишлаб чиқаришида экологик вазиятлар таъсирини аниқлаш мониторингини юритишнинг дастурий таъминоти» (2020-2022) мавзулардаги илмий лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади функционал жадваллар алгебраси ва математик моделлаштириш усулларидан фойдаланиб мураккаб тизимлар учун алгоритмик бошқариш моделларини яратиш ва уларни автоматлаштирилган тизимларга тадбиқ этишдан иборат.

Тадқиқот вазифалари:

функционал жадваллар ва чекли автоматлар асосида мураккаб тизимларни бошқарувчи алгоритмик моделларни яратиш методологиясини ишлаб чиқиш;

функционал жадваллар асосида мураккаб тизимларни бошқариш муаммоларини ҳал қилувчи иш ўринлари комплексларини синтезлашнинг алгоритмик модели ва усулларини ишлаб чиқиш;

чекли автоматлар ва бул функциялари кўринишида берилган агрегатив бошқарув мониторларини яратиш;

мураккаб тизимларда қарор қабул қилиш ва лойиҳалаш жараёнини амалга ошириш учун дискрет экстремал масалаларнинг алгоритмик ечимини топиш;

бир хил хотирали ўзаро тенг бўлган алгоритмларнинг барча синфлари учун мажорант бошқарув алгоритмларни мавжудлиги ҳақидаги теоремаларни исботлаш;

Шеннон масаласига асосланган уч қийматли монотон функциялар синфлари учун кодларни очиш ва максимал юқори нолларни топиш масаласини ечиш;

дискрет экстремал масалаларни алгоритмик ечимида *к*-қийматли мантиқнинг қисман аниқланган функцияларини инвариант давоми ҳақидаги теоремани исботлаш;

ўзаро боғлиқ динамик тузилишга эга бўлган объектларни бошқариш учун алгоритмик агрегатив тизимни яратиш.

Тадқиқотнинг объекти бошқариш тизимини тахлил ва синтез қилиш, бошқариш жараёнларининг қонуниятларини ва мураккаб тизимларда бошқарувни оптималлаштириш алгоритмларини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг предмети алгоритмлаштириш принциплари, усуллари ва технологиялари, бошқарув объектларини рационал ва адекват тавсифлаш усуллари, бошкарувни оптималлаштириш алгоритмларини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг усуллари. Мураккаб тизимларни ягона тавсифлаш усуллари, бошқарув мониторларини қуриш, имитацион моделлаштириш, алгебраик амаллар, Петри тармоқлари, чекли автоматлар назарияси, С.В.Яблонскийнинг бошқарув тизимлари, функционал жадваллар асосида қарор қабул қилиш усуллари қўлланилади.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

функционал жадваллар ва чекли автоматлар асосида мураккаб тизимларни бошқарувчи алгоритмик моделларни яратиш методологияси ишлаб чиқилган;

функционал жадваллар асосида мураккаб тизимларни бошқариш муаммоларини ҳал қилувчи иш ўринлари комплексларини синтезлашнинг алгоритмик модели ва усуллари ишлаб чиқилган;

чекли автоматлар ва бул функциялари кўринишида берилган агрегатив бошқарув мониторлари яратилган;

мураккаб тизимларда қарор қабул қилиш ва лойиҳалаш жараёнини амалга ошириш учун дискрет экстремал масалаларнинг алгоритмик ечими топилган;

бир хил хотирали ўзаро тенг бўлган алгоритмларнинг барча синфлари учун мажорант бошқарув алгоритмлари мавжудлиги ҳақидаги теоремалар исботланган;

Шеннон масаласига асосланган уч қийматли монотон функциялар синфлари учун кодларни очиш ва максимал юқори нолларни топиш масаласи ечилган;

дискрет экстремал масалаларни алгоритмик ечимида к-қийматли мантиқнинг қисман аниқланган функцияларини инвариант давоми ҳақидаги теорема исботланган;

ўзаро боғлиқ динамик тузилишга эга бўлган объектларни бошқариш учун алгоритмик агрегатив тизим яратилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари. Алгоритмик агрегатив тизим якка тартибдаги модулларда, бўлимларда, бутун жараён бўйича бошқаришнинг технологик мослашувчан моделларини яратишда, гуруҳ бўлиб бошқариш технологияларида ҳамда оптималлаштириш масалаларини ечишда фойдаланилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги алгоритмлаштиришнинг назарий ва амалий асосли усуллари ва динамик функционал жадвалларнинг объектларга мос келишини ҳисобга олган холда объектларни стандарт ва яхлит алгоритмик бошқаришнинг моделлаштириш масаласини қатъийлиги билан асосланган.

Тадқиқот натижаларини илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг Илмий ахамияти, ишлаб чиқилган бошқариш тизимларини технологик режимларини оптималлаштириб, тизим қурилишининг ишончлилигини оширади ва бошқа кўринишдаги бошқариш тизимларига нисбатан фарқли, мослашувчан эканлигини изоҳлаб беради.

Тадқиқот натижаларининг амалий ахамияти оптималлаштириш масалаларини ечиш усулларини топиб, цех ва бошқариш тизимидаги махсулот сифатини, ишлаб чиқариш ҳажмини оширади ҳамда хом ашё ва энергия ресурсини тежаб ходимларнинг меҳнат шароитларини яхшилайди.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.

Функционал жадваллар алгебраси ва математик моделлаштириш усулларидан фойдаланиб мураккаб тизимлар учун алгоритмик бошқариш моделларини яратиш ва уларни автоматлаштирилган тизимларга тадбиқ этиш бўйича олинган натижалар асосида:

дискрет ва экстремал масалаларнинг аниқ оптимал ечимини топиш учун ишлаб чиқилган комплекс алгоритмларидан “Тахиатош дон маҳсулотлари” акционерлик жамиятининг ишлаб чиқариш жараёнларини бошқаришда фойдаланилган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2019 йил 26 ноябрдаги 33-8/8342–сон маълумотномаси). Натижада, ишлаб чиқариш самарадорлигини 20% га ошириш имконини берган;

назорат тизимларини, мураккаб объектларни ҳамда технологик жараёнларни оптималлаштириш учун ишлаб чиқилган функционал жадвал ва автоматик бошқариш алгоритмидан “Тахиатош туман Сув хўжалиги” да сув ва энергия манбаларининг истеъмолини оптималлаштиришда фойдаланилган (Қорақалпоғистон Республикаси Сув хўжалиги вазирлигининг 2019 йил 16 сентябрдаги 01/10-3-387–сон маълумотномаси). Натижада, сув ва энергия сарфини 15% га камайтириш имконини берган;

имитацион модел ва бошқариш тизимларини ишлаб чиқиш учун яратилган автоматлаштирилган тизимидан Қорақалпоғистон Республикаси Иқтисодиёт ва саноат вазирлиги бўлимларининг фаолиятини бошқаришни оптималлаштириш ва модернизациялашда фойдаланилган (Қорақалпоғистон Республикаси Иқтисодиёт ва саноат вазирлигининг 2019 йил 25 ноябрдаги 01/1499-сон маълумотномаси). Натижада, ишлаб чиқариш самарадорлигини 15% га ошириш имкон берган;

мураккаб тизимларда бошқариш алгоритмини оптималлаштириш учун яратилган функционал жадваллар алгебрасининг назарий асослари ва универсал усулларидан Нукус туман “Фермер ва дехқон хўжалиги ҳамда уй-жой мулкдорлар кенгаши” да хом ашё ва энергия манбалари сарфини камайтиришда, шунингдек техника хафсизлигини яхшилашда фойдаланилган

(Қорақалпоғистон Республикаси Қишлоқ хўжалиги вазирлигининг 2019 йил 28 ноябрдаги 01/03-3516-сон маълумотномаси). Натижада, қишлоқ хўжалиги маҳсулотларини ишлаб чиқариш ҳажмини 15% га ошириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг аппробацияси. Диссертатция ишининг асосий натижалари 24 та халқаро ва 18 та республика миқёсидаги илмий-амалий анжуманларда муҳокама қилинган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 76 та илмий иш чоп этилган бўлиб, шу жумладан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 3 та монография, 1 та ўқув қўлланма, 22 та мақола, шу жумладан 9 таси хорижий ва 13 таси республика журналларида нашр этилган, 1 та ихтиро учун патент ва 4 та ЭҲМ учун яратилган дастурий воситаларни қайд қилиш гувоҳномалари олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан ташкил топган. Диссертациянинг умумий ҳажми 253 бетдан иборат бўлиб, ишнинг асосий матни 194 бетни ташкил этган.

ДИССЕРТАЦИЯ ИШИНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва аҳамияти асосаб берилган бўлиб, Ўзбекистон Республикаси фан ва технологияларини ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган. Ишнинг мақсад ва вазифалари, тадқиқот объекти ва передмети, унинг илмий янгилиги шакллантирилган, олинган натижаларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларнинг амалиётга тадбиқ этиш рўйхати, ишнинг синов натижалари, нашр этилган ишлар ва диссертация ишининг тузилиши ҳақидаги маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **«Мураккаб тизимларни бошқариш алгоритмлари муаммоларини тадқиқ ва тахлил қилиш»** деб номланган биринчи боби учта параграфдан иборат.

Биринчи параграфда объектларни адекват моделларни олишни олдиндан ўрганишдан бошлаб, алгоритмлаштириш жараёнларини ва бошқариш тизимларини ишлаб чиқиб, бошқариш тизимини самарали қуриш билан якунлашгача бўлган тизимли тадқиқот муаммолари кўрилган.

Иккинчи параграфда алгоритмик бошқариш моделларини яратиш учун МТларни бошқариш алгоритмининг назарий асослари, уларнинг стандарт тавсифида, илмий тадқиқотларида, ҳамда автоматлаштирилган тизимнинг тажриба конструкторлик ишлаб чиқаришларида берилган. МТларни бошқариш алгоритмини қуриш масалаларини ечиш жараёнларининг тахлили берилган. Алгоритмик ёндашув асосида объектни бошқариш масаласини ечиш жараёнининг тавсифи таклиф этилади.

Учинчи параграфда тизимли тадқиқотларни расмийлаштиришнинг алгоритмик схемасида олтита асосий $(Б_1 - Б_6)$ ва иккита ёрдамчи банк ($Б_n$-

ёрдамчи банк, $Б_0$-операцион банк) ёрдамида дастурий таъминотни яратиш таклиф этилади. Ҳар бир асосий банкда маълумот ва операцион қисмлар ва модуллар тўплами мавжуд, банкларнинг таркиби кейинги тадқиқотларда аниқланади. Қўйилган $Б_n$-ёрдамчи банк фойдаланувчи билан мулоқатни таъминлайди, унинг таркиби бюртмачининг талабларига боғлиқ. Асосий банкларнинг модуллари таркибини ҳисобга олган холда $Б_0$-операцион банкни блок-схемалар шаклида жойлаштириш мумкин.

Тизимни тадқиқ қилишнинг барча босқичларини автоматлаштириш ва бошқариш алгоритмларини қуришда алгоритмлаштириш усуллари алоҳида аҳамиятга эга. Шу нуқтаи назардан, турли хил объектларни ўрганиш жараёнини тескари алоқали кибернетик занжирга эга бўлган кетма-кет етти босқичга бўлиш мумкин.

Диссертатсиянинг **«Функционал жадваллар алгебраси асосида мураккаб тизимларни бошқаришни алгоритмик моделини ишлаб чиқиш»** деб номланган иккинчи боби, тўртта параграфдан иборат.

Биринчи параграфда функционал жадваллар (ФЖ) алгебраси асосида МТларни бошқариш алгоритмининг асосий масаласини қўйилиши баён этилган. ИЎ мураккаб тизимнинг ажралмас элементи сифатида қабул қилинади, буни тавсифлаш учун қуйидаги хусусиятлар мавжуд: координаталар, вақт оралиқлари, операциялар ва ҳолатлар.

Кўп босқичли агрегатив тизимларнинг ИЎ тўплами маълум бир t_i - вақт оралиғида бирор тармоқ орқали аниқланади. Вақт ўтиши билан ИЎнинг тармоқ ўзгариши тармоқни бошқариш функцияси $F(t)$ - кўринишида берилган. ИЎ тўпламида берилган тармокнинг бундай тавсифи тизимнинг фунционал жадвали деб аталади. Тасвирий жиҳатдан, r_i-иш ўринда t_k-вақтда амалга оширилган ҳар бир d_j-операция қуйидаги (i, j, k) уч ўлчовли координата кўринишида ифодаланади. У холда динамик функционал жадвал қуйидаги кўринишда аниқланади: ТФ$=\{P,D,I,O,A,T,\Delta,F\}$, бу ерда P - ҳолатлар тўплами, D - ўтиш операцияси, I – иш ўринларининг кириш ва O - чиқиш ҳолатлари, T – иш ўринлари тизимининг вақти ва Δ - координаталари, $F(t)$-функионал жадвалларнинг ўзгартириш функцияси.

Агар $\forall t_i \in T$ учун функция $F(t)=const$ бўлса, у холда бундай ФЖни статик (стационар) деб аталади. ФЖ ўзгаришларини белгилаб берадиган $F(t)$ функциясига агрегатив тизимнинг бошқариш функцияси ёки тизимдаги жараённи режалаштириш функцияси деб аталади.

Будай ҳолда МТлар бошкарувини алгоритмлаштириш - ихтиёрий мураккаб бошқарув тизими учун ўзининг ФЖ бўйича функтционал характеристикасини қуришга имкон берадиган алгоритмни топишдан иборат. Шу маънода алгоритмлаштириш, мохиятан ФЖ асосида МТларни бошқарув жараёнини моделлаштиришнинг универсал воситасидир. Шунингдек бошқариш агрегатини (мониторини) синтезлаш ва бошқариш операциясини амалга ошириш учун автоматлаштиришни таҳлил қилиш қилиш масаласи ҳам шакллантирилган.

Иккинчи параграфда ФЖ устида алгебраик амаллар киритилади ва ФЖ бўйича расмий операциялар учун матрица шаклидаги тегишли қоидалар аниқланади. Ҳар бир t_k вақт оралиғида ФЖ маркирлар билан белгиланган қуйидаги Петри тармоқлари кўринишида ифодаланади: $M=\{P,D,I,O,\mu\}$, бу ерда μ-белги P-холатлар тўпламини N - натурал сонлар тўпламига акслантирувчи қуйидаги $\mu:P\to N$ кўринишдаги функция. Ҳар бир μ белги қуйидаги $\mu=(\mu_1,...,\mu_n)$ вектор кўринишида ифодаланиши мумкин, бу ерда $n=|P|$ ва $\forall\mu_i\in N,\, i=\overline{1,\,n}$, μ вектор ҳар бир p_i тармоқ ҳолати учун чиплар сонини аниқлайди, яъни $\mu_i=p_i,\, i=\overline{1,n},\, \mu(p_i)=\mu_i$.

Агар t_i вақт оралиғида Петри тармоғи ўзгармаса, уни технологик давр (ТД) деб атаймиз. ТД Петри тармоғининг қисм тўпламлари бўлиб, ТД учун технологик жараённи тавсифловчи формал тил воситаси аниқланган.

Агар қуйидаги $\delta:T\to\sum$ ўтиш жойи, μ- бошланғич маркирлаш ҳамда F якуний маркирлашнинг чекли тўплами ва $L=\left\{\delta(B)\in\sum^{*}\setminus\tilde{B}\in T\right\}$ ўтиш функцияси мавжуд бўлса, у ҳолда L-тили ТДнинг L-турдаги тили деб хисобланади, яъни $\tilde{B}\left(t_{i_1},...,t_{i_k}\right)$ ва $\mu=\delta(\mu,\tilde{B})$ маркирлаш функцияси $\left(t_{i_1},...,t_{i_k}\right)$-вақтларни кетма-кет ишга тушириши натижаси ҳисобланади, бу ерда $\delta\left(\mu,\tilde{B}\right)\in F$. Биз кўраяпган холда МТлар қуйи тизимларнинг таркибий қисми ҳисобланади. Ҳар бир қуйи тизимларни ўз тилига тегишли ТД билан тасаввур қилиш мумкин. Қуйи тизимларга мос ТДни кетма-кетлиги - бу ТДнинг бир тилидан бошқа иккинчи, учинчи ва хоказо тиллари билан боғланиш комбинацияларидир.

Тилларнинг бир-бири билан конкатенацияси (боғланиши) формал кўринишда қуйидагича аникланади:

$$L_1\times L_2\times...\times L_n=\left\{x_1,x_2,...,x_n:\ x_1\in L_1,\ x_2\in L_2,...,x_n\in L_n\right\}.$$

Бундан ташқари параллел композицион амали формал кўринишда қуйидагича аникланади:

$$L_1\cup L_2\cup,...,\cup L_n=\bigcup_{i=1}^{n}L_i=\left\{x:x\in L_1 \text{ или } x\in L_2...\text{или } x\in L_n\right\}.$$

Навбатдаги амал технологик даврнинг параллел қурилиши бўлиб, қуйидагича аниқланади:

$$\alpha_1x_1\|\alpha_2x_2\|...\|\alpha_nx_n=\alpha_1\left(x_1\|\alpha_2x_2...\|...\|\alpha_nx_n\right)+...+\alpha_n\left(\alpha_1x_1\|\alpha_2x_2\|...\|x_n\|\right) \text{ и } \alpha\|\lambda=\lambda\|\alpha=\alpha.$$

Икки ва ундан ортиқ бўлган тилларнинг параллел композицияси қуйидагича аникланади:

$$L_1\|L_2\|\cdots\|L_n=\left\{x_1\|x_2\cdots\|x_n:x_1\in L_1,\quad x_2\in L_2,...,x_n\in L_n\right\}.$$

Кесишишма амали бирлашма амали каби, кесишишманинг тўпламлар назариясидаги таърифига ўхшаш бўлиб ТД тиллари учун қуйидагича аникланади:

$$L_1\cap L_2=\left\{x:x\in L_1 \text{ и } x\in L_2\right\}.$$

Бирор x-таклифни қайта тиклаш амали – бу белгилари тескари тартибда жойлашган таклифдир. Ушбу амални рекурсив равишда қуйидагича аниклаймиз:

$$\alpha^R = a,\ (\alpha x)^R = x^R a,\quad a, x \in \Sigma.$$

Ҳар бир қисм тизимни ТДга мос келадиган ўз тилида ифодалаш мумкин. ТД тиллари ихтиёрий тартибда амалга ошириладиган бирлашма, кесишишма, қайта тиклаш, параллел композиция ва боғлаш операцияларининг ихтиёрий чекли сонига нисбатан ёпиқ эканлигини кўриш қийин эмас.

Асосий тўпламдан иборат бўлган $\text{ФЖ} = \{\text{ТД}_i\}$ тизим-ТДлар тўплами ва операциялар мажмуаси, сигнатура деб аталувчи Ω тўплам, унверсал алгебра дейилади, агар Ω сигнатурга тегишли бўлган барча операциялар $\text{ФЖ} = \{\text{ТД}_i\}$ тўпламда деярли ҳамма жойида аниқланган бўлса.

Киритилган ФЖлар алгебраси кейинчалик бошқарув алгоритмларини қуришда алгебраик усуллардан фойдаланиш имкон беради, бу ерда ҳар бир ТД C^- ва C^+ матрицалар билан ифодалаш мумкин, бу ерда C^- ва C^+ матрицалар векторлар тизимининг мос равишдаги кириш ва чиқиш холатларини англатади.

Учинчи параграфда бошқариш тизимларнинг локал алгоритмлардан иборат ФЖда ИЎ комплексларининг синтезини алгритмлаш масалалари кўриб чиқилади. Бошқариш тизимлари синфида, киритилган атроф тизимлар учун «энг қулай локал алгоритм» тушунчаси ўрнатилган. Юқорида келтирилган барча алгебраик операцияларидан фойдаланиб алоҳида ИЎнинг бошқариш тизимларини ФЖини синтезлаш масаласи хал этилади.

Қуйидаги бошқариш тизимининг $\mathfrak{M}(E_0, E_1, E_2 ...)$ тармоқлар тўплами берилган бўлсин, бу ерда E_0 қутблар тўплами, $E_1, E_2, ...$ лар қисм схемалар (агрегатлар), $\sigma_\alpha \in X$-хотиралар тўпламидаги элементар қисм схемалар тўплами.

Таъриф 1. Агар $\mathfrak{M}(E_0, C_{\alpha_1}, C_{\alpha_2}, ...)$ белгилар тўплами $\left\{C_{\alpha_i} = C_{\alpha_i}^{E_i}\left(X^{\alpha_i}, Y^{\alpha_i}, Z^{\alpha_i}\right)\right\}$, $i = 1, 2, ...$ элементар қисм схемаларнинг $E_0, E_1, E_2 ...$ тўпламлари ўрнига, $\mathfrak{M}(E_0, C_{\alpha_1}, C_{\alpha_2}, ...)$ тармоқларга қўйишдан ҳосил бўлган белги бўлса, бундай белгини схема деб аталади, бу ерда C_{α_i}-лар E_i, $i = 1, 2, ...$ қисм схемалар учларига мос қўйилган элементар қисм схемаларнинг қутблари.

Қуйидаги кўринишдаги функцияни киритамиз:

$$\varphi_i^0\left(C_\gamma, \alpha_1, ..., \alpha_l, S, \sigma^*\right) = \begin{cases} (\alpha_1, .., \alpha_l), & \text{агар } \alpha_i \in \{0,1\}; \\ (\alpha_1, ..., \alpha_{i-1}, \gamma, \alpha_{i+1}, ..., \alpha_l), & \text{агар } \sigma \in M_s\left(C_\gamma\right); \\ P_i\left(C_\gamma, \sigma\right) = \gamma, & \text{агар } \gamma \in \{0,1\}; \\ (\alpha_1, ..., \alpha_{i-1}, \Delta, \alpha_{i+1}, ..., \alpha_l), & \text{агар } \exists \sigma_1, \sigma_2 \in M_s\left(C_\gamma\right) \\ P_i\left(C_\gamma, \sigma_1\right) \neq P_i\left(C_\gamma, \sigma_2\right) & \text{бажарилса} \end{cases} \quad , i = \overline{1, l}$$

ва A - алгоритм $\{P_i\}, i = \overline{1, l}$ - предикатлар тизими томонидан аниқланган бўлсин.

Аниқланиш соҳаси $\pi_s = \{A_\pi, \varphi_{1\alpha}, ..., \varphi_{i\alpha}, P_1, ..., P_l, S\}$ иборат бўлган бир хил хотирага эга π_s алгоритмлар синфи берилган бўлсин.

$\sigma=\{C_\alpha\}$ - тўплам орқали $\mathfrak{M}$ - схемалар тўпламининг қисм схемалар тўпламини ва $\{\sigma\}$ - тўплам орқали $\sigma=\{C_\alpha\}$ - қисм схемалар тўпламини белгилаймиз. $S_{k-1}(C_\alpha,\mathfrak{M})$ - ифода C_α қисм схеманинг $\sigma_f\in\{\sigma\}$ тўпламдаги $(k-1)$-тартибли бош атрофи бўлсин.

Учинчи параграфнинг асосий натижалари қуйидаги теоремалардан иборат:

Теорема 1. C_α қисм схеманинг $\{S_i(C_\alpha,\sigma_f)\}, i=\overline{1,k}$ атрофлари $\sigma_f\in\{\sigma\}$ тўпламда махсус атрофлардир.

Теорема 2. Бир хил хотирага эга локал тенг алгоритмларнинг бирор π_s-синфи учун мажорант алгоритм мавжуд.

Учинчи параграфда, юқорида қайд этилган боғлаш, бирлашма, кесишишма, қайта тиклаш, параллел композиция ва алмаштириш операцияларидан фойдаланиб, алохида ИЎдан ФЖни синтезлаш муаммосини ҳал қилиш мумкин. ИЎ комплекси қуйидагича аниқланади: $A=\{M,G_p\}$, бу ерда M-алгоритмларнинг моделлар тўплами; G_p-модел параметрларининг глобал рўйхати қуйидаги кўринишга эга: $G_p=\{X^s,Y^s,Z^s\}$, бу ерда X^s,Y^s,Z^s тизимни кириш, чиқиш ва оралиқ параметрлари.

Диссертацияда тизимда қуйидаги кўринишда қўйилган масала ечилган, яъни $\exists\varphi\left(X_1,...,X_k\xrightarrow{\varphi}Y_1,...,Y_t\right)$, бу ерда $\{X_i\}, i=\overline{1,l},\ \{Y_i\}, i=\overline{1,t}$ - тизимни кириш ва чиқиш параметрларидан иборат бўлган қисм тўпламлари.

Тўртинчи параграфда уч босқичли тизим кўринишига эга бўлган, ишлаб чиқариш жараёнини бошқариш ва лойиҳалаштириш (режалаштириш)ни амалга оширувчи функциядан иборат, ФЖ алгебрасига асосланган, алгоритмик бошқариш модели берилган. МТларни бошқариш модели қуйидагича: $R:D$ кўринишидаги муносабат, қуйидаги $R:D:O$ кўринишдаги кенгайтирилган муносабатни ажралмас бир қисми бўлиб, бу ерда R-ИЎ тўплами, D-динамик ФЖни қуриш натижасида ҳосил бўлган эхтиёт қисмлар тўплами. Барча муносабатларни транзитивлигидан ФЖ учун қуйидаги муносабатни қуриши мумкин: $R:D\to D:O\to O:U$, бу ерда $U=\{\text{БД}\}$ бошқариш дастури. Натижада, $R:U$ кўринишидаги кетма-кет ўзгартириш бошқаришнинг юқори даражасида амалга оширилади, ишлаб чиқариш жараёнини режалаштиришда $R:D$ шаклки ФЖ олинади, $D:O$ ва $O:U$ кўринишидаги стационар ФЖлар эса ишлаб чиқаришнинг технологик тайёргарлик алгоритмлари натижалари асосида олинади. ФЖни ечимнинг мавжудлиги қуйидаги матрица кўринишдаги иккита тенгламани ечимига боғлиқ: $\overline{Y}_1=Y_0+A\overline{x},\ A\overline{W}=0$. Бу тенгламани таҳлил қилиш асосида, A матрица кўринишида берилган ФЖ учун фундаментал ечимларнинг мавжудлиги аниқланади. A матрицаси A^+ ва A^- матрицаларидан олиниб, ФЖни ифодалаб, улар билан $A=A^- - A^+$ муносабатда боғланган. W векторлар тизимини топиш деганда векторлардан бирининг белгиси остида ФЖни сақлашни англатади. Бу ерда Y_0-вектор сифатида ФЖни бошланғич ҳолати кўрилади, x-бажарилган операциялар вектори, A-ФЖ тақдим этган матрица шакли, $\overline{Y}_1$-ФЖнинг якуний ҳолати. Тенгламалар ечимлари Ю.И.Журавлёвнинг алгоритмларига асослаиб, ФЖ ўтказувчалиги бўйича чекловларни аниқлашда нормалаштиришни амалга оширамиз, ФЖдаги материал оқимни аниқлайдиган, позицияларнинг юқори ва қуйи чегараларини ҳисоблаймиз: t_k, $a_{ij} \le x_{ij} \le t_k$, бу ерда x_{ij} вектор t_k-вақт оралиғидаги нормал холатдаги қиймати; a_{ij}-қиймат ФЖдаги j-чи операциялари учун i-холати.

Тармоқ моделида ўзгартириш қуйидагича амалга оширилади:

$$F(X) = \sum_{k=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left[\left(c_{2j}^{k} - c_{1j}^{k}\right)x_{2j}^{k} + c_{1j}^{k}b_{j}^{k}\right] \to \min,$$

бу ерда c_{2j}^{k} - j-чи тугун учун k-чи маҳсулотга бўлган талабнинг нархи, c_{1j}^{k} - j-чи тугуннинг k-чи маҳсулотига таклиф нархи, x_{ij}^{k} - i-чи тугундан j-чи тугунга ўтувчи k-чи маҳсулот оқими, b_{j}^{k} - k-чи маҳсулоти учун қуйидаги шартлардаги j чи тугунга бўлган талаб

$$\sum_{k=1}^{m} x_{2j}^{k} + S_{1j} = U_{2j},\ \sum_{j=1}^{n} x_{1j}^{k} = -a_{2}^{k},\ \sum_{j=1}^{n}\left(U_{2j} - S_{2j}\right) = \sum_{j=1}^{m} a_{2}^{k},\ \ j, k = \overline{1, n},$$

бу ерда a_{2}^{k} - k-чи маҳсулоти учун j-чи тугунга таклиф,

$$\sum_{i=1}^{2} X_{ij}^{k} = b_{j}^{k},\ X_{2j} \le X_{ij}^{k},$$

$$\sum_{i=1}^{2}\left(U_{ij} - S_{ij}\right) = \sum_{k=1}^{m} b_{j}^{k} \ \text{ ёки } \ S_{2j} \le \sum_{i=1}^{2} U_{ij} - \sum_{k=1}^{m} b_{j}^{k},\ \ X_{ij}^{k}, S_{ij} \ge 0,\ j = \overline{1, n},\ k = \overline{1, \infty}.$$

Ушбу тармоқ моделининг ечими максимал оқим масаласи ёки мажоратли локал алгоритмини ечиш усуллари орқали олиниши мумкин. Шундай қилиб, $R\!:\!D$ ва $R\!:\!O$ муносабатли ФЖлар дастурланган ускиналарни бошқариш учун зарур бўлган дастлабки технологик маълумотни беради. Локал бошқариш даражасида $R\!:\!U$ кўринишда бўлган динамик ФЖ лар, $R\!:\!U$ кўринишга эга бўлган ФЖ стационар томонидан белгиланган тартибда бошқариш мониторларига юкланади. Қайта ишлаш операцияларини бажарилишини назорат қилиш $R\!:\!O$ кўринишга эга бўлган стационар ФЖда амалга оширилади.

Диссертациянинг **«Мураккаб ишлаб чиқариш тизимларида жараёнларни оптималлаштириш учун дискрет экстремал масалаларни ечиш»** деб номланган учинчи бобида МТлар учун дискрет математик усуллар ва уларни математик кибернетика ва бошкарув тизимлар назариясидаги амалий масалаларни ечиш усуллари келтирилган. Дискрет экстремал масалаларнинг алохида синфларини аниқ оптимал ечимини топиш алгоритмлар тадқиқ этилган. Экстремал масалаларнинг тақрибий ечимини олиш имконини берадиган алгоритмларни қуриш услублари тахлил қилинган. Дискрет экстремал масалаларни ечишда маълум алгоритмларнинг аксарияти тўлиқ танлаб олиш ғоясига асосланганлиги исботланган. Алгоритмларни ишлаб чиқишда кодларни очиш ва монотон Бул функцияларини максимал юқориноллари (м.ю.н.) ни топиш процедураларидан фойдаланилган.

Шунингдек, ушбу бобда дискрет монотон функциялар (д.м.ф.)нинг м.ю.н.ини топиш ва кодни очиш масаласи келтирилган. Кодни очиш ва ечим топиш масалаларини хал қилиш учун уч қийматли монотон функцияларнинг алохида синфларининг м.ю.н.ини қидириш масалалари ечимининг баҳолаш келтирилган.

Биринчи параграфда д.м.ф.нинг м.ю.н.ини топиш босқичлари, технологик модулларнинг бошқариш ва мантиқий бошқариш тизимларини оптимал синтезлаш жараёнида МТларни лойиҳалаш ва бошқариш учун фойдаланиладиган д.м.ф.нинг м.ю.н.ни кодни очиш ва қидириш ёрдамида масалаларни ечиш усуллари берилган.

$S^n=\left\{\tilde{\alpha}=\left(\alpha_1,...,\alpha_n\right):\alpha_i\in S=\left\{0,1,2\right\}\right\}$ тўпламда $0<1,\ 0<2$ тартиб қисман тартибни келтириб чиқаради, яъни агар $0<1,\ 0<2$ тартиб бўйича $\beta_i\le\gamma_i$, $i=\overline{1,n}$ бўлса, $\tilde{\beta}=(\beta_1,..,\beta_n)\le\tilde{\gamma}=(\gamma_1,..,\gamma_n)$ ўринли.

S^n тўпламни тузилишини кўриб чиқамиз. Агар $\tilde{\alpha}_{i_1}\le...\le\tilde{\alpha}_{i_k}$, $\tilde{\alpha}_{i_j}\in U_{i_j}$, $i=\overline{0,k},\ \left(1\le k\le n+1\right)$ бўлса, $\left\{\tilde{\alpha}_{i_1},...,\tilde{\alpha}_{i_k}\right\}$ тўплам S^nда занжир деб айтамиз.

S^n да берилган ва S тўпламдаги қийматларни қабул қилувчи қуйидаги $f\left(x_1,...,x_n\right)$ функцияни кўриб чиқамиз. Агар $\forall\tilde{\alpha},\tilde{\beta}\in S^n$, $\tilde{\alpha}_i\le\tilde{\beta}_j$ учун $f\left(\tilde{\alpha}_i\right)\le f\left(\tilde{\beta}_j\right)$ тенгсизлик ўринли бўлса, $f\left(x_1,...,x_n\right)$ функция $\le$ тартибга нисбатан монотон дейилади.

M_n орқали n та ўзгаручили, S^n тўпламда аниқланган барча монотон функцияларни белгилаймиз. $0<1,\ 0<2$ тартибга нисбатан монотон бўлган барча функциялар мажмуасига σ синф дейилади.

Агар $f(\tilde{\alpha})=0\ \left(f(\tilde{\alpha})\neq0\right)$ ва $\forall\tilde{\beta}\in M^n$ учун $\tilde{\alpha}\le\tilde{\beta}\ \left(\tilde{\alpha}\ge\tilde{\beta}\right)$ бўлса, $\tilde{\alpha}\in\tilde{M}$ тўплам, $f\in M_n$ функциянинг юқори ноли (пастки бирлиги) деб аталади, натижада $f(\tilde{\alpha})\neq0\ \left(f(\tilde{\alpha})=0\right)$ ўринли бўлади. Агар f функциянинг ихтиёрий юқори ноли (пастки бирлиги) бўлган $\tilde{\beta}$ учун $\left|\tilde{\beta}\right|<\left|\tilde{\alpha}\right|$ ($\left|\tilde{\beta}\right|>\left|\tilde{\alpha}\right|$) тенгсизлик бажарилса, $f\in M_n$ функциянинг юқори ноли (пастки бирлиги) бўлган $\tilde{\alpha}$ f функциянинг м.ю.н.и (пастки бирлиги) деб аталади.

Монотон функцияларни кодини очиш масаласи. Агар бирор (бизга маълум) монотон $f\in M_n$ функция A_f операторда берилган бўлса, у холда $f\left(x_1,...,x_n\right)$ монотон функцияни тўлиқ тиклайдиган A_f оператордан минимал миқдорда фойдаланилади, яъни. $f\left(x_1,...,x_n\right)$ функция $\tilde{M}$-монотон функциялар тўпламининг барча нуқталарда аниқланган.

Монотон функцияларни м.ю.н.ни топиш масаласи. Агар бирор монотон $f\in M_n$ функция A_f операторда берилган бўлса, у холда A_f оператордан минимал миқдорда фойдаланиб $f\left(x_1,...,x_n\right)$ функцияни камида битта м.ю.н.

топилсин. Равшанки, шунга ўхшаш масала A_f оператордан минимал миқдорда фойдаланиб $f(x_1,...,x_n)$ функцияни минимал қуйи бирлигини топишдан иборат.

Кодни очиш масаласини ечиш имконини берадиган қуйидаги $\{F\}$-алгоритмлар тўпламини кўриб чиқамиз, яъни $\{F\}$ алгоритмлар тўплами A_f операторлар ёрдамида ихтиёрий $f \in M_n$ функциялар учун $f(x_1,...,x_n)$ функциянинг қийматлар жадвалини тўлиқ тиклайди.

Қуйидаги $\varphi(F, f)$ функция F алгоритмдан фойдаланиб, $f(x_1,...,x_n)$ монотон функциянинг жадваллар қийматини етарлича тиклаш мақсадида A_f операторга жорий этилган бўлсин. $\varphi(F,n)=\max\varphi(F, f)$ ва $\varphi(n)=\min\varphi(F,n)$ функцияларни кўриб чиқамиз, бу ерда $\varphi(n)$-қўйилган масалани ечиш алгоритмдан фойдаланиб, $f(x_1,...,x_n)$ монотон функциянинг жадваллар қийматини етарлича тиклаш мақсадида A_f операторга минимал миқдорда жорий этиш функцияси. $\varphi(n)$-функция Шеннон функцияси деб аталади. $\{B\}$-тўплам A_f оператор ёрдамида ихтиёрий $f \in M_n$ функцияни м.ю.н. топиш алгоритмлар тўплами бўлсин. $f \in M_n$ функцияни етарлича м.ю.н.ни топиш учун A_f операторга жорий этиладиган $\mu(B, f)$ функцияни киритамиз. $\mu(n)=\min\limits_{B\in\{B\}}\max\limits_{f\in\{M_n\}}\mu(B, f)$-функция м.ю.н.ни топиш масаласи учун Шеннон функцияси деб аталади.

Лемма 1. $q=[(2n-1)/3]$ берилган бўлсин. Агар $2n-1=3m$, бу ерда m бутун сон бўлса, у холда S^n да даража бўйича U_q ва U_{q+1} иккита максимал тўпламлар мавжуд. Қолган холларда, U_q-ягона максимал даражага эга.

Лемма 2. S^n тўпламни $C_n^q 2^n$ занжир кўринишида ифодалаш мумкин, бу ерда $q=[(2n-1)/3]+1$ га тенг.

2 леммада қурилган занжирлар $Г$ занжирлари деб атаймиз. Айтайлик, σ синфни ихтиёрий $f(x_1,...,x_n)$ функцияси учун ихтиёрий F алгоритми A_f операторидан фойдаланиб, f функцияни қийматлар жадвалини тўлиқ тиклайди. $\varphi(n)=\min\varphi(F,n)$ сонни баҳолаймиз.

Теорема 3. σ синфдаги $f(x_1,...,x_n)$ функцияни қийматлар жадвалини тиклаш учун етарли бўлган A_f операторга жорий этилган $\varphi(n)$ минимал сон, қуйидаги баҳони қаноатлантиради:

$$\sum_{i=0}^{1} C_n^{q+i} 2^{q+i} \le \varphi(n) \le \sqrt{\frac{3^{2n}}{\pi n}\left(\frac{2}{2\sqrt[3]{2}-1}\right)^3}\left(1+\varepsilon(n)\right), \text{ бу ерда } q=[(2n-1)/3]+1,\ \varphi(n)=O\left(\frac{3^n}{\sqrt{n}}\right) -$$

Шеннон функцияси, A_f - оператор $f(x_1,...,x_n)$ функцияни қийматлар жадвалини тикловчи оператор, σ - синф $0<1,\ 0<2$ тартибга нисбатан барча монатон функциялар мажмуаси.

Қуйидаги $S \in \{S\}$ объектни барча F экстремумлари (глобал экстремумлари) функционалини топишни $Z_s \in \{Z_s\}$, $(Z_s' \in \{Z_s'\})$ дискрет масаласини кўриб чиқамиз. Равшанки, бу ерда $\{Z_s\},(\{Z'_s\})$ тўплам $\{S\}$ мажмуага бир қийматли мос келади. Масалан, агар S тўплам k-қийматли мантиқнинг кисман аникланган $F(x_1,...,x_n)$ функцияси бўлса, у холда $Z_F \in\{Z_F\},(Z'_F \in\{Z'_F\})$ масала n-ўзгарувчига боғлиқ бўлган k-қийматли мантиқнинг қисман аникланган барча функциялар тўплами $F(x_1,...,x_n)\in\{F_n\}$, бу ерда $\{F_n\}$ учун барча ўзгарувчилар (минимал тўплам) тўпламларини қидириш масаласи сифатида шакллантирилган.

Айтайлик берилган $\tilde{M}$ чекли тузилмада $\varphi(y_1,...,y_n)\in M,$-монотон функция S объектга мос келсин. Бу ерда φ_s функциянинг юқори ноллари S объектнинг F функционал экстремумига мос келади.

Фараз қилайлик, Z_s масала φ_s ни кодни очиш ва м.ю.н.ни кидириш Z'_S масаласига мос келсин. Агар $\forall f\in M_n$ функция учун $\exists M_n\in\{Z_s\}$ топилиб, $\varphi_s=f$ тенглик бажарилса, $\{Z_s\}$ кодни очиш масаласининг тўлиқ киритилган тўплам деб айтилади. $\{f_{\tilde{\alpha}}\}$ орқали M_n тўпламдан олинган барча монотон функциялар (синфи) тўпламини белгилаймиз, бу ерда $\tilde{\alpha}\in M$ монотон функциянинг м.ю.н. Агар $\varphi_s=\{f_{\tilde{\alpha}}\}$ бўлса, у холда Z'_s масала $\{f_{\tilde{\alpha}}\}$ синфга мос келади деб айтамиз. $\forall\tilde{\alpha}\in M_n$ учун $\exists Z'_s$ масаласи топилиб $\varphi_s=\{f_{\tilde{\alpha}}\}$ бўлса, у холда M_n тўпламда м.ю.н.ни қидириш $\{Z'_s\}$ масаласининг тўлиқ маълумот деб айтамиз. Акс холда, маълумотлар тўлиқ эмас деб хисобланади.

Теорема 4. Агар M_n тўпламда кодни очиш масаласи учун $\{Z_s\}$ тўпламни тўлиқ маълумоти мавжуд бўлса, у холда $\{Z'_s\}$ тўпламни M_n тўпламдаги функциянинг м.ю.н.ни топиш маълумоти тўлиқ бўлади.

Қуйидаги функция $f(x_1,...,x_n)$ Бул функцияси бўлсин, $\{Z_f\}$-масаласи $f(x)$ Бул функцияси учун Z масалани қисқартирилган дизъюнктив нормал шакл (д.н.ш.) ини қуриш масалалари синфи бўлсин. $f(x_1,...,x_n)$ функцияга мос келадиган $g(y_1,...,y_n)\in S^n$ монотон функцияни кўриб чиқамиз.

Теорема 5. Кодни очиш масаласига қадар барча $f(x)$ Бул функциялари учун қисқартирилган д.н.ш.ларни қуришнинг $\{Z\}$ аралаш синфи тўлик эмас.

$F(x_1,...,x_n)$ функция k-қийматли мантиқнинг ҳамма жойда аниқланмаган функцияси, Z'_f масала F тўпламда аниқланган ўзгарувчиларни минимал тўпламини топиш масаласи ва φ_F функция F тўпламга мос келувчи монотон Бул функцияси (м.б.ф.) бўлсин. Айтайлик, $\alpha_{i_1},...,\alpha_{i_k}$-лар $(\alpha_1,...,\alpha_n)\in E_n^2$ тўпламнинг нулдан иборат координатлари бўлсин. Фараз қилайлик φ_T функция қуйидаги кўринишда эга бўлсин:

$$\varphi_T=\begin{cases}0, \text{ агар } \{x_{i_1},...,x_{i_k}\}\in\{T\}\\ 1 \qquad \text{акс холда.}\end{cases}$$

Теорема 6. Шаннон $\mu(n)$ функцияси учун $\{\varphi_F\}_n$ барча монотон φ_F Бул функциялар синфда минимал юқори нолларни қидиришда $F \in \{F\}_n$ тўпламга мос $\mu(n) = C_n^{[n/2]+1}$ тенглик ўринли.

Теорема 7. Z'_T минимал синов жадвалларини топишдан иборат $\{T\}$га мос $\{Z'_T\}$даги тўплам бўлсин. Фараз қилайлик φ_T- Tга мос м.б.ф. бўлсин. M_n тўпламда функциянинг минимал юқори нолларини топишга қадар $\{Z'_T\}$- минимал синов жадвалини топиш тўлиқ эмас.

Теорема 8. Z'_T масала қуйидаги $E = \|\alpha_{ij}\|_{\min}$ матрица устунларини сатрлар бўйича минимал қопламасини топишдан иборат ва φ_T-функция Z'_T мос келучи м.б.ф. бўлсин. M_n тўпламда функциянинг минимал юқори нолларини топишга қадар $\{Z'_T\}$ ни $E = \|\alpha_{ij}\|_{\min}$ сатирли матрица устунларини минимал қопловни топиш тўлик бўлади.

Теорема 9. $\mathfrak{M} = \{f_1,..., f_m\}$ - тўплам $f_i(x_1,...,x_n), i = \overline{1, m}$ мантиқ алгебрасини фукциялар тизими ва Z'_m масала $\mathfrak{M}$ фукциялар тизими ва $\mathfrak{M}$ фукциялар тизимига мос φ_m м.б.ф. учун мухим бўлган минимал ўзгарувчилар тўпламини топишдан иборат бўлсин. M_n тўпламда функциянинг минимал юқори нолларини топишга қадар Z'_m ни $\mathfrak{M}$ учун зарур бўлган ўзгаручиларни минимал мажмуасини топиш тўлиқ бўлади.

Теорема 10. $f_c = \bigvee_{j=1}^{m} \mathfrak{A}_j$ функция, $f_c(x_1,...,x_n), i = \overline{1, m}$ Бул функциянинг қисқартирилган д.н.ш. бўлсин. Z'_f масала f функциянинг қисқартирилган д.н.ш.ни қуришдан иборат ва φ_f функция M_n тўпламни $f_c(x_1,...,x_n), i = \overline{1, m}$ функцияга мос монотон функцияси бўлсин. M_n тўпламда функциянинг минимал юқори нолларини топишга қадар $\{Z'_f\}$ни энг қисқа д.н.ш.ларини қуриш тўлик эмас.

Теорема 11. $\mathfrak{M}$- тизим m- тенгсизликлар тизимидан олинган бўлиб, Z'_m- тўплам $\mathfrak{M}$-тизимнинг максимал қўшма қисим тизимини топиш масаласидан иборат бўлсин. Айтайлик φ_m функция, мантиқ алгебрасининг $m, \varphi_m \in M_n$ га мос келадиган монотон функцияси бўлсин. M_n тўпламда функциянинг минимал юқори нолларини қидирга қадар Z'_m ни $\mathfrak{M}$ тизимнинг максимал қўшма қисм тизимини қидириш тўлиқ бўлади.

Теорема 12. $K = \{x_{i_1}, x_{i_2}, ..., x_{i_{k_j}}\}$ тўплам $\bigvee_{j=1}^{q}\left(x_{i_1} \vee x_{i_2} \vee ... \vee x_{i_{k_j}}\right) = 1$ тенгламани мулохазаларининг қўшилувчилари бўлсин. У ҳолда K тўплам қуйидаги

K_j / S_i	x_1	x_2	⋯ ⋯	x_n
S_1	α_{11}	α_{12}	⋯ ⋯	α_{1n}
S_2	α_{21}	α_{11}	⋯ ⋯	α_{2n}
⋮	⋮	⋮	⋯ ⋯	⋮
S_m	α_{m1}	α_{m2}	⋯ ⋯	α_{mn}

берк тест жадвалини ҳосил қилади, бу ерда K тўпламнинг қўшилувчилари сони барча берк синовлар сонига тенг.

Иккинчи параграфда минимал синовларни, жадваллар тесторларини, k-қийматли мантиқни ҳамма жойда аниқланмаган мухим функциялар тўпламини ва бинар жадваллар қопламаларининг қисман Бул функциялар тизимларини, Бул функцияларни қисқа д.н.ш.ларини ва Бул тенгламалар тизимларининг максимал қўшма қисм тизимларини синтезлаш масалалари ечилган бўлиб, шу мақсадда махсус масалаларни топишда фойдаланиладиган м.б.ф.ларни м.ю.н.ни топиш алгоритмлари қўлланилади.

Инвариантлик принципи бўйича функцияни давом эттириш. Ю.И.Журавлёвнинг ишидан маълумки, функцияни д.н.ш.нинг формулалари ёрдамида двом эттиришда, унинг қийматлари қандай белгилар билан кодланганлигига қараб кодланади. Шундай қилиб, агар $E_k = \{0,1,...,k-1\}$ тўпламда π ўзгартириш бажарилган бўлса, у холда янги кодлаш ёрдамида тузилган F_1^1 функцияни аввалги F' функциядан π ўзгартириш орқали олиб бўлмайди. Шу билан бирга, панжара учларининг E_n^k қисм тўпламлари мавжудки, уларнинг давоми қабул қилинган кодлашга боғлик эмас. Ушбу F_1' қийматларни қисм тўпламнинг элементларида F' га π ўзгартиришни қўллаймиз. Ушбу хоссага эга бўлган $\hat{M}$ қисм тўплам умуман олганда корректорни давоми бўлган $\tilde{M}_F$, қисм тўпламни кенгайтмаси бўлади. Агар $\{P_j^A(S)\}, i=\overline{1,n}$ тўпламни $\hat{M}$ тўпламга тушиб қолишида занжир корректорининг ишончлилиги даражаси жуда юкори деб ҳисоблаш мумкин. $\hat{M}$ тўпламни самарали равишда қуриш ва тадқиқ қилиш диссертацияда амалга оширилади. $M \subseteq E_n^k$ тўпламда аниқланган $F(x_1,x_2,...,x_n)$ кўп қийматли мантиқ функциясини кўриб чиқамиз: $F(\tilde{x}) = \gamma_j$, агар $\tilde{x} \in M_j$, $\left(j=\overline{0,k-1}\right)$, $M = \bigcup_{i=0}^{m} M_i$ ва $M_i \cap M_j = \varnothing$, $i \neq j$ бўлса. $\{\pi\}$ орқали барча $\pi = \{i_l\}_{l=0}^{k-1}$ ўзгартиришлар тўпламини белгилаймиз. $F_\pi(\tilde{x}) = i_j$, $\tilde{x} \in M_j, \left(j=\overline{0,k-1}\right)$ функция $F(\tilde{x})$ функцияни π ўзгартириши деб атаймиз. Агар $\mathfrak{N}_{\Sigma TF}(\tilde{\alpha}) = j$ ва $\mathfrak{N}_{\Sigma TF_\pi}(\tilde{\alpha}) = i_j$ ўринли бўлса, қуйидаги $\tilde{\alpha} \in E_n^k \setminus \mathrm{M}$ нукта π ўзгартиришга нисбатан $M_j \subseteq M$, $j=\overline{0,k-1}$ тўпламни кодлашни сақлайди деб фараз қиламиз. Агар $\tilde{\alpha} \in E_n^k \setminus \mathrm{M}$ нуқта итиёрий $\pi \in \{\pi\}$ ўзгаришга нисбатан M_j тўпламда кодланишни сақлаб қолса, бундай $\tilde{\alpha}$ нуқтага M_j тўпламни кодлашни сақлайдиган нукта деб айтамиз.

Теорема 13. Қуйидаги $\mathfrak{M} = \bigvee_{\pi:\pi\in(\pi)} \mathfrak{N}_{\Sigma\mathrm{TF}_\pi}$ берилган бўлсин. $\tilde{\alpha} \in E_n^k \setminus \bigcup_{i=0}^{k-1} M_i$ нуқта M_j тўплам кодини сақлаб қолади, фақат ва фақат шундай холдаки, қачонки $\mathfrak{M}$ д.н.ш.да $\exists\mathfrak{A}$ элементар конъюнкция (э.к.) топилиб, қуйидаги $N_{\mathfrak{A}} \bigcap M_j \neq \varnothing,\ \tilde{\alpha} \in N_{\mathfrak{A}}$ ва $N_{\mathfrak{A}} \bigcap M_i = \varnothing,\ (i \neq j),\ i = 0,...,j-1, j+1,...,k-1,$ муносабат ҳар бир $N_{\mathfrak{A}}$ оралиқлар учун бажарилса, бу ерда э.к. $\mathfrak{A} \subset \mathfrak{M},\ \mathfrak{A} \bigcap M_i \neq \varnothing,\ (i \neq j),$ M_j тўпламни ўз ичига олади.

Учинчи параграфда, мантиқий ажратиш функцияларини минималлаштириш масалаларини ечишда уч кийматли мантиқнинг монотон функцияларини кодини очиш усуллари тавсифланган, э.к.ни ўнлик саноқ тизимдаги рақамлар жуфтлиги билан кодлаш усуллари келтирилган ва мантиқий ифодаларни э.к. кодлари орқали айлантириш мезонлари берилган, мавжуд усулларнинг мураккабликлари ва Бул функцияларини минималлаштиришнинг тақрибий алгоритмлари аниқланган.

Монотон Бул функциянинг м.ю.н.ни қидиришга асосланган, Бул функциялар тизимининг ўз аро минималлаштириш масаласи ечилган, д.м.ф.ни м.ю.н.ни қидириш ва кодларни очиш усулларга эга дискрет экстремал масалаларни ечишни алгоритмик схемаси берилган, алгоритмининг параметрлари ҳисобланади, дискрет экстремал масалаларнинг айрим синфларини ечиш учун монотон Бул функцияларини м.ю.н.ни қидириш алгоритмини праметрлари ҳисобланади.

Д.н.ш. назариясида функция ва д.н.ш.ларнинг метрик (микдорий) баҳолашларни мураккаблиги ва улар асосида олинган минималлаштириш самарадорлиги муҳим рол ўйнайди.

Қуйидаги $f(x_1,...,x_n)$ Бул ва $F(x_1,...,x_n)$ қисман Бул функцияларини кўриб чиқамиз. Аввалом бор, n ўзгарувчилардан иборат барча $f(x_1,...,x_n)\left(F(x_1,\ldots,x_n)\right)$ Бул функциялари тўпламини $P^n\ \left(\tilde{P}^n\right)$ орқали белгилаймиз. $l_c'(f), l_{kp}(f), l_T(f)$-функциялар мос равишда қисқартирилган, энг қисқа, энг узун д.н.ш.ни f берк функциялари, $l_m(f)$-минимал д.н.ш.нинг мураккаб f-функцияларининг э.к.лар сон, $t(f)$ эса берк д.н.ш.лар сони, $f(\tilde{x}),\ N = | N_f |,\ S(f)$-биринчи тартиб интерваллар атрофидаги э.к.лар сони, N_f', l_f-эса $\tilde{\alpha} \in N_f, \prod_{\mathfrak{A}}^{(f)} = \sum_{j=1}^{l} r_{i_j} - r$ нуқта орқали ўтувчи, (P-ўлчовли) $N_f,\ l_{\tilde{\alpha}}(f)\left(l_{\tilde{\alpha}}^p(f)\right)$ оралиқлардаги максимал оралиқлар қуввати бўлсин, бу ерда $r\ r_{i_1},\ldots,r_{i_l}$-лар қисқартирилган $D^c(f)$ д.н.ш.даги биринчи тартибли э.к. атрофидан олинган $\left\{\mathfrak{A}_{i_k}\right\},\ k = \overline{1,l}$ э.к.лар ранги бўлсин. Айтайлик, $C_f(A)$ - функция д.н.ш.ни максимал узунликларига бўлган $f,\ \Upsilon_f(A)\ \left(R_f(A)\right)$ муносабатларни минималлаштиришда A алгоритмни f функцияни д.н.ш.нинг энг қисқа (минимал) узунлигига қўллаш натижасидаги A алгоритмнинг мураккаблиги бўлсин. $l_c(n),\ I_{kp}(n),\ I_T(n),\ I_M(n),\ C(A),\ \Upsilon_n(A),$

$R_n(A)$ функциялар эса юқорида киритилган параметрлар учун Шеннон функциялари бўлсин. Барча параметрлар шунга ўхшаш тарзда киритилган, шунингдек $F \in \tilde{P}^n$ тўплам учун ҳам. $C_f(A)$ функцияларни ва $f \in P^n$ функцияни $\Upsilon_f(A)$ функиясига бўлган муносабатини мураккаблиги текширамиз.

Қуйидаги $S(f),\ \prod,\ l_{\tilde{\alpha}}$ функциялар учун баҳолашларни кўриб чиқамиз.

Теорема 14. $N_{\mathfrak{A}}\ \left(N_{\mathfrak{A}'}\right)$ тўпламлар мос равишда $\tilde{\alpha},\tilde{\beta}\ \left(\tilde{\alpha}',\tilde{\beta}'\right)$ рақамлар тўпламининг $\tilde{\alpha},\tilde{\beta}\ \left(\tilde{\alpha}',\tilde{\beta}'\right)$ ва $A,B\ \left(A',B'\right)$ тўпламларига тортиш $\mathfrak{A}\ \left(\mathfrak{A}'\right)$ конъюнкцияларининг k-ўлчовли оралиғи бўлсин. Агар $|\tilde{\alpha}| = |\tilde{\alpha}'| - 1,\ |\tilde{\beta}| = |\tilde{\beta}| - 1,$ $A < A',\ B < B'$ ва $|A - A'| = |B - B'| = 2^l$, $(0 \le l \le n-1)$ муносабатлар бажарилса, у холда $N_{\mathfrak{A}} \bigcup N_{\mathfrak{A}'}$ бирлашма $\mathfrak{A} \vee \mathfrak{A}'$ конъюнкцияларга мос $\tilde{\alpha}$, $\tilde{\beta}$ тўпламларга тортилган $(k+1)$-ўлчовли интервал ҳосил бўлади.

Лемма 3. Мантиқ алгебрасининг деярли барча функцияларида бир нукта орқали кўп бўлмаган $n^{(1+\gamma_n)\log_2 \log_2 n}$ интерваллар ўтади.

Теорема 15. Деярли барча $f(\tilde{x})$ функциялар учун қуйидаги баҳолаш ўринли: $n^{(1-\varepsilon_n')\log_2 \log_2 n} \le S(f) \le n^{(1+\varepsilon_n'')\log_2 \log_2 n}$, $n \to \infty$да $\varepsilon_n', \varepsilon_n'' \to 0$.

Натижа. Деярли барча P^n функциялар учун қуйидаги баҳолашлар ўринли: $n^{(1-\gamma_n')\log_2 \log_2 n} \le \prod(f) \le n^{(1+\gamma_n'')\log_2 \log_2 n}$, $n \to \infty$да $\gamma_n',\ \gamma_n'' \to 0$.

Ҳар хил минималлаштириш алгоритмлари учун $f(\tilde{x})$ функцияни $C_f(A),\ \Upsilon_f(A),\ R_f(A)$ баҳолаш параметрларини кўриб чиқамиз.

Маълумки, $\Upsilon_f(A) = R_f(A) = 1$ тенглик барча $f \in P^n$ функциялар учун ўринли. $A_{ГА}$ локал алгоритмлар учун қуйидаги тенглик $C_f(A_{ГА}) = \left[(l_c - 1) + S(l_c - 2)l_c \ge \left(2^{2^n}\right) n^{3\log_2 \log_2 n(1-\varepsilon_n)}\right]$ деярли барча P^n функциялар учун ўринли, бу ерда $n \to \infty$да $\varepsilon_n \to 0$. Бу ерда қуйидаги $\Upsilon_f(A_{ГА}) \sim 3^{n(1-\tilde{\varepsilon}_n)}$, $n \to \infty,\ \tilde{\varepsilon}_n \to 0$ ўринли.

Қуйидаги тенгсизликларни ҳисоблаш қийин эмас

$$C_f(A_\psi) \le 2^{l_c}(l_c - 1) + l_f S l_c + C_{l_c}^{[l_c/2]} + 1 \sim 2^{2^{n\left(n^{\log_2 \log_2 n(1+\delta_n)}\right)}},\ n \to \infty \text{да}\ \delta_n \to 0$$

$$C_f(A_\psi') \le 2^{l_c}(l_c - 1) + l_f S l_c + C_{l_c}^{[l_c/2]} + C_{l_c}^{[l_c/2]+1} + 1 \sim 2^{2^n n^{\log_2 \log_2 n(1+\delta_n')}},\ n \to \infty \text{да}\ \delta_n' \to 0,$$

$$C_f(A_\psi'') \le (l_c - 1)(2l_c + l_f S) + l_c S l_f \le 2^{2^n} n^{2\log_2 \log_2 n(1+\delta_n'')},\ n \to \infty \text{да}\ \delta_n'' \to 0.$$

Маълумки, қуйидаги тенгликлар ўринли: $\Upsilon_{A_\psi} = \Upsilon_{A_\psi}' = 1,\ \ R_f(A_\Psi) = 1.$

Энг тез паст тушиш $A_{ГА}$ алгоритмини (градиент алгоритми) кўриб чиқамиз.

$A_{ГА}$ алгоритмини барча қадамларнинг мураккаблиги қуйидагича ифодаланади: $C_f(A_{ГА}) \le (m + N + lm)l^{kp} \le 2^{2n} n^{\log_2 \log_2 n}(1 + \varepsilon_n),\ n \to \infty$да $\varepsilon_n \to \infty.$

$A_Г$ ва $A_К$ алгоритмларда берилган $\lambda_1,\ldots,\lambda_m,\ \lambda_1=\{i_1,\ldots,i_k\}\subseteq\{1,2,\ldots,n\}$ йўналиш бўйича N оралиқларни танлаш таклиф этилади.

Қуйидаги $A_Г - m = [2^{2^k}\log_2\log_2 n]$, $k=\left[\log_2\left(\log_2 n - 3\log_2\left(\log_2\left(\log_2 n\right)\right)\right)\right]$ ва $A_k - m' \sim C2^{2^{k_0}}/\log_2 l$, $k_0=\left[\log_2\left(\log_2 n+\log_2\left(\log_2 n\right)\right)\right]$ тенгликлар учун ҳамда C-ўзгармас сон учун қуйидаги ифода $k\in\left[\log_2\left[\left(\log_2 n\right)+\left(\log_2\left(\log_2 n\right)\right)\right],\ \log_2\left(\log_2 n\right)\right]$ ўринли.

$A_Г$ ва $A_К$ алгоритмлар учун қуйдаги тенгсизликлар

$$C_f\left(A_Г\right)-C_f\left(A_К\right)\le m'2^{n-k}\left(m+lS\right)\le 2^{2n}n^{\log_2\log_2 n}\left(1+\varepsilon_n\right).$$

ўринли эканлигини кўриш қийин эмас.

S объектларни $\tilde{O}_s$ функционалини локал ва глобал экстремумларини қидириш ва топилган экстремумларга кўра амалий масалаларни ечишни алгоритмик (ҳисоблаш) тизимини кўриб чикамиз. Масалан, бундай тизимнинг бошқариш Бул функцияларини минималлаштириш, мантиқий ажратиш, минимал синовларни (тесторларни) синтезлаш ва Бул тенгламалар тизимларини максимал қўшма қисм тизимини топиш масалаларини ечиш орқали ўрганилади.

Диссертациянинг **«Мураккаб ишлаб чиқариш технологиялари учун автоматлаштирилган алгоритмик технологик мантиқий агрегатив тизим»** деб номланган тўртинчи бобида ФЖ асосида МТни бошқариш алгоритмини қуриш масаласини ечиш учун алгоритмик, технологик, мантиқий, агрегатив, тизимни (АТМАТ) тавсифига бағишланган. АТМАТ тизимини қуриш учун техник тизимлардан иборат моделлаштириш ва бошқариш жараёнини шакллантиришни алгоритмик усулдан фойдаланилади.

Биринчи параграфда АТМАТ автоматлаштирилган тизими тўртта банкдан иборат: амалий дастурлар банки, маълумотлар банки, белгилар банки ва операцион банки сифатида қурилган. Ҳар бир компонентанинг операцион қисми банкнинг ахборот қисмида операциялар ва уларни амалга ошириш қоидаларини аниқлаб беради. Бундай ҳолда банкнинг информацион қисми мураккаб мантиқий тузилишга бўлиб, унга операцион қисм орқали кириш мумкин.

Иккинчи параграфда алгоритмик тизимда, тизимнинг ядроси бўлган операциялар банки тавсифланган. Унинг асосий вазифалари қуйидагилардан иборат: фойдаланувчилар билан мулоқот олиб бориш, алгоритмик тизимлар банкларининг операцион қисмларини бошқариш, тизимни ишга тушириш ва тўхтаб қолган тизимни тиклаш. Банкнинг ишлаш принципи беш босқичдан иборат: тизимни ишга тушириш, белгиларни танлаш, масалалар моделини танлаш, дастурий таъминотни созлаш ва ҳисоблаш. Банк белгиларида берилган тизим учун мумкин бўлган белгилар гуруҳларининг берилган тизими учун зарур моделлар, масаланинг алгоритмлари ва уларга мос дастурларни танлаш имконини берувчи масаланинг белгилари жойлаштирилган. Банк белгиларининг таркибий ва ахборот қисми бешта даражадан иборат иерархик тизимдир.

Учинчи параграфда масалаларнинг моделлари ва технологик жараёнларнинг тавсифлари амалий дастурлар банки (АДБ)да ФЖ кўринишида шакллантирилган. Бошқарув тизимининг тезкор ходимлари АДБ тизими томонидан мулоқот режимидаги ўзаро алоқалари натижалари асосида ва белгилар банкининг маълумотлари бўйича бошқарув тизимини умумий модели яратилиб, тахлил қилинди. Шу билан бирга, аввалом бор, масалаларнинг турлари аниқланади. АТМАТ алгоритмик тизими учун учта масала гуруҳи мавжуд: 1) тезкор режалаштириш; 2) назорат қилиш; 3) ишлаб чиқариш вазиятларини тахлил қилиш ва тартибга солиш.

Ҳар бир турдаги масалалар учун берилган белгилари бўйича уларга мос модел аниқланади. Биринчи тур учун ишлаб чиқаришнинг ўзига хос хусусияти ва турига кўра режалаштириш моделлари ва оптималлаштириш мезонлари аниқланади. Мулоқотда аниқланган белгилар бўйича, тезкор ходимлар учун кириш-чиқариш шакллари, шунингдек бошқарувнинг қўш ва юқори босқичлари тахлил қилинади ва танланади. Кириш ва чиқиш шаклларини ўрнатишдаги бундай ёндошиш, маълумотлар базасининг ўзаро кесишмайдиган реквизитлар комплексларини акс эттириш учун битта маълумотлар базасидан фойдаланиш имкон беради.

Тўртинчи параграфнинг материалларига кўра, ўзининг таркиби бўйича маълумотлар банки, тизимлар белгиларидан иборат банкда жойлашган маълумотлар таркибларининг ташкилий рўйхатини тақдим этади. Чиқиш маълумотларининг миқдори олдиндан аниқланмайди, улар масалаларни ечилиш соҳасига боғлиқ. Маълумотлар банки ўз олдига қўйган мақсади бўйича вақтинчали захираларни бартараф этиш ва алоҳида масалаларни ечиши, шунингдек марказлаштирилган сақлаш ва маълумотларни ишончлилиги ва мустахкамлилигини таъминлаш учун мўлжалланган.

Бешинчи боб **«Ишлаб чиқариш объектларига алгоритмик технологик мантиқий агрегатив тизимларни жорий этиш»** тавсифлашга бағишланган. АТМАТ алгоритмик тизимини тадбиқ этишдан мақсад, ишлаб чиқариш шароитлари динамик равишда ўзгариб турадиган жараёнларда ФЖ асосида алоҳида турдаги дискрет тавсифга эга МТларни бошқариш алгоритмини қуриш ва технологик жараённинг ҳолатини таҳлил қилиш учун аниқ вақтда имитацион моделини киритишдан иборат.

Биринчи ва иккинчи параграфларда МТни бошқариш алгоритмини қуриш учун АТМАТ тизими кўриб чиқилган. Технологик жараёнларнинг босма платаларни металлаштириш (БПМ)ни ишлаб чиқаришнинг функионал жадвали қуйидаги $D^{+}, D^{-}\left(D^{+}\left(D^{-}\right)\right)$ - матрицалар кўринишида тасаввур қилиш мумкин. ФЖнинг чиқиш (кириш) ўтиш холатларининг матрицаси қуйидаги кўринишга эга: Матрица $D=\left\|a_{ij}\right\|43\times120$, D^{+} ва D^{-} матрицалари 43×120 ўлчамларга эга, бу ерда 43 ўтишлар миқдори, 120 ҳолатлар миқдори. Улар диагонал кўринишга эга ва жуда сийрак. ФЖни таҳлил қилиш учун қуйидаги: $D\overline{W}=0$ тенглама ечилади бу ерда $D=D^{+}-D^{-}$, $\overline{W}$ қийматлар тенглама ечимларининг фундаментал тизимига мос келадиган ўзгарувчиларнинг векторлар тизими бўлиб, камида битта координатаси нолдан фарқ қиладиган ва маркерларни белгиларини сақловчи восита ҳисобланади.

Қурилган моделни тўғри ишлашини текшириш учун қуйидаги тенгламани ечамиз: $\bar{\mu}_k = \bar{\mu}_0 + \bar{x}D$, бу ерда $D = D^{+} - D^{-}$, $\bar{\mu}_k(\bar{\mu}_0)$- қийматлар охирги (бошланғич) белгилар вектори; x актив алмашишларни ўзгарувчи вектори. Бошланғич ва якуний белгилар учун материаллар, қурилмалар ва жихозларнинг мавжудлиги тўғрисидаги маълумотларни тавсифловчи барча элементлар белгиланиши зарур. Бошланғич белги учун етарли шарт - бу биринчи ўтишнинг кириш жойини белгилаш, бу материал оқимини тайёрлашдаги маълумотларга мос келади. Бошланғич белгилаш вектори

$$\begin{array}{l} \bar{\mu}_0 = (111101101101101101101101101101101101101101101101101101101101101101101101101101101101101 \\ 10110110110110110110110110110110110110110110110110110110110110110110110110110110110110) \end{array}$$ га тенг.

Охирги белгилаш учун етарли шарт - бу сўнги ўтишнинг чиқиш ҳолатини белгилаш бўлиб, бу махсулот оқими учун тайёр маҳсулотни чиқиши ҳақида маълумотга мос келади. Охирги белгилаш вектори

$$\begin{array}{l} \bar{\mu}_k = (1011011011011011011011011011011011011011011011011011011011011011011011011011011 \\ 0110110110110110110110110110110110110110110110110110110110110110110110110110110) \end{array}$$ га тенг.

$\bar{\mu}_k = \bar{\mu}_0 + \bar{x}\,D$ тенглама ечими фаол ўтишларнинг векторини беради. Фаол ўтишларнинг вектори шуни кўрсатадики, олинган модел циклик ва барча технологик операциялар бажарилиши мумкин.

ФЖ тармоғининг имкониятлари чекловларини аниклашда, ишлаб чиқариш тизимларида технологик жараён мавжуд ускунани ҳисобга олган холда ФЖни қисмларга ва чизиқларга ажратади. Ҳар бир турдаги ускунанинг ишлашини билган холда материал оқимини аниқлайдиган холатларнинг нормал ва юқори чегараларини ҳисоблаймиз.

Аралаштириш ва меёрлаштириш тажриба қурилмасининг назорат қилиш тизимида ўзида ўрнатилган мантиқий бошқариш тизимларини қўллаш назарда тутилади. Автоматлаштирилган бошқариш тизимининг бошқариш модели қуйидаги бошқариш алгоритмини амалга оширувчи бошқариш автоматидир: бошланғич манзил бўйича буйруқли сўзни қурилма хотирасига мурожаати; буйруқ сўзини кодини очиш ва ижро этувчи буйруқни ривожлантириш; буйруқни ижро этувчи ускуналарга узатиш. Агар буйруқ вақти кечикадиган бўлса, белгиланган вақтни ҳисоблайдиган ички вақт ҳисоблагичи ёқилади ва қайта алоқа сигналларини қабул қилади.

Алмаштириладиган намунавий элементлар омборида амалга ошириладиган асосий схеманинг параметрлари қуйидагича: кирувчи қутблар сони-32, чиқувчилар-32, хотира элементлари-8, ДММ чиқишларида шаклланадиган қўзғалиш функциялари қийматлари-4, АД сони-4, ДХҚ-3, ДММнинг кўплиги (асосий схема бўйича ДММларнинг умумий сони ДММ сонини ДММнинг кўплиги билан кўпайтирилиши билан белгиланади)-2. Компьютерда «таҳлил» қилиш орқали ДММ ва дастурлаш ускунасидаги намунавий элементлар звеноси базасининг ДХҚни созлаш учун назорат дастури олинади.

Учинчи параграфда аниқ оптималнии топишда дискрет экстремал масалалар ечимлари алгоритмларини компьютердп жорий этилган натижалари берилган. $E_n^2,\ i,p \in \{0,1,...,n\}$ тўпламда аниқланиш соҳаси $\text{U}_{p+1}, \text{U}_{p+2}, \ldots, \text{U}_{p+l}$ тўпламлардан иборат, n ўзгарувчили $f\left(x_1,...,x_n\right)$- симметрик Бул функциясини кўриб чиқамиз. $f\left(x_1,...,x_n\right)$ функциянинг қисқартирилган D_c^f д.н.ш., $\bigcup\limits_{j=0}^{i} \text{U}_{p+j}$ даги максимал оралиқларга мос келадиган э.к. иборат. Тадқиқот объекти f функциянинг қисқартирилган D_c^f - д.н.ш.ни э.к. дан тузилган D_c д.н.ш.дан иборат бўлиб, бу ерда $N_{f'} \subset N_f$ бўлади. Шунингдек, $N \le 2^m$ ва $m = 5,6$ миқдорга эга э.к.ли D_c' д.н.ш. ни тадқиқ этилади.

ХУЛОСА

“Функционал жадваллар алгебраси асосида мураккаб тизимларни бошқаришнинг алгоритмик моделлари” мавзусидаги диссертация бўйича олиб борилган тадқиқот натижаларидан қуйидаги хулосалар шакллантирилди:

чекли автоматларга, функционал жадвалларига ва уларни ўзгартириш усулларига асосланган алгоритмик моделларни яратиш методологияси ишлаб чиқилган бўлиб, бу мураккаб тизимларни алгоритмик бошқариш усуллари ва технологияларини назарий жихатдан асослашга имкон беради;

мураккаб тизимлар моделларини, бошқарув алгоритмларини, қарор қабул қилиш жараёнлари ва мураккаб тизимларни бошқаришни оптимизацион моделларини қуруш усулларини ифодалашни формаллаштириш имконини берадиган фунционал жадвал таклиф этилади;

формал математик моделлаштириш усуллари билан дискрет характерга эга бўлган агрегат тизимларни бошқариш имконини берадиган алгоритмик модел ишлаб чиқилган;

дискрет экстремал масалаларни таклиф этилаётган алгоритмик ечимлари мураккаб тизимларда қарор қабул қилишда, лойиҳалаш жараёнларида, чекли автоматлар ва бул функциялар кўринишида ифодаланган агрегатларни бошқариш учун мониторларни яратиш имконини беради;

дискрет экстремал масалаларни алгоритмик ечими учун бир хил хотирага эга локал тенг кучли алгоритмларнинг барча синфлари учун мажорант бошқарув алгоритмларни мавжудлиги хақидаги теоремалар исботланган;

Шенноннинг дискрет экстремал масалаларни алгоритмик ечими бўйича уч қийматли монотон функциялар синфлари учун кодларни очиш ва максимал юқори нолларни топиш масалалари ечилган;

уч қийматли мантиқнинг монотон функцияларини кодларни очиш масаласи учун дискрет экстремал масалаларни камайтириш мезонлари ишлаб чикилган ва теорема исботланган;

қарор қабул қилиш жараёнида дискрет экстремал масалаларни алгоритмик ечими учун к-қийматли мантиқнинг қисман аниқланган функцияларининг инвариант давоми хақидаги теорема исботланган;

дискрет ишлаб чиқариш жараёнлари мисолида агрегат тизимларда иш ўринларини бошқариш ва синтез қилиш воситаси бўлган автоматлаштирилган тизим ишлаб чикилган;

алгоритмик ёндашув билан ишлаб чиқариш тизимини аниқ вақт оралиғида бошқариш функционал жадваллар ёрдамида тизимни функционал имитацион моделини қуриш ва киритиш орқали таъминланади;

диссертация ишининг натижалари Ўзбекистон Республикаси ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш Вазирлигига, шунингдек Қорақалпоғистон сув ва қишлоқ хўжаликларига ҳамда иктисодиёт ва саноат Вазирликларига жорий этилган.

НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12.2019.FM.01.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНЫХ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК ПРИ НАЦИОНАЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА

НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА ИМЕНИ МИРЗО УЛУГБЕКА

НОРМАТОВ ИБРОХИМАЛИ ХОЛМАМАТОВИЧ

АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ СИСТЕМАМИ НА ОСНОВЕ АЛГЕБРЫ НАД ТАБЛИЦАМИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

05.01.02 - Системный анализ, управление и обработка информации
(физико-математические науки)

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА (DSc) ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

Ташкент – 2020

Тема докторской (DSc) диссертации зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за B2020.4.DSc/FM124.

Докторская диссертация выполнена в Национальном университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (http://ik-fizmat.nuu.uz/) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyonet.uz).

Научный консультант:	**Кабулов Анвар Василович** доктор технических наук, профессор
Официальные оппоненты:	**Игамбердиев Хусан Закирович** доктор технических наук, профессор, академик
	Шакенов Канат Кожахметович, доктор физико-математических наук, профессор (Казахстан)
	Утеулиев Ниетбай Утеулиевич, доктор физико-математических наук, профессор
Ведущая организация:	**Туринский политехнический университет г.Ташкенте**

Защита диссертации состоится «15» декабря 2020 г. в 10:00 часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.FM.01.02 при Национальном университете Узбекистана. (Адрес: 100174, г. Ташкент, Алмазарский район, ул. Университетская, 4. Тел.: (99871) 227-12-24, факс: (99871) 246-53-21, 246-02-24, e-mail: nauka@nuu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Национального университета Узбекистана (зарегистрационо за №99). (Адрес: 100174, г. Ташкент, Алмазарский район, ул. Университетская, 4. Тел.: (99871) 246-02-24).

Автореферат диссертации разослан «9» декабря 2020 года.

(протокол рассылки №21 от 3 декабря 2020 г.).

А.Р.Марахимов
Председатель Научного совета по присуждению учёных степеней, д.т.н., профессор

З.Р.Рахмонов
Ученый секретарь Научного совета по присуждению учёных степеней, д.ф.-м.н.

Н.А.Игнатьев
Председатель Научного семинара при Научном совете по присуждению ученых степеней, д.ф.-м.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора наук (DSc))

Актуальность и востребованность темы диссертации. Значительная часть, проводимых в мире научно-прикладных исследований связана с применением алгоритмизации и автоматизации работы машин и оборудования для всех отраслей народного хозяйства, что обеспечивает высокую производительность труда, выпуск высококачественной продукции, отвечающей современным требованиям. Наблюдается тенденция усиленного развития фундаментальных и прикладных исследований в области информационных и компьютерных технологий, с целью внедрения инновационных разработок в производственных процессах. Особое внимание уделяется алгоритмизации и автоматизации систем в различных отраслях машиностроения, разработке современных технологий оптимального управления. Поэтому создание алгоритмических моделей управления сложными системами (СС) является актуальной задачей.

В настоящее время одной из важнейших задач развития систем управления в мире, оптимизации и совершенствования процессов автоматического управления и их внедрения во все отрасли экономики является выполнение исследований по следующим направлениям: разработать алгоритмическую модель и методы синтеза комплексов рабочих мест для решения задач управления сложных систем по таблицам функционирования; создать мониторы управления агрегатами, описываемых в виде конечных автоматов и булевых функций; найти алгоритмическое решение дискретных экстремальных задач для реализации процесса принятия решения и проектирования в сложных системах. Вышеупомянутое исследование в области исследований объясняет актуальность данной темы диссертации.

В числе комплексных мер, принятых в нашей стране, развитие систем управления, цифровизации и создание информационных ресурсов поддержки принимаемых организационных мер и решений являются одним из основных направлений государственного строительства. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан в 2017–2021 гг. определены такие задачи, как «проведение активной инвестиционной политики, направленной на модернизацию, техническое и технологическое обновление производства, реализация проектов производственной, транспортно-коммуникационной и социальной инфраструктуры, дальнейшая модернизация и диверсификация промышленности путем перевода ее на качественно новый уровень, направленный на опережающее развитие высокотехнологичных обрабатывающих отраслей, прежде всего, по производству готовой продукции с высокой добавленной стоимостью на базе глубокой переработки местных сырьевых ресурсов»[1]. Важно разработать теоретические основы алгоритмических методов и технологий управления СС, чтобы гарантировать выполнение решений.

---

[1] Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 г. №УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

Данное диссертационное исследование направлено на решение задач, обозначенных в Указах Президента Республики Узбекистан № УП-4947 от 7 февраля 2017 г. «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», № УП-5847 от 8 октября 2019 г. «Концепция комплексного социально-экономического развития Республики Узбекистан до 2030 года», в Постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП-2789 от 17 февраля 2017 г. «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии наук, организации, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности», № ПП-2909 от 20 апреля 2017 г. «О мерах по дальнейшему развитию системы высшего образования», № ПП-3682 от 27 апреля 2018 г. «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов», в выступлении Президента Республики Узбекистан от 24 мая 2019 г. в Национальном университете Узбекистана на встрече с деятелями науки и образования, а также в других нормативно-правовых актах.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан IV. «Информатизация и развитие информационно-коммуникационных технологий».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации[2]. Исследования по развитию современных математических методов разработки систем управления, внедрению автоматизированных систем управления технологическими процессами в различных областях науки, техники и экономики проводят ведущие университеты и исследовательские центры мира, в том числе таких, как Альбертский университет (Канада), Стэнфордский университет, Массачусетский технологический институт (США), Кембриджский университет, Оксфордский университет (Великобритания), Киотский университет (Япония), Мельбурнский университет (Австралия), Мюнхенский технический университет (Германия), Университет Цинхуа (Китай), Федеральная политехническая школа Лозанны (Швейцария), Сеульский национальный университет (Республика Корея), Амстердамский университет (Нидерланды), Университет имени Пьера и Марии Кюри (Франция), Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова (Россия), Институт кибернетики имени В.М.Глушкова (Украина), Национальный университет Узбекистана, Ташкентский государственный технический университет, Ташкентский университет информационных технологий (Узбекистан).

Мировые исследования в области управления СС дали ряд научных результатов, в том числе: методы моделирования агрегатных систем

[2] При обзоре зарубежных научных исследований по теме диссертации использовались следующие источники: http://www.ds.mpg.de/en; http://www.ox.ac.uk/; http://www.bioe.neu.edu; http://www.zbit.uni-tuebingen.de/; http://neel.cnrs.fr/?lang=fr; https://www.kribb.re.kr/eng/sub02/sub02_07_03.jsp; https:// www.cbcb.umd.edu/; http://www.arizona.edu/; https://mipt.ru/science/labs/laboratory_of_the_biophysics_of_ excitable_systems/ и др.

управления сложными объектами (Институт управления проблемами им. В.А.Трапезникова РАН), решенные задачи формализации систем управления (Stanford University USA), разработаны автоматизированные модели для решения задач проектирования процессов управления СС и их программным обеспечением (Институт кибернетики имени В.М.Глушкова), разработаны методы математического моделирования процессов алгоритмического управления СС (Национальный университет Узбекистана), различных отраслей промышленности Республики Узбекистан. Технологические процессы на предприятиях автоматизированы (Ташкентский государственный технический университет).

Исследования ведутся по ряду приоритетных направлений разработки алгоритмических моделей и методов управления СС в мире, в том числе: разработка динамически гибких, адекватных моделей и эффективных алгоритмов цифровых вычислений, начиная с первоначального изучения объектов управления СС; алгоритмизация и совершенствование всех этапов систем управления с использованием современных компьютерных технологий; разработка эффективных методов анализа объектов исследования с целью повышения эффективности принятия решений в управление.

Степень изученности проблемы. В последние годы известными учеными получены фундаментальные результаты в теории управления СС. Методы моделирования агрегативных систем управления сложными объектами предложены в работах ученых Института проблем управления РАН И.М.Макарова, Г.С.Поспелова и Н.П.Бусленко. Проблемы единого подхода к формализации исследований в теории управляющих систем решены учеными из Стэндфордского университета США Р.В.Хаммингом, Р.Кнутом, П.Х.Халмосом и М.Хаска. Автоматные модели решения задач, которые позволяют осуществить проектирование процесса управления сложных систем и управление программным оборудованием разработаны украинскими учеными из института Кибернетики В.М.Глушковым, В.С.Михалевичем и В.И.Скурихиным.

В Узбекистане научными коллективами В.К.Кабулова, Н.Р.Юсупбекова, Х.З.Игамбердиева, М.М.Арипова и И.Х.Сиддикова разработаны и применяются математические модели, алгоритмические методы, средства вычислительной техники и автоматизации в управлении. Проблемы алгоритмизации управления СС исследовались в фундаментальных работах академика В.К.Кабулова. Автоматизация технологических процессов рассматривались и решалась в работах академиков Н.Р.Юсупбекова, Х.З.Игамбердиева для различных производственных предприятий Республики Узбекистан. Методы для математического моделирования процессов управления СС разработивались и обосновывались в работах профессора М.М.Арипова.

Следует отметить, что много нерешенных проблем остается по такому научному направлению как алгоритмическое моделирование динамических сложных систем. Применение математических методов, средств информационных технологий для моделирования сложных динамических систем, создание новых эффективных способов рационального и адекватного описания СС, оптимизация технологических процессов, принятия решения при управлении с учётом заданных ограничений недостаточно изучена.

Связь темы диссертации с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках научных проектов плана научно-исследовательских работ Научно-инновационного центра информационно-коммуникационных технологий: Ф4-ФА-Ф005 «Разработка и исследование алгоритмических методов решения классов многомерных нелинейных задач математической физики для областей сложной конфигурации» (2012-2016), БВ-М-Ф4-004 «Разработка принципов алгоритмизации в теории управляющих систем» (2017-2020), № 1/18Ф «Программное обеспечение обнаружения и обезвреживания угроз при обеспечении защиты информации на основе таблиц функционирования» (2018-2019), ОТ-Атех-2018-486 «Разработка систем логического управления и информационной безопасности на базе программируемых микроконтроллеров (заказных программируемых логических контроллеров) и системы CAD проектирования программируемых логических контроллеров» (2018-2020), № ФЗ-201906117 «Программное обеспечение проведения мониторинга определения влияния экологической ситуации на сельскохозяйственное производство Приаралья» (2020-2022).

Целью исследования является создание алгоритмических моделей управления СС на основе алгебр над таблицами функционирования (ТФ), методов математического моделирования и их применение в автоматизированных системах.

Задачи исследования:

разработать методологию создания алгоритмических моделей управления сложными системами на основе таблиц функционирования и конечных автоматов;

разработать алгоритмическую модель и методы синтеза комплексов рабочих мест для решения задач управления сложных систем по таблицам функционирования;

создать мониторы управления агрегатами, описываемых в виде конечных автоматов и булевых функций;

найти алгоритмическое решение дискретных экстремальных задач для реализации процесса принятия решения и проектирования в сложных системах;

доказать теоремы о существовании мажорантных алгоритмов управления для всех классов локально равных алгоритмов с одинаковой памятью;

решить задачи расшифровки и поиска максимальных верхних нулей для классов трехзначных монотонных функций в постановке Шеннона;

доказать теорему об инвариантном продолжении частично определенных функций *к*–значной логики при алгоритмическом решении дискретных экстремальных задач;

создать алгоритмическую агрегативную систему для управления объектами с динамичной структурой взаимосвязей.

Объектом исследования являются задачи анализа и синтеза системы управления, закономерности в процессах управления, разработка алгоритмов оптимизации управления в сложных системах.

Предметом исследования являются принципы, методы и технологии алгоритмизации, методы рационального и адекватного описания объектов управления, разработка алгоритмов оптимизации управления.

Методы исследования. Использованы методы унифицированного описания сложных систем, построения управляющих мониторов, имитационного моделирования, алгебраические операции, сетей Петри, теории конечных автоматов, управляющих систем С.В.Яблонского, методы принятия решении по таблицам функционирования.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

разработана методология создания алгоритмических моделей управления сложными системами на основе таблиц функционирования и конечных автоматов.

разработаны алгоритмическая модель и методы синтеза комплексов рабочих мест для решения задач управления сложными системами по таблицам функционирования;

созданы мониторы управления агрегатами, представленных в виде конечных автоматов и булевых функций;

найдено алгоритмическое решение дискретных экстремальных задач для реализации процесса принятия решения и проектирования в сложных системах;

доказаны теоремы о существовании мажорантных алгоритмов управления для всех классов локально равных алгоритмов с одинаковой памятью;

решены задачи расшифровки и поиска максимальних верхних нулей для классов трехзначных монотонных функций в постановке Шеннона;

доказана теорема об инвариантном продолжении частично определенных функций *к*–значной логики при алгоритмическом решении дискретных экстремальных задач;

создана алгоритмическая агрегативная система для управления объектами с динамичной структурой взаимосвязей.

Практические результаты исследования. Алгоритмическая агрегативная система применяется для разработки имитационных моделей управления технологическим процессам по отдельным модулям, участкам, так и процессом в целом, групповых технологий управления, управляющих мониторов при решении оптимизационных задач.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов диссертации обосновывается строгой формализацией проблемы алгоритмического моделирования процессов управления, на основе унифицированного и стандартного описания объектов, использованием теоретически и практически обоснованных способов алгоритмизации и соответствием динамических таблиц функционирования особенностям объекта.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования объясняется тем, что разработанные системы контроля и автоматизированного управления позволяют гибко адаптироваться под изменения конфигурации сложных систем и отличаются универсальностью и гибкостью.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что предложенная система управления отдельными модулями, цехами и технологическим процессом в целом посредством использования, групповых технологий, управляющих мониторов, алгоритмов и методов решения оптимизационных задач позволяет улучшить качество продукции, ускоряет темпы производства, способствует экономии ресурсов и энергии и улучшает условия труда персонала.

Внедрение результатов исследования. На основе результатов, полученных по созданию алгоритмических моделей управления СС на основе алгебр над ТФ и математического моделирования и их применение в автоматизированных системах:

комплексные алгоритмы решения дискретных и экстремальных задач были использованы при управлении производственными процессами АО «Тахиатош дон маҳсулотлари» (Справка 33-8/8342 от 26 ноября 2019 г. Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан). Применение научных результатов позволило повысить эффективность производства на 20%;

функциональный график и алгоритм автоматического управления, разработанный для оптимизации систем управления сложных объектов и технологических процессов, были использованы для оптимизации водопотребления и энергопотребления в «Водное хозяйство Тахиаташского района» (Справка 01/10-3-387 от 16 сентября 2019 г. Министерства водного хозяйства Республики Каракалпакстан). Применение научных результатов позволило снизить потребление воды и энергии на 15%;

автоматизированная система по созданию имитационных моделей и систем управления была использована для оптимизации и модернизации управления бизнес-единицами и подразделениями Министерства экономики и промышленности Республики Каракалпакстан (Справка 01/1499 от 25 ноября 2019 г. Министерства экономики и промышленности Республики Каракалпакстан). Использование научных результатов в технологическом процессе позволило повысить эффективность производства на 15%;

теоретические основы и универсальные методы алгебры функциональных таблиц, предназначенные для оптимизации алгоритмов управления в СС, были использованы для сокращения потребления сырья и энергоресурсов, а также для улучшения технической безопасности в Нукусском районном совете фермеров и собственников жилья. (Справка 01/03-3516 от 28 ноября 2019 г. Министерства сельского хозяйства Республики Каракалпакстан). Применение научных результатов позволило увеличить производство сельскохозяйственной продукции на 15%.

Апробация результатов работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 24 международных и 18 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 76 научных работ. Из них 3 монографии, 1 учебное пособие, 22 научных статьей в журналах, в том числе 9 в зарубежных и 13 в республиканских журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, получен 1 патент на изобретение и 4 свидетельства о регистрации программных продуктов для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, заключения, списка использованной литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет 253 страниц, основной текст работы изложен на 194 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Сформулированы цель и задачи, указаны объект и предмет, научная новизна исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта их теоретическая и практическая значимость, приведены сведения о внедрении результатов исследования в практику, об опубликованных работах и структуре диссертации.

Первая глава диссертации **«Исследование и анализ проблем алгоритмизации управления сложными системами»** состоит из трех параграфов.

В первом параграфе рассматривается системное исследование объектов, начиная с предварительного изучения, получения адекватных моделей, алгоритмизации процессов и завершая созданием эффективных систем управления.

Во втором параграфе излагаются теоретическое обоснование алгоритмизации управления СС на основе их стандартного описания для создания алгоритмических моделей управления, используемых как при научно-исследовательских, так и опытно-конструкторских разработках автоматизированных системах. Дается анализ процессов решения задач при построении алгоритма управления СС. Предлагается описание процесса решения задачи управления объектом на основе алгоритмического подхода.

В третьем параграфе по функциональной схеме исследования систем программное обеспечение предлагается строить с помощью шести основных $(Б_1 - Б_6)$ и двух вспомогательных банков ($Б_n$ – постановки, $Б_0$ – операционный). Каждый основной банк имеет информационную и операционную части и набор модулей; определение состава банков является предметом дальнейших исследований. Банк постановки $Б_n$ обеспечивает диалог с пользователем, его структура зависит от запросов заказчика. Содержимое операционного банка $Б_0$ можно оформить в виде блок-схемы программ с учетом состава модулей основных банков.

Математические методы алгоритмизации приобретают особое значение при автоматизации всех этапов исследования систем и построения алгоритмов управления. С этой точки зрения процесс исследования различных объектов можно разбить на семь последовательных этапов, представляющих собой кибернетическую цепь с обратной связью.

Во втором параграфе излагаются теоретическое обоснование алгоритмизации управления СС на основе их стандартного описания для создания алгоритмических моделей управления, используемых как при научно-исследовательских, так и опытно-конструкторских разработках автоматизированных системах. Дается анализ процессов решения задач при построении алгоритма управления СС. Предлагается описание процесса решения задачи управления объектом на основе алгоритмического подхода.

В третьем параграфе по функциональной схеме исследования систем программное обеспечение предлагается строить с помощью шести основных $(Б_1 - Б_6)$ и двух вспомогательных банков ($Б_n$ – постановки, $Б_0$ – операционный). Каждый основной банк имеет информационную и операционную части и набор модулей; определение состава банков является предметом дальнейших исследований. Банк постановки $Б_n$ обеспечивает диалог с пользователем, его структура зависит от запросов заказчика. Содержимое операционного банка $Б_0$ можно оформить в виде блок-схем программ с учетом состава модулей основных банков.

Математические методы алгоритмизации приобретают особое значение при автоматизации всех этапов исследования систем и построения алгоритмов управления. С этой точки зрения процесс исследования различных объектов можно разбить на семь последовательных этапов, представляющих собой кибернетическую цепь с обратной связью.

Вторая глава диссертации – **«Разработка алгоритмической модели управления сложными системами на основе алгебры над таблицами функционирования»** – состоит из четырех параграфов.

В первом параграфе излагается постановка основных задач алгоритмизации управления СС на основе ТФ. В качестве элементарного неделимого элемента сложной системы принимается РМ, для описания которого существуют следующие характеристики: координаты, интервалы времени, операции и состояния.

Множество рабочих мест для многоуровневых агрегативных систем определяется графом в заданный интервал времени t_i. Изменения сети РМ по времени описивается функцией управления сети $F(t)$. Такое описание сети для задонного множества РМ называется таблицей функционирования системы. Графически каждая операция d_j, выполняемая на РМ a_i, в момент времени t_k определяется координатами (i, j, k).

Динамические ТФ определються как: ТФ$=\{P, D, I, O, A, T, \Delta, F\}$, где P - множества позиций (состояний), D - операций (переходов), I - входных и O -

выходных состояний, R - РМ, T - интервалов времени, Δ - координат РМ системы и F - функция изменения таблицы функционирования во времени.

Если $\forall t_i \in T$ и функция $F(t) = const$, то такая ТФ называется статической (стационарной). Функция $F(t)$, задающая изменения в ТФ, называется функцией управления агрегатной системой или функцией планирования процессов в системе.

Задача управления СС заключается в том, чтобы выбрать алгоритм, который по ТФ системы вычислит её функциональную характеристику. В этом смысле алгоритмизация представляет собой, по существу, универсальное средство моделирования процесса управления СС на основе ТФ. Формулируются задача синтеза управляющего агрегата (монитора) и процесс синтеза автоматов для реализации операции управления.

Во втором параграфе вводится алгебра операций над ТФ в матричной форме. В каждый интервал времени t_i описание ТФ представляется в виде маркированной сети Петри: $M = \{P, D, I, O, \mu\}$, где $\mu -$оператор, сопоставляющий множеству позиций P в множестве N натуральных чисел: $\mu : P \to N$. Каждая маркировка μ может быть представлена как вектор $\mu = (\mu_1, ..., \mu_n)$, где $n = |P|$ и $\forall \mu_i \in N, i = \overline{1, n}$. Вектор μ определяет для каждой позиции p_i сети количество фишек, т.е. для $\mu_i = p_i$, $i = \overline{1, n}$, $\mu(p_i) = \mu_i$. Интервалы времени t_i, в течение которых сеть Петри не изменяется, назовем технологическими циклами (ТЦ). ТЦ являются подмножеством сетей Петри, для которого определяется формальный язык для описания технологических процессов.

Считается, что язык L является языком ТЦ $L-$типа, если существует помещение переходов $\delta : T \to \Sigma$, а начальная маркировка μ и конечное множество заключительных маркировок F такие, что $L = \{\delta(B) \in \sum^{*} \setminus \tilde{B} \in T\}$, где $\delta(\mu, \tilde{B}) \in F$ – оператор переходов, т.е. для $\tilde{B}(t_{i_1}, ..., t_{i_k})$ и маркировки оператора $\mu = \delta(\mu, \tilde{B})$ есть результат последовательного запуска $(t_{i_1}, ..., t_{i_k})$. В нашем случае СС представляют собой композицию подсистем. Каждая из подсистем описывается отделном ТЦ со своим языком. Последовательные композиции подсистем являются конкатенацией из одного, двух, трех и более языков ТЦ. Конкатенация языков формально определяется как

$$L_1 \times L_2 \times ... \times L_n = \{x_1, x_2, ..., x_n : \ x_1 \in L_1, \ x_2 \in L_2, ..., x_n \in L_n\}.$$

Следующим образом задана операция объединения:

$$L_1 \cup L_2 \cup, ..., \cup L_n = \bigcup_{i=1}^{n} L_i = \{x : x \in L_1 \text{ или } x \in L_2 ... \text{или } x \in L_n\}.$$

Далее, следующим образом задана операция параллельной композиции:

$$\alpha_1 x_1 \| \alpha_2 x_2 \| ... \| \alpha_n x_n = \alpha_1 \left(x_1 \| \alpha_2 x_2 ... \| ... \| \alpha_n x_n \right) + ... + \alpha_n \left(\alpha_1 x_1 \| \alpha_2 x_2 \| ... \| x_n \| \right) \text{ и } \alpha \| \lambda = \lambda \| \alpha = \alpha.$$

Параллельной композицией двух и более языков является:

$$L_1 \| L_2 \| \cdots \| L_n = \{x_1 \| x_2 \cdots \| x_n : x_1 \in L_1, \ \ x_2 \in L_2, ..., x_n \in L_n\}.$$

Операция пересечения, как и в случае объединения, подобна теоретико-множественному определению пересечения и определяется для языков ТЦ следующим образом:

$$L_1 \bigcap L_2 = \{x : x \in L_1 \text{ и } x \in L_2\}.$$

Операция обращения предложения x-это предложение, символы которого расположены в противоположном порядке. Эту операцию мы определим рекурсивно:

$$\alpha^R = a, \ (\alpha x)^R = x^R a \quad \text{для} \quad a, x \in \Sigma.$$

Каждую из подсистем можно представить соответствующим ТЦ со своим языком. Нетрудно заметить, что языки ТЦ замкнуты по отношению к любому конечному числу выполнения операций объединения, пересечения, обращения, параллельной композиции и конкатенации, осуществляемых в любом порядке.

Система, состоящая из основного множества $\text{ТФ} = \{\text{ТЦ}_i\}, i = \overline{1,n}$ технологических циклов и совокупности операций, называемой сигнатурой, является универсальной алгеброй, если каждая из операций, принадлежащих сигнатуре Ω, всюду определена на множестве ТФ.

Введенная алгебра над ТФ позволяет в дальнейшем использовать алгебраические методы построения алгоритмов управления, где в ТЦ каждый цикл может быть описан двумя матрицами C^- и C^+, причем $\text{C}^- \left(\text{C}^+\right)$ является системой векторов входных (выходных) состояний.

В третьем параграфе рассматривается алгоритмизация синтеза комплексов РМ в таблицах функционирования локальными алгоритмами над управляющими системами. Устанавливается, что понятие «наилучший локальный алгоритм» для введенных систем окрестностей распространяется на класс управляющих систем. На основе использования операций конкатенации, объединения, пересечения, обращения, параллельной композиции и подстановки решается задача синтеза ТФ управляющих систем из отдельных РМ.

Пусть задана сеть $\mathfrak{M}(E_0, E_1, E_2 ...)$ управляющей системы с множеством полюсов E_0 и множествами подсхем (агрегатов) $E_1, E_2, ...,$ σ_α-множества элементарных подсхем над памятью X .

Определение 1. Символ $\mathfrak{M}\left(E_0, C_{\alpha_1}, C_{\alpha_2}, ...\right)$ называется схемой, если он получен в результате подстановки в сеть $\mathfrak{M}\left(E_0, E_1, E_2 ...\right)$ вместо наборов $E_0, E_1, E_2 ...$ элементарных подсхем $\left\{C_{\alpha_i} = C_{\alpha_i}^{E_i}\left(X^{\alpha_i}, Y^{\alpha_i}, Z^{\alpha_i}\right)\right\}$, $i = 1, 2, ...$, полюсы элементарной подсхемы C_{α_i}, поставлены определенным образом в соответствие с вершинами набора E_i, $i = 1, 2, ...$

Введем функции φ_i^0, $i = \overline{1, l}$ следующим образом:

$$\varphi_i^0\left(C_\gamma,\alpha_1,...,\alpha_l,S,\sigma^*\right)=\begin{cases}(\alpha_1,..,\alpha_l), & \text{если } \alpha_i\in\{0,1\};\\ (\alpha_1,...,\alpha_{i-1},\gamma,\alpha_{i+1},...,\alpha_l), & \text{если } \sigma\in M_s\left(C_\gamma\right);\\ P_i\left(C_\gamma,\sigma\right)=\gamma, & \text{если } \gamma\in\{0,1\};\\ (\alpha_1,...,\alpha_{i-1},\Delta,\alpha_{i+1},...,\alpha_l), & \text{если } \exists\sigma_1,\sigma_2\in M_s\left(C_\gamma\right)\\ \text{выполнено соотношение} & P_i\left(C_\gamma,\sigma_1\right)\neq P_i\left(C_\gamma,\sigma_2\right)\end{cases},\ i=\overline{1,l}$$

и алгоритм A, определенный системой предикатов $\{P_i\}, i=\overline{1,l}$.

Пусть задан класс алгоритмов π_s с одинаковой памятью, для некоторых совпадают область определения: $\pi_s=\{A_\pi,\varphi_{1\alpha},...,\varphi_{i\alpha},P_1,...,P_l,S\}$.

Обозначим через $\sigma=\{C_\alpha\}$ множество подсхем схемы $\mathfrak{M}$ и $\{\sigma\}$ семейство множества таких подсхем. Пусть $S_{k-1}(C_\alpha,\mathfrak{M})$- главная окрестность $(k-1)$-го порядка подсхемы C_α в множестве $\sigma_f\in\{\sigma\}$.

Основными результатами третьего параграфа являются следующие теоремы:

Теорема 1. Окрестности $\left\{S_i\left(C_\alpha,\sigma_f\right)\right\}, i=\overline{1,k}$ подсхемы C_α в множестве $\sigma_f\in\{\sigma\}$ являются специальными окрестностями.

Теорема 2. Для всякого класса π_s локально равных алгоритмов с одинаковой памятью существует мажорантный алгоритм.

В третьем параграфе, используя описанные ранее операции конкатенации, объединения, пересечения, обращения, параллельной композиции и подстановки, можем решить задачу синтеза ТФ из отдельных РМ. Комплекс РМ определяется следующим образом: $A=\{M,G_p\}$, здесь M – множество моделей алгоритмов; G_p – глобальный список параметров моделей: $G_p=\{X^s,Y^s,Z^s\}$. Здесь X^s,Y^s,Z^s – соответственно множество входных, выходных и промежуточных параметров системы.

В такой системе решается следующая задача: $\exists\varphi\left(X_1,...,X_k\xrightarrow{\varphi}Y_1,...,Y_t\right)$, где $\{X_i\}, i=\overline{1,l}$ и $\{Y_i\}, i=\overline{1,t}$ - соответственно подмножества входных и выходных параметров системы.

В четвертом параграфе рассматривается алгоритмическая модель на основе алгебры над ТФ, представляющая собой трехуровневую систему управления. Модель управления СС следующая: отношение вида $R:D$, где $R-$ множество рабочих мест, а D – множество партий деталей, полученное в результате построения динамической таблицы функционирования, является составной частью более широкого отношения $R:D:O$. В силу свойство транзитивности всех отношений можно построить следующее преобразование ТФ: $R:D\to D:O\to O:U$, где $U=\{\text{УП}\}$ – управляющая программа. Следовательно, последовательное преобразование $R:U$ осуществляется на верхнем уровне управления, когда при планировании производственного процесса получается ТФ с отношением вида $R:D$, а стационарные ТФ с отношениями вида $D:O$ и

$O:U$ получаются в результате работы алгоритмов технологической подготовки производства.

На основе анализа уравнения $\overline{Y}_1 = Y_0 + A\overline{x},\ A\overline{W} = 0$ доказывается существование нетривиальной фундаментальной системы решения для ТФ, заданной в виде матрицы A. Нахождение системы векторов W означает сохранение ТФ при разметке одним из векторов. Здесь в качестве вектора Y используется начальное состояние ТФ, x - вектор выполненных операций, A - матричная форма ТФ, $\overline{Y}_1$ - конечное состояние ТФ. Решение уравнений производится с помощью мажорантные локальные алгоритмы Ю.И.Журавлева. При определении ограничений на пропускную способность ТФ произведем нормирование, вычислим верхнюю и нижнюю границы позиций, определяющих материальный поток в ТФ: $t_k,\ a_{ij} \le x_{ij} \le t_k$. Здесь x_{ij} - нормированное значение позиции в t_k-й интервал времени; a_{ij} - значение i-й позиции для j-й операции в ТФ.

Преобразование в сетевую модель производится следующим образом:

$$\sum_{k=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left[\left(c_{2j}^k - c_{1j}^k\right)x_{2j}^k + c_{1j}^k b_j^k\right] \to \min,$$

где c_{2j}^k-стоимость спроса k-го продукта для j-го узла, c_{1j}^k-стоимость предложения k-го продукта j-го узла, x_{ij}^k-поток k-го продукта из i-го узла в j-й узел, b_j^k-спрос j-го узла для k-го продукта, при условии, что

$$\sum_{k=1}^{m} x_{2j}^k + S_{1j} = U_{2j},\ \sum_{j=1}^{n} x_{1j}^k = -a_2^k,\ \sum_{j=1}^{n}\left(U_{2j} - S_{2j}\right) = \sum_{j=1}^{m} a_2^k,\ \ j,k = \overline{1,n}.$$

Здесь a_2^k-предложения j-го узла для k-го продукта,

$$\sum_{i=1}^{2} X_{ij}^k = b_j^k,\ X_{2j} \le X_{ij}^k,$$

$$\sum_{i=1}^{2}\left(U_{ij} - S_{ij}\right) = \sum_{k=1}^{m} b_j^k \text{ или } S_{2j} \le \sum_{i=1}^{2} U_{ij} - \sum_{k=1}^{m} b_j^k,\ X_{ij}^k, S_{ij} \ge 0,\ j = \overline{1,n},\ k = \overline{1,\infty}.$$

Решение данной сетевой модели может быть получено одним из методов решения задачи максимального потока или мажорантным локальным алгоритмом.Таким образом, ТФ с отношениями $R:D$ и $R:O$ дают нам основную исходную технологическую информацию, необходимую для управления программным оборудованием. На локальном уровне управления динамические ТФ с отношением $R:U$ загружаются в управляющие мониторы в порядке, предписанном стационарной ТФ с $R:U$. Контроль за выполнением операций обработки осуществляется по стационарной ТФ с $R:O$.

В третьей главе **«Решение дискретных экстремальных задач для оптимизации процессов в сложных производственных системах»** излагаются методы дискретной математики для сложных систем и их применение для решения прикладных задач в математической кибернетике и в теории управляющих систем. Исследуются алгоритмы для решения отдельных классов дискретных экстремальных задач на отыскание точного оптимума. Анализируется методика построения алгоритмов, позволяющих получить приближенные решения экстремальных задач. Доказывается, что подавляющее большинство известных алгоритмов решения дискретных экстремальных задач по существу основаны на идее отказа от полного перебора. При получении алгоритмов используются процедуры расшифровки и нахождения максимального верхнего нуля (м.в.н.) монотонных булевых функций (м.б.ф.).

В данной главе также формулируются постановки задач расшифровки и поиска м.в.н. дискретных монотонных функций (д.м.ф.). Для решения задач расшифровки и поиска м.в.н. отдельных классов трехзначных монотонных функций даются оценки решения задач.

В первом параграфе излагаются процедуры расшифровки и нахождения м.в.н. д.м.ф., описываются методы решения задач, использующих процедуры расшифровки и поиска м.в.н. д.м.ф., которые применяются при проектировании и управлении СС в процессе оптимального синтеза управляющих систем и систем логического управления технологическими модулями.

В множестве наборов $S^n = \{\tilde{\alpha} = (\alpha_1,...,\alpha_n):\ \alpha_i \in S = \{0,1,2\}\}$ порядок $0<1,\ 0<2$ индуцирует частичный порядок: $\tilde{\beta} = (\beta_1,..,\beta_n) \le \tilde{\gamma} = (\gamma_1,..,\gamma_n)$, если $\beta_i \le \gamma_i$ по $0<1,\ 0<2$, где $i = \overline{1,\ n}.$

Рассмотрим структуру S^n. Цепью в S^n назовем множество $\{\tilde{\alpha}_{i_1},...,\tilde{\alpha}_{i_k}\}$ такое, что $\tilde{\alpha}_{i_1} \le ... \le \tilde{\alpha}_{i_k}$, $\tilde{\alpha}_{i_j} \in U_{i_j}$ $i = \overline{0,\ k},$ $(1 \le k \le n+1).$

Рассмотрим функции $f(x_1,...,x_n)$, заданные на наборах множества S^n и принимающие значения из S. Функция $f(x_1,...,x_n)$ называется монотонной относительного порядка $\le$, если для любых наборов $\tilde{\alpha}$ и $\tilde{\beta}$ в S^n таких, что $\tilde{\alpha}_i \le \tilde{\beta}_j$, имеет место соотношение $f(\tilde{\alpha}_i) \le f(\tilde{\beta}_j)$.

Обозначим через M_n множество всех монотонных функций от n переменных на структуре S^n. Совокупность всех функций, монотонных относительно порядка $0<1,\ 0<2$, назовем классом σ.

Набор $\tilde{\alpha} \in \tilde{M}$ назовем верхним нулем (нижней единицей) функции $f \in M_n$, если $f(\tilde{\alpha}) = 0$ $(f(\tilde{\alpha}) \ne 0)$, и для $\forall \tilde{\beta} \in M^n$ набора из $\tilde{\alpha} \le \tilde{\beta}$ $(\tilde{\alpha} \ge \tilde{\beta})$ следует, что $f(\tilde{\alpha}) \ne 0$ $(f(\tilde{\alpha}) = 0)$. Верхний нуль (нижняя единица) $\tilde{\alpha}$ функции $f \in M_n$ называется ее м.в.н. (минимальной нижней единицей (м.н.ед)), если для любого верхнего нуля (нижней единицы) $\tilde{\beta}$ функции f будет $|\tilde{\beta}| < |\tilde{\alpha}|$ $(|\tilde{\beta}| > |\tilde{\alpha}|)$.

Задача расшифровки монотонных функций. Если некоторая (известная нам) монотонная функция $f \in M_n$ задана оператором A_f, то требуется минимальным числом обращений к A_f полностью восстановить таблицу значений монотонной функции $f(x_1,...,x_n)$, т.е. определить значение данной функции на всех точках $\tilde{M}$.

Задача поиска м.в.н. монотонных функций. Если некоторая функция $f \in M_n$ задана оператором A_f то потребуется минимальным числом обращений к A_f

найти хотя бы один м.в.н. функции $f(x_1,...,x_n)$. Очевидно, что аналогичной задачей является поиск м.н.ед. функции $f(x_1,...,x_n)$ минимальным числом обращений к оператору.

Рассмотрим множество алгоритмов $\{F\}$, позволяющих решать задачу расшифровки, т.е. множество алгоритмов, которые для произвольной функции $f \in M_n$ с помощью оператора A_f полностью восстанавливают таблицу значений $f(x_1,...,x_n)$.

Пусть $\varphi(F,f)$-число обращений к оператору A_f, достаточное для восстановления таблицы значений монотонной функции $f(x_1,...,x_n)$ при применении алгоритма F. Рассмотрим функции $\varphi(F,n)=\max_f \varphi(F,f)$ и $\varphi(n)=\min_F \varphi(F,n)$. Функция $\varphi(n)$ есть минимальное число обращений к оператору A_f достаточное для восстановления таблицы значений монотонной функции $f(x_1,...,x_n)$ при использовании алгоритма решающего поставленную задачу. Функция $\varphi(n)$ называется функцией Шеннона. Пусть $\{B\}$-множество алгоритмов поиска м.в.н. произвольной функции $f \in M_n$ с помощью оператора A_f. Введем функцию $\mu(B,f)$-число обращений к оператору A_f, достаточное для нахождения м.в.н. функции $f \in M_n$. Функция $\mu(n)=\min\limits_{B\in\{B\}}\max\limits_{f\in\{M_n\}}\mu(B,f)$ называется функцией Шеннона для задачи поиска м.в.н.

Лемма 1. Пусть $q=[(2\text{n}-1)/3]$. Если $2n-1=3m$, где m-целое число, то в S^n существуют два максимальных по числу наборов уровня: U_q и U_{q+1}. В остальных случаях U_q является единственным максимальным уровнем.

Лемма 2. Множество S^n может быть представлено в виде $C_n^q 2^n$ цепей, где $q=[(2\text{n}-1)/3]+1$.

Цепи, построенные в лемме 2, назовем *Г*-цепями. Пусть для произвольной функции $f(x_1,...,x_n)$ класса σ любой алгоритм F с помощью оператора A_f полностью восстанавливает таблицу значений функции *f*. Оценим число $\varphi(n)$.

Теорема 3. Минимальное число обращений функция $\varphi(n)$ к оператору A_f, достаточное для восстановления таблицы значений функции $f(x_1,...,x_n)$ в классе σ, удовлетворяет следующей оценке:

$$\sum_{i=0}^{1} C_n^{q+i}2^{q+i} \le \varphi(n) \le \sqrt{\frac{3^{2n}}{\pi n}\left(\frac{2}{2\sqrt[3]{2}-1}\right)^3}\,(1+\varepsilon(n)),\ \text{где}\ q=[(2\text{n}-1)/3]+1,\ \varphi(n)=O\left(\frac{3^n}{\sqrt{n}}\right) -$$

функция Шеннона, A_f - оператор восстановления таблицы значений монотонной функции $f(x_1,...,x_n)$, σ - совокупность всех монотонных функций относительно порядка $0<1,\ 0<2$.

Рассмотрим дискретную задачу $Z_s \in \{Z_s\}, (Z'_s \in \{Z'_s\})$ поиска всех экстремумов (глобального экстремума) функционала F объекта $S \in \{S\}$. Очевидно, что множество $\{Z_s\}, (\{Z'_s\})$ взаимно-однозначно соответствует совокупности $\{S\}$. Например, если S есть частично определенная функция k-значной логики $F(x_1,...,x_n)$ то $Z_F \in \{Z_F\}, (Z'_F \in \{Z'_F\})$ формируется как задача поиска всех совокупностей (минимальной совокупности) переменных, существенных для $F(x_1,...,x_n) \in \{F_n\}$, где $\{F_n\}$-множество всех частично-определенных функций k-значной логики, зависящих от n - переменных.

Пусть объекту S соответствует монотонная функция $\varphi(y_1,...,y_n) \in M$, заданная на конечной структуре $\tilde{M}$. Причем верхние нули функции φ_s взаимно-однозначно соответствуют экстремумам функционала F объекта S.

Предположим, что задача Z_s соответствует задаче расшифровки φ_s и Z'_S-поиска м.в.н. φ_s. Будем говорить о полном ведении множества $\{Z_s\}$ задаче расшифровки, если для любой функции $f \in M_n$ существует M_n из $\{Z_s\}$ такая, что $\varphi_s = f$. Обозначим через $\{f_{\tilde{\alpha}}\}$ совокупность (класс) монотонных функций из M_n, у которых $\tilde{\alpha} \in M$ есть максимальный верхний нуль. Будем считать, что задача Z'_S соответствует классу $\{f_{\tilde{\alpha}}\}$, если $\varphi_s = \{f_{\tilde{\alpha}}\}$. В случае, когда для любого набора $\tilde{\alpha} \in M_n$ существует Z'_S такая, что $\varphi_s = \{f_{\tilde{\alpha}}\}$., то будем говорить о полном сведении совокупности $\{Z'_s\}$ поиску м.в.н. функций в M_n. В противном случае сведение считается неполным.

Теорема 4. Если существует полное сведение совокупности $\{Z_s\}$ к задаче расшифровки в M_n, то сведение совокупности $\{Z'_s\}$ к поиску м.в.н. функций в M_n является полным

Пусть $f(x_1,...,x_n)$ - булевая функция, $\{Z_s\}$-класс задач Z построения сокращенных дизъюнктивных нормальных форм (д.н.ф.) для всех булевых функций $f(x)$. Рассмотрим монотонную функцию $g(y_1,...,y_n) \in S^n$, соответствующую $f(x_1,...,x_n)$.

Теорема 5. Сведение класса $\{Z\}$ построения сокращенных д.н.ф. для всех булевых функций $f(x)$. к задаче расшифровки является неполным.

Пусть $F(x_1,...,x_n)$-произвольная невсюду определенная функция k-значной логики, Z'_f-задача поиска минимальной совокупности переменных, существенных для F и φ_F-монотонная булевая функция (м.б.ф.), соответствующая F. Допустим, что $\alpha_{i_1},...,\alpha_{i_k}$-нулевые координаты набора $(\alpha_1,...,\alpha_n) \in E_n^2$. Положим

$$\varphi_T = \begin{cases} 0, \text{ если } \{x_{i_1},...,x_{i_k}\} \in \{T\}. \\ 1 \quad \text{в противном случае} \end{cases}$$

Теорема 6. Для функции Шеннона $\mu(n)$ поиска м.в.н. в классе $\{\varphi_F\}_n$ всех м.б.ф. φ_F, соответствующих $F \in \{F\}_n$ справедливо $\mu(n) = C_n^{[n/2]+1}$.

Теорема 7. Пусть Z'_T в $\{Z'_T\}$, соответствующая $\{T\}$, состоит в поиске минимального теста таблицы. Положим φ_T-м.б.ф., соответствующая T. Сведение $\{Z'_T\}$ поиска минимального теста таблицы к поиску м.в.н. функций в M_n является неполным.

Теорема 8. Пусть задача Z'_T состоит в поиске минимального покрытия столбцов матрицы $E = \|\alpha_{ij}\|_{\min}$ строками и φ_T - м.б.ф., соответствующая Z'_T. Сведение $\{Z'_T\}$ поиска минимального покрытия столбцов матрицы $E = \|\alpha_{ij}\|_{\min}$ строками к поиску м.в.н. функций в M_n является полным.

Теорема 9. Пусть $\mathfrak{M} = \{f_1, ..., f_m\}$-система функций $f_i(x_1, ..., x_n),\ i = \overline{1, m}$ алгебры логики. Задача Z'_m состоит в поиске минимальной совокупности переменных, существенных для $\mathfrak{M}$ и φ_m-м.б.ф., соответствующая $\mathfrak{M}$. Сведение Z'_m поиска минимальной совокупности переменных, существенных для $\mathfrak{M}$ к поиску м.в.н. функций в M_n является полным.

Теорема 10. Пусть $f_c = \mathfrak{A}_1 \vee ... \vee \mathfrak{A}_m$ - сокращенная д.н.ф. булевой функции $f_c(x_1, ..., x_n)$. Задача Z'_f состоит в построении кратчайшей д.н.ф. f. Положим φ_f – монотонная функция M_n, соответствующая $f_c(x_1, ..., x_n)$. Сведение $\{Z'_f\}$ построения кратчайшей д.н.ф. f. к поиску м.в.н. функций в M_n является неполным.

Теорема 11. Пусть $\mathfrak{M}$ – система из m неравенств. Задача Z'_m состоит в поиске максимальной совместной подсистемы системы $\mathfrak{M}$. Положим φ_m – монотонная функция алгебры логики, соответствующая $m, \varphi_m \in M_n$. Сведение Z'_m поиска максимальной совместной подсистемы системы $\mathfrak{M}$ к поиску м.в.н. функций в M_n является полным.

Теорема 12. Пусть $K = \{x_{i_1}, ..., x_{i_{k_j}}\}$-слагаемое высказывания уравнения $\bigvee_{j=1}^{q}\left(x_{i_1} \vee ... \vee x_{i_{k_j}}\right) = 1.$ Тогда слагаемое K образует тупиковый тест,

K_j \ S_i	x_1	x_2	$\cdots\ \cdots$	x_n
S_1	α_{11}	α_{12}	$\cdots\ \cdots$	α_{1n}
S_2	α_{21}	α_{11}	$\cdots\ \cdots$	α_{2n}
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\cdots\ \cdots$	$\vdots$
S_m	α_{m1}	α_{m2}	$\cdots\ \cdots$	α_{mn}

причем число слагаемых K равно числу всех тупиковых тестов.

Во втором параграфе решаются задачи синтеза минимальных тестов, тестеров таблиц, совокупностей существенных для не всюду определенных функций k-значной логики и систем частичных булевых функций покрытий бинарных таблиц, кратчайших д.н.ф. булевых функций и максимальных совместных подсистем систем булевых уравнений. Для этой цели применяются алгоритмы поиска м.в.н. м.б.ф., использующие особенности решаемых задач.

Продолжение функции по принципу инвариантности. Согласно работам Ю.И.Журавлёва, продолжение функции с помощью формул типа д.н.ф. существенно зависит от того, какими символами закодировано значение функции. Так, если в множестве $E_k=\{0,1,...,k-1\}$ провести перестановку π, то функцию F_1^1, построенную по новой кодировке, нельзя получить из предыдущей функции F' перестановкой π, примененной к компонентам набора. Однако существует подмножество вершин решетки E_n^k, на котором продолжение не зависит от принятой кодировки. На элементах этого подмножества значение F_1' получается применением к F' перестановки π. Подмножество $\hat{M}$, обладающее этим свойством, является, вообще говоря, расширением подмножества $\tilde{M}_F$, с которого строилось продолжение корректора. При попадании набора $\{P_j^A(S)\}, i=\overline{1,n}$ в $\hat{M}$ достоверность корректора цепи можно считать достаточно высокой. Оказывается, что множество $\hat{M}$ может быть эффективно построено и исследовано, что и делается в настоящем диссертационном исследовании. Рассмотрим функцию $F(x_1,...,x_n)$ многозначной логики, заданную на $M\subseteq E_n^k$: $F(\tilde{x})=\gamma_j$, если $\tilde{x}\in M_j, \left(j=\overline{0,k-1}\right)$, $M=\bigcup_{i=0}^{m} M_i$ и $M_i\bigcap M_j=\varnothing$, $i\neq j$. Обозначим через $\{\pi\}$ совокупность всех перестановок множества $\{0,1,...,k-1\}$: $\pi=\{i_l\}_{l=0}^{k-1}$. Функции $F_\pi(\tilde{x})=i_j$, если $\tilde{x}\in M_j, \left(j=\overline{0,k-1}\right)$, назовем π – перестановкой $F(\tilde{x})$. Предположим, что точка $\tilde{\alpha}\in E_n^k\setminus \mathrm{M}$ сохраняет кодировку (код) множества $M_j\subseteq M$, $j=\overline{0,k-1}$ относительно перестановки π, если $\mathfrak{N}_{\Sigma TF}(\tilde{\alpha})=j$ и $\mathfrak{N}_{\Sigma TF_\pi}(\tilde{\alpha})=i_j$. Точку $\tilde{\alpha}\in E_n^k\setminus \mathrm{M}$ назовем точкой, сохраняющей кодировку множества M_j, если она сохраняет кодировку M_j относительно любой перестановки $\pi\in\{\pi\}$.

Теорема 13. Пусть $\mathfrak{M}=\bigvee_{\pi:\pi\in(\pi)}\mathfrak{N}_{\Sigma TF_\pi}$. Точка $\tilde{\alpha}\in E_n^k\setminus\bigcup_{i=0}^{k-1}M_i$ сохраняет код множества M_j в том и только в том случае, когда в д.н.ф. $\mathfrak{M}$ существует $\exists\mathfrak{A}$ элементарных конъюнкций (э.к.) такая, что $N_{\mathfrak{A}}\bigcap M_j\neq\varnothing$, $\tilde{\alpha}\in N_{\mathfrak{A}}$ и $N_{\mathfrak{A}}\bigcap M_i=\varnothing$, $i=0,...,j-1,j+1,...,k-1$ для каждого интервала $N_{\mathfrak{A}}$, где э.к. $\mathfrak{A}\subset\mathfrak{M}$ $\mathfrak{A}\bigcap M_i\neq\varnothing$, $(i\neq j)$ и содержит точку M_j.

В третьем параграфе приводятся методы расшифровки монотонных функций трехзначной логики в решении задач минимизации булевых функций и логической отделимости, описываются методы кодирования э.к. парами чисел в десятичной системе исчисления и даются критерии преобразования логических выражений над кодами э.к., определяются сложности существующих методов и приближенных алгоритмов минимизации булевых функций.

Решается задача о совместной минимизации систем булевых функций на основе поиска м.в.н. м.б.ф., дается алгоритмическая схема решения дискретных экстремальных задач методами расшифровки и поиска м.в.н. д.м.ф, вычисляются параметры алгоритма поиска м.в.н. м.б.ф. для решения отдельных классов дискретных экстремальных задач.

В теории д.н.ф. большую роль играют как метрические (количественные) оценки сложности функций и д.н.ф., так и полученные на их основе оценки сложности и результативности минимизации.

Рассмотрим булевые функции $f\left(x_1,...,x_n\right)$ и частичные булевых функций $F\left(x_1,...,x_n\right)$. Как и прежде, обозначим через P^n $\left(\tilde{P}^n\right)$ множество всех функций $f\left(x_1,...,x_n\right)\left(F\left(x_1,\ldots,x_n\right)\right)$ от n переменных.

Пусть $l'_c\left(f\right), l_{kp}\left(f\right), l_T\left(f\right)$ – число э.к. сокращенной, кратчайшей, самой длинной тупиковой д.н.ф. функции f, $l_m\left(f\right)$ – сложность (количество э.к.) минимальной д.н.ф. функции f, $t\left(f\right)$ – число тупиковых д.н.ф., $f\left(\tilde{x}\right)$, $N=|N_f|$, $S\left(f\right)$ – число э.к. в окрестности первого порядка интервалов, N'_f, l_f – мощность максимального интервала в N_f, $l_{\tilde{\alpha}}\left(f\right)$ $\left(l^p_{\tilde{\alpha}}\left(f\right)\right)$ – число (P-мерных) интервалов, проходящих через точку $\tilde{\alpha}\in N_f$, $\prod_{\mathfrak{A}}^{(f)}=\sum_{j=1}^{l} r_{i_j}-r$, где r $r_{i_1},\ldots,r_{i_l}$ ранги э.к. $\left\{\mathfrak{A}_{i_k}\right\}, k=\overline{1,l}$ из окрестности первого порядка э.к. в сокращенной д.н.ф. $D^c\left(f\right)$. Положим, что $C_f\left(A\right)$ – сложность алгоритма A минимизации f, $\Upsilon_f\left(A\right)$ $\left(R_f\left(A\right)\right)$ – отношение максимальной длины д.н.ф., получаемой в результате применения алгоритма A к длине кратчайшей (минимальной) д.н.ф. функции f. Пусть $l_c\left(n\right)$, $I_{kp}\left(n\right)$, $I_T\left(n\right)$, $I_M\left(n\right)$, $C\left(A\right)$, $\Upsilon_n\left(A\right)$, $R_n\left(A\right)$ – функции Шеннона для введенных выше параметров.

Очевидно, что все параметры вводятся аналогично и для $F\in\tilde{P}^n$. Исследуем сложность $C_f\left(A\right)$ и отношения $\Upsilon_f\left(A\right)$ функций $f\in P^n$.

Рассмотрим оценки для $S\left(f\right),\prod\left(f\right), l_{\tilde{\alpha}}$.

Теорема 14. Пусть k – мерный интервал $N_{\mathfrak{A}}\left(N_{\mathfrak{A}'}\right)$ конъюнкции $\mathfrak{A}\left(\mathfrak{A}'\right)$ натянут на наборы $\tilde{\alpha},\tilde{\beta}$, $\left(\tilde{\alpha}',\tilde{\beta}'\right)$ и $A,B,\left(A',B'\right)$ номера наборов $\tilde{\alpha},\tilde{\beta}$, $\left(\tilde{\alpha}',\tilde{\beta}'\right)$ соответственно. Если $\left|\tilde{\alpha}\right|=\left|\tilde{\alpha}'\right|-1$, $\left|\tilde{\beta}\right|=\left|\tilde{\beta}\right|-1$, $A<A'$, $B<B'$ и $\left|A-A'\right|=\left|B-B'\right|=2^l$, $\left(0\le l\le n-1\right)$, то $N_{\mathfrak{A}}\cup N_{\mathfrak{A}'}$ образует $\left(k+1\right)$-мерный интервал, натянутый на наборы $\tilde{\alpha}$, $\tilde{\beta}$ и соответствующий конъюнкции $\mathfrak{A}\vee\mathfrak{A}'$.

Лемма 3. Почти у всех функций алгебры логики через одну точку проходит не более $n^{\left(1+\gamma_n\right)\log_2\log_2 n}$ интервалов.

Теорема 15. Для почти всех функций $f(\tilde{x})$ справедлива оценка

$$n^{(1-\varepsilon'_n)\log_2\log_2 n} \le S(f) \le n^{(1+\varepsilon''_n)\log_2\log_2 n}, \text{ где } \varepsilon'_n, \varepsilon''_n \to 0 \text{ при } n \to \infty.$$

Следствие. Для почти всех функций P^n справедливы оценки

$$n^{(1-\gamma'_n)\log_2\log_2 n} \le \prod(f) \le n^{(1+\gamma''_n)\log_2\log_2 n}, \text{ где } \gamma'_n,\ \gamma''_n \to 0 \text{ при } n \to \infty.$$

Рассмотрим оценки параметров $C_f(A)$, $\Upsilon_f(A)$, $R_f(A)$ функций $f(\tilde{x})$ для различных алгоритмов минимизации.

Очевидно, что $\Upsilon_f(A) = R_f(A) = 1$ для всех $f \in P^n$. Для локальных $A_{ГА}$ алгоритмов имеем

$$C_f(A_{ГА}) = \left[(l_c-1) + S(l_c-2)l_c \ge \left(2^{2^n}\right) n^{3\log_2\log_2 n(1-\varepsilon_n)}\right]$$

для почти всех функций P^n, где $\varepsilon_n \to 0$ при $n \to \infty$. Причем $\Upsilon_f(A_{ГА}) \sim 3^{n(1-\tilde{\varepsilon}_n)}$, $\tilde{\varepsilon}_n \to 0$ при $n \to \infty$.

Легко вычислить

$$C_f(A_\psi) \le 2^{l_c}(l_c-1) + l_f S l_c + C_{l_c}^{[l_c/2]} + 1 \sim 2^{2^{n\left(n^{\log_2\log_2 n(1+\delta_n)}\right)}},\ \delta_n \to 0 \text{ при } n \to \infty;$$

$$C_f(A'_\psi) \le 2^{l_c}(l_c-1) + l_f S l_c + C_{l_c}^{[l_c/2]} + C_{l_c}^{[l_c/2]+1} + 1 \sim 2^{2^n n^{\log_2\log_2 n(1+\delta'_n)}},\ \delta'_n \to 0,\ n \to \infty;$$

$$C_f(A''_\psi) \le (l_c-1)(2l_c + l_f S) + l_c S l_f \le 2^{2^n} n^{2\log_2\log_2 n(1+\delta''_n)},\ \delta''_n \to 0 \text{ при } n \to \infty.$$

Ясно что $\Upsilon_{A_\psi} = \Upsilon'_{A_\psi} = 1,\ R_f(A_\Psi) = 1$.

Рассмотрим алгоритм наискорейшего спуска $A_{ГА}$ (градиентный алгоритм). Сложность всех шагов $A_{ГА}$:

$$C_f(A_{ГА}) \le (m + N + lm)l^{kp} \le 2^{2n} n^{\log_2\log_2 n}(1+\varepsilon_n), \text{ где } \varepsilon_n \to \infty \text{ при } n \to \infty.$$

В алгоритмах $A_Г$ и $A_К$ предлагается выбор интервалов N по заданным направлениям $\lambda_1,\dots,\lambda_m$, где $\lambda_1 = \{i_1,\dots,i_k\} \subseteq \{1,2,\dots,n\}$. Для

$$A_Г - m = [2^{2^k}\log_2\log_2 n],\ k = \left[\log_2\left(\log_2 n - 3\log_2\left(\log_2\left(\log_2 n\right)\right)\right)\right]$$

и для

$$A_k - m' \sim C2^{2^{k_0}} / \log_2 l \text{ где } k_0 = \left[\log_2\left(\log_2 n + \log_2\left(\log_2 n\right)\right)\right]$$

и C - константа

$$k \in \left[\log_2\left[(\log_2 n) + \left(\log_2\left(\log_2 n\right)\right)\right],\ \log_2\left(\log_2 n\right)\right].$$

Нетрудно заметить, что для $A_Г$ и $A_К$

$$C_f(A_Г) - C_f(A_К) \le m'2^{n-k}(m + lS) \le 2^{2n} n^{\log_2\log_2 n}(1+\varepsilon_n).$$

Рассматривается алгоритмическая (вычислительная) система поиска локальных и глобального экстремумов функционала $\tilde{O}_s$ объектов S и решения прикладных задач на основе найденных экстремумов. Функционирование такой системы исследуется на примере решения задач минимизации булевых функций, логической отделимости, синтеза минимальных тестов (тесторов) и поиска максимальной совместной подсистемы систем булевых уравнений.

Четвертая глава диссертации **«Автоматизированная алгоритмическая технологическая логическая агрегативная система для сложных производственных технологий (**АТЛАС)**»** посвящена описанию системы для решения задачи построения алгоритма управления СС на основе ТФ. Для построения системы АТЛАС используется алгоритмический метод формализации процесса моделирования и управления техническими системами.

В первом параграфе АТЛАС строится как система, состоящая из четырех банков: банка ПП, банка данных, банка признаков и операционного банка. Операционная часть каждого компонента определяет операции и правила выполнения их над информационной частью банка. Информационная часть банка в таком случае имеет сложную логическую структуру и соответствующие средства доступа к ней из операционной части банка.

Во втором параграфе описан банк операций, который в алгоритмической системе является ее ядром. Основными функциями его являются: ведение диалога с пользователем, управление операционными частями банков алгоритмической системы, инициализация системы и восстановление системы после сбоев. Работа банка состоит из пяти этапов: инициализации системы, выбора признаков, выбора моделей задач, настройки программного обеспечения и счета. В банке признаков размещены признаки задач, позволяющие на основании допустимой для данной системы группы признаков определить необходимые модели и алгоритмы задачи и провести выбор соответствующих им программ. Структурно-информационная часть банка признаков представляет собой иерархическую систему, состоящую из пяти уровней.

В третьем параграфе модели задач и описания технологических процессов сформированы в банк прикладных программ (БПП) в виде ТФ. По результатам взаимодействия оперативного персонала СУ банком БПП системы в режиме диалога и по данным банка признаков создается и анализируется общая модель системы управления.

При этом, прежде всего, определяются типы задач. Для алгоритмической системы АТЛАС выделяются три группы задач: 1) оперативного планирования; 2) контроля; 3) анализа и регулирования производственных ситуаций. Для каждого типа задач по заданным признакам определяются и соответствующие им модели. Для первого типа по заданному характеру и типу производства определяются модели планирования и критерии оптимизации. По определенным в диалоге признакам анализируются и выбираются формы ввода-вывода для оперативного персонала, а также смежных и верхних уровней управления. Такой подход к настройке входных и выходных форм позволяет использовать единую базу данных для отображения непересекающихся комплектов реквизитов.

Согласно материалам четвертого параграфа, банк данных по своему составу представляет организационные списковые структуры данных, описание которых находится в банке признаков систем. Количество исходных данных заранее не определяется и зависит от области решаемых задач. По своему назначению банк данных предназначен для сглаживания временных резервов между отдельными решаемыми задачами, а также для централизованного хранения и обеспечения достоверности и надежности информации.

Пятая глава – **«Реализация алгоритмической технологической логической агрегативной системы в производственных объектах»** – содержит анализ цели применения алгоритмической системы АТЛАС, построения алгоритма управления СС с дискретным характером функционирования на основе ТФ в процессе динамического изменения производственных ситуаций, введения имитационной модели в реальном масштабе времени для изучения состояния технологического процесса.

В первом и втором параграфе рассматривается АТЛАС для построения алгоритма управления СС. Таблицу функционирования технологического процесса (ТП) производства металлизации печатных плат (МПП) можно представить в виде матриц $D^{+}, D^{-}\left(D^{+}\left(D^{-}\right)\right)$ – матрица выходных (входных) позиций переходов ТФ следующим образом: матрица $D=\left\|a_{ij}\right\|$, матрицы D^{+} и D^{-} имеют размерности 43×120, где 43 – количество переходов, 120 – количество позиций. Они близки к диагональному виду и сильно разрежены. Для анализа ТФ решается уравнение $D\bar{W}=0$, где $D=D^{+}-D^{-}$; $\bar{W}$ – система векторов переменных, значения которых соответствуют фундаментальной системе решений уравнения $D\bar{W}=0$.

Поскольку в $\bar{W}$ хотя бы один компонент отличен от нуля и является сохраняющим разметку маркеров, для проверки правильности функционирования построенной модели решаем уравнение $\bar{\mu}_k=\bar{\mu}_0+\bar{x}D$, где $D=D^{+}-D^{-}$; $\mu_k\left(\bar{\mu}_0\right)$ – вектор конечной (начальной) разметки; x – вектор переменных активных переходов.

Для начальной и конечной разметок необходимо, чтобы все позиции, описывающие информацию о наличии материалов, приспособлений и готовности оборудований, были размечены. Достаточным условием начальной разметки является разметка входной позиции первого перехода, что соответствует информации о наличии заготовок для материального потока. Вектор начальной разметки $\bar{\mu}_0$ равен

$$\bar{\mu}_0=(1111011011011011011011011011011011011011011011011011011101101101$$
$$10110110110110110110110110110110110110110110110110110110110110110).$$

Достаточным условием конечной разметки является разметка выходной позиции последнего перехода, что соответствует информации о наличии выхода готовой продукции для материального потока. Вектор конечной разметки $\bar{\mu}_k$ равен

$$\bar{\mu}_k=(1011011011011011011011011011011011011011011011011011011011011011$$
$$0110110110110110110110110110110110110110110110110110110110110).$$

Решение уравнения $\bar{\mu}_k = \bar{\mu}_0 + \bar{x}D$ дает вектор активных (задействованных) переходов. Вектор активных переходов показывает, что полученная модель является циклической и все технологические операции выполнимы.

При определении ограничений на пропускную способность сети ТФ ТП производственных системах осуществляется декомпозиция ТФ на участки и линии, с учетом имеющегося оборудования. Зная производительность каждого из видов оборудования, вычисляем нормированные верхние и нижние границы позиций, определяющие материальный поток в ТФ.

Предполагается применение встроенных систем логического управления для обеспечения оперативного учета и управления установкой, смешивания и дозирования химических реагентов. Моделью системы управления АСУ ТП является управляющий автомат, реализующий следующий алгоритм управления: обращение за командным словом к памяти устройства по начальному адресу; дешифрация командного слова и выработка исполнительной команды; Передача команды к исполнительным устройствам; если команда содержит выдержку времени, то включается внутренний таймер, отсчитывающий заданное время; прием сигналов обратной связи.

Параметры базовой схемы, реализованной на базовом ТЭЗ, следующие: число входных полюсов-32, выходных-32, элементов памяти-8, функций возбуждения, значения которых формируются на выходах ПЛМ-4, число ПЛМ-4, число ПЗУ-3, кратность ПЛМ (общее количество ПЛМ в базовой схеме определяется перемножением числа ПЛМ на кратность ПЛМ)-2. С помощью САПР «Синтез» на ЭВМ получается управляющая программа для настройки ПЛМ и ПЗУ базового ТЭЗ на программирующем оборудовании.

В третьем параграфе даётся машинная реализация алгоритмов решения дискретных экстремальных задач на отыскание точного оптимума. Рассмотрим симметрическую булевую функцию $f\left(x_1,...,x_n\right)$ от n переменных, областью определения которой являются наборы уровней $U_{p+1}, U_{p+2}, \ldots, U_{p+l}$ в $E_n^2,\ i,p \in \{0,1,...,n\}$. Сокращенная д.н.ф. D_c^f функции $f\left(x_1,...,x_n\right)$ состоит из э.к., соответствующих максимальным интервалам в $\bigcup_{j=0}^{i} U_{p+j}$. Объектом исследования является д.н.ф. D_c, состоящая из элементарной конюнкции сокращенной д.н.ф. D_c^f функции f, причем $N_{f'} \subset N_f$. Исследуются д.н.ф. D_c' с количеством элементарной конюнкции $N \le 2^m$ и $m = 5,6$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведённого диссертационного исследования на тему «Алгоритмические модели управления сложными системами на основе алгебры над таблицами функционирования» сводятся к следующему:

разработана методология создания алгоритмических моделей на основе конечных автоматов, таблиц функционирования, и методов их преобразования, позволяющая теоретически обосновать методы и технологии алгоритмизации управления сложными системами;

предложена таблица функционирования, позволяющая формализовать представление моделей сложных систем, алгоритмов управления, процессов принятия решений и методов построения оптимизационных моделей с целью управления сложными системами;

разработана алгоритмическая модель, позволяющая реализовать управление агрегативными системами с дискретным характером формальными математическими методами моделирования;

предложенное алгоритмическое решение дискретных экстремальных задач позволяет реализовать процессы принятия решений и проектирования в сложных системах, создавать мониторы управления агрегатами, представленных в виде конечных автоматов и булевых функций;

для алгоритмического решения дискретных экстремальных задач доказаны теоремы о существовании мажорантных алгоритмов управления для всех классов локально равных алгоритмов с одинаковой памятью;

решены задачи расшифровки и поиска максимальных верхних нулей для классов трехзначных монотонных функций в постановке Шеннона для алгоритмического решения дискретных экстремальных задач;

доказана теорема и разработан критерий сведения дискретных экстремальных задач к задаче расшифровки монотонных функций трехзначной логики;

доказана теорема об инвариантном продолжении частично определенных функций k–значной логики при алгоритмическом решении дискретных экстремальных задач для реализации процесса принятия решения;

разработана автоматизированная система, представляющая собой инструментальное средства управления и синтеза рабочих мест в агрегативных системах на примере дискретных производственных процессов;

при алгоритмическом подходе управление производственной системой обеспечивается построением и ведением в реальном масштабе времени имитационной модели функционирования системы на основе таблиц функционирования;

результаты диссертационной работы внедрены в Министерстве развития информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан, а также в Министерствах водного хозяйствах, сельского хозяйства, экономики и промышленности Каракалпакстана.

SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING OF THE SCIENTIFIC DEGREES DSc.03/30.12.2019.FM.01.02 AT NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN

NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN
NAMED AFTER MIRZO ULUGBEK

NORMATOV IBROKHIMALI KHOLMAMATOVICH

ALGORITHMIC CONTROL MODELS FOR COMPLEX SYSTEMS BASED ON ALGEBRA OVER FUNCTION TABLES

05.01.02 – Systemic analysis, management and information processing
(Physical and mathematical sciences)

ABSTRACT OF DOCTORAL DISSERTATION (DSc) ON PHYSICAL-AND MATHEMATICAL SCIENCES

Tashkent – 2020

The subject of doctoral dissertation is registered in the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan with number № B2020.4.DSc/FM124.

Doctoral dissertation is carried out at National university of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (summary)) on the website (http://ik-fizmat.nuu.uz/) and an the website of «ZiyoNet» Information and educational portal (www.ziyonet.uz).

Scientific adviser:	**Kabulov Anvar Vasilovich** doctor of technical sciences, professor
Official opponents:	**Igamberdiev Husan Zakirovich** doctor of technical sciences, professor, academician
	Shakenov Kanat Kozhakhmetovich doctor of physical and mathematical sciences, professor (Kazakhstan)
	Uteuliev Nietbai Uteulievich doctor of physical and mathematical sciences, professor
Leading organization:	**Turin polytechnic university in Tashkent city**

Defense will take place «15» december 2020 at 10:00 at the meeting of Scientific Council nuber DSc.03/30.12.2019.FM.01.02 at National University of Uzbekistan (Address: 100174, Uzbekistan, Tashkent city, Almazar district, University str. 4. Ph.: (99871) 227-12-24, fax: (99871) 246-53-21, 246-02-24, e-mail: nauka@nuu.uz).

Doctoral dissertation is possible to review in Information-resourse centre at National University of Uzbekistan (is registered №99). (Address: 100174, Uzbekistan, Tashkent city, Almazar area, University str. 4. Ph.: (99871) 246-02-24).

Abstract of dissertation sent out on «9» december 2020 year.

(Mailing report № 21 on 3 december 2020 year).

A.R.Marakhimov
Chairman of the Scientific Council
on award scientific degrees,
D.T.S., professor

Z.R.Rakhmonov
Scientific Secretary of Scientific Council
on award of Scientific degrees, D.F.M.S.

N.A.Ignatev
Chairman of Scientific Seminar under Scientific
Council On award of Scientific degrees,
D.F.M.S., professor

INTRODUCTION (abstract of the dissertation of doctor of science (DSc))

The aim of the research work is to create algorithmic models for managing complex systems based on algebras over tables of functioning and mathematical modeling and their application in automated systems.

The object of the research work is the problems of analysis and synthesis of the control systems, patterns in control processes, development of control optimization algorithms in complex systems.

Scientific novelty of the research work is as follows:

a methodology for creating algorithmic models for managing complex systems based on functioning tables and finite state machines has been developed;

an algorithmic model and methods for the synthesis of complexes of workplaces for solving problems of managing complex systems according to functioning tables have been developed;

monitors for the control of aggregates presented in the form of finite state machines and boolean functions were created;

an algorithmic solution to discrete extreme problems for the implementation of the decision-making and design process in complex systems has been found;

the theorems on the existence of majorant control algorithms have been proved for all classes of locally equal algorithms with the same memory;

the problems of decoding and finding the maximum upper zeros for classes of three-valued monotone functions in Shannon's statement have been solved;

a theorem on the invariant continuation of partially defined functions of κ–valued logic has been proved for algorithmic solution of discrete extremal problems;

an algorithmic aggregate system for managing objects with a dynamic structure of relationships has been created.

Implementation of the research results. On the bais of scientific results obtained on the creation of algorithmic models for managing complex systems based on algebras over tables of functioning and mathematical modeling and their application in automated systems:

complex algorithms for solving discrete and extreme problems were used in the management of production processes of Takhiatosh don masulotlari JSC (reference of the Ministry of Information Technologies and Communications Development of the Republic of Uzbekistan dated November 26, 2019, №33-8/8342). Application of scientific results allowed to increase production efficiency by 20%;

the functional schedule and automatic control algorithm developed to optimize the control systems of complex objects and technological processes were used to optimize water consumption and energy consumption in the Water Management of the Takhiatash District (reference of the Ministry of Water Resources Republic of Karakalpakstan dated September 16, 2019, № 01/10-3-387). Application of scientific results allowed to reduce water and energy consumption by 15%;

an automated system for creating simulation models and control systems was used to optimize and modernize the management of business units and units of the Ministry of Economy and Industry of the Republic of Karakalpakstan (reference of the Ministry of Economy and Industry of the Republic of Karakalpakstan dated

November 25, 2019, №01/1499). The use of scientific results in the technological process allowed to increase production efficiency by 15%;

the theoretical foundations and universal methods of functional table algebra, designed to optimize control algorithms in complex systems, were used to reduce the consumption of raw materials and energy, as well as to prevent technical safety in the Nukus District Council of Farmers and Homeowners. (reference of the Ministry of Agriculture of the Republic of Karakalpakstan dated November 28, 2019, №01/03-3516). Application of scientific results allowed to increase agricultural production by 15%.

Structure and volume of the dissertation. The structure of the dissertation consists of introduction, five chapters, conclusion, references and appendices. The total volume of the dissertation is 253 pages, the main text of the work is set out on 194 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Кабулов В.К., Кабулов А.В., Норматов И.Х. Алгоритмические и логические методы в теории управляющих систем// – Монография: – Ташкент: «Наврўз», 2019. – 225 с.
2. Кабулов А.В. Норматов И.Х., Урунбаев Э., Ашуров А.О. Алгоритмизация дискретных экстремальных задач в проектировании и управлении сложными системами// – Монография: – Ташкент: «Наврўз», 2019. – 108 с.
3. Кабулов В.К., Кабулов А.В., Норматов И.Х. Алгоритмизация в теории управляющих систем// – Монография: – Ташкент: «Наврўз», 2017. – 173 с.
4. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Рахимова Ф.С. Математические методы и модели исследования операций// – Учебное пособие: – Ташкент, «Наврўз» 2018. – 172 с.
5. Кабулов А.В., Норматов И.Х. Принцип независимости продолжения корректора от кодировки// – Проблемы вычислительной и прикладной математики. – №1(2019). – С. 120–129 (05.00.00; №23).
6. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Каландаров И.И. Алгоритмический подход управления сложными системами на примере производственных объектов// – Доклады Академии наук РУз. 2017. № 1, С.33–35 (05.00.00; №9).
7. Норматов И.Х. Нелинейные краевые задачи для динамических систем с непрерывным и дискретным временем// – Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». 2014. –№ 6. С. 22–26 (05.00.00; №5).
8. Норматов И.Х. Классификация эволюционных уравнений в частных производных для конечномерных квадратичных стохастических процессов, построенных на конечном графе// – Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». – 2013. – № 3–4. – С. 19–23 (05.00.00; №5).
9. Норматов И.Х. Алгоритм доказательства теорем математики на компьютерах методами логики// – Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». – 2012. – № 4–5. – С. 13–17 (05.00.00; №5).
10. Норматов И.Х. Решение линейного и полулинейного уравнения математической физики в системе Maple// – Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». – 2010. – № 6. – С. 29–32 (05.00.00; №5).
11. Салихов Ш.И., Норматов И.Х. К анализу модели автоматизированной системы обработки информации со случайными потоками информации// – Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». – 2009. – № 5. – С. 17–21 (05.00.00; №5).
12. Кабулов В.К., Норматов И.Х. Вопросы кодирования законов алгебры// – Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». – 2007. № 5. – С. 78–82 (05.00.00; №5).
13. А.В.Кабулов, И.Х. Норматов, Э.Урунбаев О задачах расшифровки и поиска максимального верхнего нуля дискретных монотонных функций// –

Научный вестник СамГУ, 2020-yil, 1-son (119), ISSN 2091-5446, С. 4–14 (01.00.00; №2).
14. Кабулов А.В., Урунбаев Э., Норматов И.Х., Ашуров А.О. Представление логических операций в десятичной системе исчисления// – Научный вестник СамГУ, 2019-yil, 5-son (117), ISSN 2091-5446, С. 18–23 (01.00.00; №2).
15. Kabulov A.V., Urunbaev E., NormatovI.H., Ashurov A.O. Solution of systems of logic equations in recognition tasks// – Actual problems of mathematics, physics and mecanics, Electronic journal of actual problems of modern science, education and training, Urgench state university, Vol. 5, December, 2019, ISSN Online: 2181-9750 pp. 6–16 (01.00.00; №2).
16. Kabulov A.V., Normatov I.H., Urunbaev E., Ashurov A.O. Analytical transformations in minimizing logical functions// – Nukus State Pedagogical Institute named after Ajiniyaz «Scienct and Society», Scientific–methodical journal, Series: Natural–technical sciences. Social and economic sciences. Philological sciences, №4, 2019. – pp. 14–19 (01.00.00; №2).
17. Kabulov A.V., Urunbaev E., Normatov I.H., Ashurov A.O. About the problem of searching for sets of essential variable logic functions and tests of table// – Actual problems of mathematics, physics and mecanics, Electronic journal of actual problems of modern science, education and training, Urgench state university, V. 5, Dec., 2019, ISSN Online: 2181-9750 pp. 17–24 (01.00.00; №2).
18. Kabulov A.V., Urunbaev E., Normatov I., Ashurov A. Synthesis methods of optimal discrete corrective functions. Advances in Mathematics: Scientific Journal 9 (2020), no.9, 6467–6482 ISSN: 1857-8365 (printed); 1857-8438 (electronic) https://doi.org/10.37418/amsj.9.9.4 (№ 6, Scopus, IF = 0.1).
19. Kabulov A. V., Normatov I. H., Boltaev Sh, and Saymanov I. Logic method of classification of objects with non-joining classesa. Advancesin Mathematics: Scientific Journal 9 (2020), no.10, 8635–8646 ISSN: 1857-8365 (printed); 1857-8438 (electronic) https://doi.org/10.37418/amsj.9.10.89 (№ 6, Scopus, IF = 0.1).
20. Normatov I. H. and Kamolov E., "Development of an algorithm for optimizing the technological process of kaolin enrichment," 2020 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS), Vancouver, BC, Canada, 2020, pp. 1-4, DOI: 10.1109/IEMTRONICS51293.2020.9216371 (№ 6, Scopus, IF=10,36).
21. A. Kabulov, I. Normatov, A. Seytov and A. Kudaybergenov, "Optimal Management of Water Resources in Large Main Canals with Cascade Pumping Stations," 2020 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS), Vancouver, BC, Canada, 2020, pp. 1-4, DOI: 10.1109/IEMTRONICS51293.2020.9216402 (№ 6, Scopus, IF=10,36).
22. Kabulov A.V., Normatov I.H. and Karimov A. Algorithmization control of complex systems based on functioning tables// – Journal of Physics Conference Series 1441:012141·January 2020 DOI: 10.1088/1742–6596/1441/1/012141 pp. 1–9 (№ 6, Scopus, IF = 0.7).

23. .Kabulov A.V. and Normatov I.H. About problems of decoding and searching for the maximum upper zero of discrete monotone functions// – Journal of Physics Conference Series 1260(10):102006·August 2019 DOI: 10.1088/1742-6596/1260/10/102006 pp. – 1–7 (№ 6, Scopus, IF = 0.7).

24. .Kabulov A.V., Normatov I.H. and Ashurov A.O. Computational methods of minimization of multiple functions// – Journal of Physics Conference Series 1260(10):102007·August 2019 DOI: 10.1088/1742-6596/1260/10/102007 pp. – 1–10 (№ 6, Scopus, IF = 0.7).

25. Normatov I. H. Principle of independence of continuation of functions multivalued logic from coding// – Journal of Physics: Conference Series 1210(1):012107 May 2019 DOI: 10.1088/1742-6596/1210/1/012107 pp. 1–6 (№ 6, Scopus, IF = 0.7).

26. Kabulov A.V., Normatov I.H., Kalandarov, Karimov A.A. Algorithmic Method of organization of Specialized Workshops// – I.I. Inter/Jour.IJARSET, Vol. 5. Issue 4. April, 2018. pp. 5670–5675 (05.00.00; №8) (IF = 6.126).

II бўлим (II часть; II part)

27. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Ашуров А.О. Вычислительные методы минимизации *к*-значных функций// – Замонавий тадқиқотлар, инновациялар, техника ва технологияларнинг долзарб муаммолари ва ривожланиш тенденциялари мавзусидаги илмий-техник анжумани материаллари тўплами, Жиззах-2019 йил 4-5 апрель. С. 249–251.

28. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Ашуров А.О. О расшифровке и поиске максимального верхнего нуля дискретных монотонных функций// – «Innovative ideas, developments and current problems of their application in production as well as in training» international scientific and practical conference, April 15. – Andijan, 2019. – pp. 244–247.

29. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Каримов А., Наврузов Э. Киберхавфсизликда ахборотни ҳимоялашнинг алгоритмик тизими// – Доклады Республиканской научно-технической конференции «Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении» Самарканд, 5–6 сентября 2019. – С. 404–412.

30. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Каландаров И.И. Алгоритмический метод и программа обеспечения информационной безопасности// – Национальный университет Узбекистана, Тезисы международной конференции "Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий" 14-15 Ноября, Ташкент, 2019 – С. 241.

31. Кабулов В.К., Кабулов А.В., Норматов И.Х. Логические методы алгоритмизации в теории управляющих систем// – Монография: LAP Lambert RU Academic Publishing, Германия 2018, 191 с.

32. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Каландаров И.И. Алгоритмический метод планирования и управления производственными системами// – Azerbaycan Memarliq ve Insaat Universiteti AMEA Idareetme Sistemleri Institutu, Insaatda informasiya texnologiyalari ve sistemalerinin tetbiqi imkanlari ve

perspektivleri, Beynelxalq Elmi-Praktiki konfransin. –Baki, 05-06 iyul 2018 – ci il. S. 145–149.

33. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Варисов А Алгоритмические модели, методы и программное средство обнаружения и уничтожения угроз при обеспечении защиты информации на основе таблиц функционирования// – Материалы республиканской научно-практической конференции «Актуальные проблемы математического моделирования, алгоритмизации и программирования». 17–18 сентября, Ташкент, 2018. –С. 80–84.

34. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Варисов А.А., Каландаров И. И., Болтаев Ш., Бабаджанов А.А. Способ обеспечения информационной безопасности управляющих систем// Патент IAP 2018 0526 (22) 31.10.2018. Ташкент, 2020 год, 4(228).

35. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Болтаев Ш.Т., Ярашов И.К. Создание инфраструктуры открытых ключей на основе логических контроллеров. Сертификат № ЕС-01-002950. Дата выдачи 15.09.2020.

36. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Болтаев Ш.Т., Ярашов И.К. Программное обеспечение для формирования электронной цифровой подписи на микроконтроллере для пользователей в защищенной локальной сети. Сертификат № ЕС-01-002951. Дата выдачи 15.09.2020.

37. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Каландаров И.И, Болтаев Ш.Т, Юлдашов В.А. Гувохнома Тошкент шаҳрида рўйхатдан ўтказилган// – «Программа синтеза управляющего агрегата (монитора) на основе булевых функций в классе дизъюнктивных нормальных форм». № 3208. Берилган санаси: 28.12.2017 йилда Тошкент шаҳрида рўйхатдан ўтказилган.

38. Анарова Ш.А., Нуралиев Ф.М., Норматов И.Х. Эластиклик призматик жисмларнинг кучли-деформацияган ҳолатининг статик ечимини автоматлаштириш// Гувохнома № DGU 04276 05.06.2017 йилда Тошкент шаҳрида рўйхатдан ўтказилган.

39. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Каландаров И.И. Автоматизированная технологическая система управления// – «Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении». Материалы Республиканской научно-технической конференции. Ташкент, 5-6 сентября 2017. –С. 27–30.

40. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Муродов Г. Задача синтеза управляющего агрегата на основе стандартного описания производственных систем// – «Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении». Материалы Республиканской научно-технической конференции. Ташкент 5-6 сентября 2017. –С. 30–35.

41. Kabulov A.V., Normatov I.H., Kalandarov I.I. Algoritmic models of complex systems control on the basis of algebra over the operation tables// – The 4th International Conference on big data applications and services (BIGDAS2017), August 15-18, 2017 Tashkent, Uzbekistan, Hosted by National University of Uzbekistan, Korea Big Data Service Society. pp. 318–323.

42. Норматов И.Х., Рахимова Ф.С., Муратов Г.Г. Проблемы алгоритмизации управления сложными системами на основе алгебры над

таблицами функционирования// – VI International scientific conference. International innovation research. Сборник статей победителей VI Международной научной-практической конференции, состоявшейся 27 января 2017. г. Пенза, МЦНС «Наука и просвещение». – С. 77–99.

43. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Каландаров И.И. Алгоритмические модели управления сложными системами на основе таблиц функционирования// – Фундаментальные и прикладные научные исследования: Актуальные вопросы, достижения и инновации. Сб. статей победителей II Межд. научно-практической конференции, состоявшейся 15 декабря 2016. г. Пенза, МЦНС «Наука и просвещение». – С. 66–69.

44. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Каландаров И.И. Разработка принципов алгоритмизации в теории управляющих систем// – Доклады республиканской научно-технической конференции. Джизак, 5-6 сентября 2016 г. – С. 411–413.

45. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Каландаров И.И. Методика алгоритмизации проектирования встроенных систем управления на основе распределенных микропроцессорных систем на матричных БИС// – Доклады республиканской научно-технической конференции. Джизак, 5-6 сентября 2016 г. – С.413–417.

46. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Каландаров И.И., Болтаваев Ш.Т. Алгоритмизация в оптимальном управлении больших систем// – Труды V Международной конференции. Бухара, 9–10 ноября 2016 г. – С. 53–57.

47. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Каландаров И.И., Болтаваев Ш.Т. Алгоритмические модели управления сложными системами на основе алгебры над таблицами функционирования// Труды V Международной конференции. Бухара, 9–10 ноября 2016. – С. 57–61.

48. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Каландаров И.И. Разработка принципов алгоритмизации в теории управляющих систем// – Международная научная конференция (CSII) Инновация – 2016 ТГТУ, г. Ташкент. – С. 258–259.

49. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Каландаров И.И. Алгоритмическая модель управления на основе алгебры над таблицами функционирования// – Проблемы вычислительной и прикладной математики. 2016. № 2. С. 19–23.

50. Kabulov A.V., Normatov I.H., Kalandarov I.I. Algorithmic model of management on the basis of algebra over functioning tables (FT)// – International scientific journal “Science and World”. Vol. 1. 2015. № 1(17). pp. 10–13.

51. Kabulov A.V., Normatov I.H., Kalandarov I.I. Algorithmic method of the conversion functioning tables (FT) for control industrial systems// – International scientific journal “Science and World”. Vol. I. 2015. № 8(24). pp. 14–17.

52. Kabulov A.V., Normatov I.H., Jabborov K.G. Synthesis of jobs local algorithms on the scheme of Yablonsky// – International scientific journal “Science and World”. Vol. I. 2015. № 10(26). pp. 13–18.

53. Kabulov A.V., Normatov I.H., Kalandarov I.I Problems of algorithmization of difficult systems on the basis of algebra over functioning tables (FT)// – "Science and Education", materials of the IX International research and practice Conference October Munich, Germany, 2015, 1-2. pp. 148–151.

54. Норматов И.Х. Алгоритм решения бернуллиевских эволюционных уравнений, построенных на связном графе по равномерным распределениям// – «Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении». Ташкент, 7–8 сентября 2015 г. – С. 187–192.

55. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Каландаров И.И. Алгоритмизация управления сложными системами на основе таблиц функционирования// – Центр разработки программных продуктов и аппаратно-программных комплексов при ТУИТ Республиканской научно-технической конференции. «Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении». 7-8 сентябрь 2015. – С. 40-46.

56. Кабулов А.В., Норматов И.Х., Каландаров И.И. Ахборотни химоя қилиш тизимлари моделлари// Центр разработки программных продуктов и аппаратно-программных комплексов при ТУИТ Республиканской научно-технической конференции. «Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении». г. Ташкент 7-8 сентябрь 2015. – С. 390-396.

57. Кабулов А.В., Норматов И.Х. Алгоритмический подход управления сложными системами на примере производственных объектов// Инновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳаларни ишлаб чиқаришга татбиқ этиш муаммолари мавзусидаги Рес. илмий-техник Конференцияси, 16-17 май 2014 йил, Жиззах. С. 420–425.

58. Normatov I.H. Nonlinear boundary value problems for dynamical systems with continuous and discrete time// – International scientific “Science and World”. Vol.I. 2014. May, № 5(9). pp. 35–38.

59. Normatov I.H., Primov D.D. Classification of the evolution equations for finite dimensional quadratic stochastic processes constructed on a finite graph// – III International Conference "Science and Education", April 25–26. –Munich, Germany. 2013. pp. 38–43.

60. Норматов И.Х. Задача Коши–Николеску для обобщенного полилинейного телеграфного уравнения// – Международная конференция «Актуальные проблемы развития инфоркоммуникаций и информационного общества». Узбекское агентство связи и информатизации. Ташкентский университет информационных технологий. июнь. – Ташкент, 2012. –С.12–17.

61. Норматов И.Х. Алгоритмические схемы классов квадратичных стохастических операторов и соответствующих им эволюционных уравнений в частных производных// – Вопросы вычислительной и прикладной математики. –2012. –№127. –С. 145–152.

62. Рашитов М., Норматов И.Х., Примов Д.Д. Геометрия фанидан ўқув услубий қўлланма// – Учебное пособие. – Тошкент: “Навруз”, 2012. – 137 с.

63. Normatov I.H., Tolipova H.F. The basic classes of quadratic stochastic operators and their fixed points// – Труды ИВМ и СО РАН. Серия «Информатика». Вып. 10. –Новосибирск, 2011. – С. 136–137.

64. Норматов И.Х. Классы дифференциальных уравнений с отклоняющимися аргументами построенных по распределению квадратичных стохастических операторов// – Труды научной конференции «Проблемы

современной математики», посвященной 20-летию независимости Республики Узбекистан. Апрель, Карши, 2011. –С. 191–195.

65. Норматов И.Х., Акрамов К.Т. Невырожденность, вполне положительность и неразложимость дифференциальных уравнении с отклоняющимся аргументом на конечном графе// – Труды научной конференции «Проблемы современной математики», посвященной 20-летию независимости Республики Узбекистан. апрель, – Карши, 2011. –С.195–198.

66. Норматов И.Х. Existence and location of motionless points of quadratic stochastic operators// – The International Training and Seminars on Mathematics (ITSM 2011) Ministry of Higher and Secondary Special Education of the Republic of Uzbekistan and Malaysian Mathematical Sciences Society (PERSAMA), 3–5 June, 2011. pp. 68–69.

67. Кабулов В.К., Норматов И.Х. Состав и структура математического обеспечения алгоритмических систем// – Совместный выпуск: Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики»; сборник научных трудов «Вопросы вычислительной и прикладной математики по материалам Респуб. науч.-техн. конфр. «Моделирование и управление в реальном секторе экономики»». 23–26 сентября. Ташкент, 2009. –С. 33–35.

68. Кабулов В.К., Норматов И.Х. Методы доказательства теорем алгебры в логике// – Вопросы вычислительной и прикладной математики. № 122, 2009. С. 14-19.

69. Норматов И.Х. Расположение классов квадратичных стохастических операторов на конечномерном симплексе// – Республика илмий анжуманининг материаллари «Ёш математикларнинг Янги теоремалари-2009», 6-7 ноябрь. – Наманган. – С. 55–57.

70. Кабулов В.К., Норматов И.Х. Вопросы формализации процесса логического вывода// – Вопросы вычислительной и прикладной математики. – 2008. –№ 121. –С. 5–12.

71. Кабулов В.К., Норматов И.Х. Алгебраические системы// – Вопросы вычислительной и прикладной математики. – 2008. № 119. С. 16–24.

72. Кабулов В.К., Норматов И.Х. Алгоритм вычислений логических функций// – Совместный выпуск: Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики»; сборник научных трудов «Вопросы вычислительной и прикладной математики по материалам Рес. науч.-тех. кон. «Современ. сост. и пути развития инфор. тех.». 23–25 сентября. –Ташкент, 2008. С. 202–205.

73. Kabulov V.K., Normatov I.H. Problems to formalizations of the pocess of the logical inference// – Fifth World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation. Novomber 25-27, WCIS-2008. pp. 13–17.

74. Норматов И.Х. Существование и расположение критических точек квадратичного стохастического оператора// – Сборник тезисов Международной конфер. молодых ученых, посвященной 1000-летию Академии Маъмуна Хорезма. –Ташкент, 2006. – С. 25–26.

75. Норматов И.Х. Невырожденность, вполне положительность и неразложимость квадратичных стохастических операторов// – Рес. научная

конференция молодых ученых-математиков, посвященная 125-летию академика В.И.Романовского, 9-10 декабря. 2004 г. – С. 27–29.

76. Ганиходжаев Н.Н., Норматов И.Х. О конечномерных вырожденных квадратичных стохастических процессах// – Доклады и тезисы научной конференции Современные проблемы алгоритмизации и программирования, 5–7 сентября. –Ташкент, 2001. – С. 31–32.

Автореферат “Информатика ва энергетика муаммолари” Ўзбекистон илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ҳамда ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларини мослиги текширилди.

Босишга рухсат этилди: 04.12.2020 йил
Бичими: 84x60 1/16. « Times New Roman » гарнитура рақамли босма
Усулда босилди. Шартли босма табоғи: 2,25. Адади 100. Буюртма № 46

ООО «Munisdesigngroup» босмахонасида чоп этлди.
Тошкент, Дўрмон йўли, 25